

TRABAJOS
CIENTÍFICOS
EN MÉXICO

TOMO VI
INGENIERÍA



DECLARACIÓN LEGAL

EDITORES:

María Eugenia Sánchez Morales
Gloria Verónica Vázquez García
Amalia Martínez García
Cristina E. Solano Sosa
Eva Liliana Ramos Guerrero

ISBN GENERAL 978-607-8821-02-0

Fecha de otorgamiento 14-12-2021

Tomo VI: Ingeniería ISBN 978-607-8821-07-5

Fecha de otorgamiento 07-01-2022

El contenido de los artículos es responsabilidad de los autores.

Temacilli EDITORIAL
Lagos de Moreno, Jalisco
<http://temacilli-editorial.com>

D. R. Centro de Investigaciones en Óptica, A. C.
Loma del Bosque 115, Col. Lomas del Campestre
C. P. 37150 León, Guanajuato
México
Hecho en México



Trabajos Científicos en México

Tomo VI:

Ingeniería

PREFACIO

El presente compendio reúne trabajos de investigación realizados en diversas áreas de la ciencia, cuyo objetivo principal es contribuir a la difusión del trabajo científico que se realiza en México. Con este compendio también se pretende promover el trabajo interdisciplinario entre miembros de diferentes disciplinas científicas.

Este trabajo está organizado en siete tomos los cuales corresponden a las siguientes áreas científicas: I) Biología y química, II) Biotecnología y ciencias agropecuarias, III) Ciencias sociales, IV) Físico matemáticas y ciencias de la tierra, V) Humanidades, ciencias de la conducta y divulgación científica, VI) Ingeniería, así como VII) Medicina y ciencias de la salud.

Octubre de 2021
León, Gto., México

María Eugenia Sánchez Morales
Gloria Verónica Vázquez García
Amalia Martínez García
Cristina E. Solano Sosa
Eva Liliana Ramos Guerrero

Tabla de contenido

PROTOTIPO DE SOFTWARE DE GESTIÓN ACADÉMICA-ADMINISTRATIVA (SIGAA) PARA INSTITUCIONES PARTICULARES DE EDUCACIÓN BÁSICA.	6
DESARROLLO DE UN ARCO PARA SEGUETA SEMIAUTOMÁTICO- ERGONÓMICO PARA CORTES PRECISOS EN TALLERES Y HOGARES.....	15
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE CONTROL ESTADÍSTICO, LEAN Y SIMULACIÓN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLANTILLA DE PU.....	20
APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO EN INTERIORES Y EXTERIORES PARA ESTIMAR LA EXPOSICIÓN INDIVIDUAL A PM ₁₀ A PARTIR DE MUESTRAS EN TRASPORTE PÚBLICO..	29
IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN PREESCOLARES COMUNITARIOS CONAFE.....	41
CARACTERIZACIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS DE ÁLABES DE TURBINAS DE VAPOR ETAPA L-0.....	51
DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ A BASE DE CEMENTO PORTLAND CON AGREGADO VEGETAL LIGNOCELULÓSICO DE AGAVE	57
DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB, UNA ALTERNATIVA PARA REACTIVAR LA ECONOMÍA LOCAL.....	73
DE FUENTES NO CONVENCIONALES A MATERIALES FUNCIONALES: SÍNTESIS DE ZEOLITAS TIPO LTA MEDIANTE TRATAMIENTO HIDROTHERMAL Y REACTIVO FUSIÓN.....	83
CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMELANINA: UNA BIOMOLÉCULA CON POTENCIALES APLICACIONES OPTOELECTRÓNICAS.....	88
CONTROL DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA MEDIANTE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL, ARDUINO Y VLT SIEMENS	101
PLAN DE CAPACITACIÓN DE PERSONAL DE LA EMPRESA AXALTA, PARA EL MANEJO DE SUBSTANCIAS PELIGROSAS	107
CARCASA Y ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA PROTOTIPO RECOLECTOR DE DESECHOS SÓLIDOS EN CUERPOS DE AGUA	115
TÉCNICAS DE CORRIMIENTO DE FASE POR POLARIZACIÓN EN INTERFEROMETRÍA ELECTRÓNICA DE MOTEADO	121
GENERACIÓN DE N-INTERFEROGRAMAS SIMULTÁNEOS CON UN INTERFERÓMETRO DE REJILLA BASADO EN COMPONENTES RECICLADAS.....	128
ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DE SISTEMAS DE POTENCIA CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED	136
IMPORTANCIA DEL MODELADO DE LA SUSCEPTACIA PARALELO EN LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA.....	142
ANÁLISIS COMPARATIVO: MODELOS DE CAMBIO ORGANIZACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL PERFIL COMPETITIVO DE LOS TRABAJADORES DE UN AEROPUERTO	149
PERSPECTIVA DE LA TRAYECTORIA ESCOLAR DE ESTUDIANTES MUJERES EN PROGRAMAS EDUCATIVOS DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN.....	164
ANÁLISIS DE FACTORES PARA ELABORAR DESODORANTE A BASE DE INGREDIENTES NATURALES	176
EVALUACIÓN NUMÉRICA DE CONVERTIDORES CD-CD NO AISLADOS CON UNA ETAPA DE RECTIFICACIÓN NO CONTROLADA.....	183

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PIÑA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL.....	190
SISTEMA DE CONTROL PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN VEHÍCULOS UTILIZANDO EL RECONOCIMIENTO DE ACCIONES FACIALES	203
IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO.	208
FABRICACION DE PANELES ELABORADOS CON MATERIALES RECICLADOS	218
ELABORACIÓN DE UNA FÓRMULA CON PRODUCTOS NATURALES PARA DISMINUIR LA RESEQUEDAD EN LA PIEL	226
OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE MÓDULO GPS APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS.....	238
ESTUDIO DE COMPÓSITOS AL-GRAFITO PREPARADOS POR PROCESAMIENTO MECÁNICO	247
EFFECTO DEL GRAFITO EN LAS CARACTERÍSTICAS SEMICONDUCTORAS DE DIFERENTES ÓXIDOS CERÁMICOS.....	262
SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ALEACIONES DE ALTA ENTROPÍA DEL SISTEMA ALXCOCUFENITI (X = 0.45, 1, 2.5, 5 MOL).....	272
MODELACIÓN NUMÉRICA DE UNA BÓVEDA DE CAÑÓN TIPO UBICADA EN CELAYA, GUANAJUATO	278
DESGASTE DEL RECUBRIMIENTO DE UNA SUPERALEACIÓN UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE ÁLABES DE PRIMERA ETAPA DE TURBINA DE GAS	291
CONFIGURACIÓN EN SERIE DE HORNOS LADRILLEROS MK PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL QUEMADO DE LADRILLO	298
CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y ÁCIDA DE DIÓXIDO DE TITANIO PREPARADO POR SOL-GEL.	305
VERIFICACION DE SENSIBILIDAD DE UN INTERFEROMETRO ESPI PARA MEDICION DE DEFORMACIONES EN PLANO.....	313
ANALISIS DE SEÑALES DE MUESTRAS ÓSEAS POR TÉCNICAS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y K-MEANS	320
CONVERSIÓN DE COQUE DE PETRÓLEO EN COMPUESTOS ANÁLOGOS A LAS SUSTANCIAS HÚMICAS MEDIANTE OXIDACIÓN HÚMEDA.....	332
APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE ECODISEÑO E INNOVACIÓN EN EL DISEÑO DE UN PRODUCTO ALIMENTICIO FUNCIONAL CON APEGO A LOS PRINCIPIOS DE LA INGENIERÍA SOSTENIBLE.	338
COMPARATIVO DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE LA RIGIDEZ ENTRE BLOQUES DE CONCRETO Y PAVIMENTO APLICANDO MÉTODOS ENTRÓPICOS	345
SÍNTESIS DE NANOTUBOS DE TIO ₂ POR EL MÉTODO DE ANODIZACIÓN ELECTROQUÍMICA	351
FOTOCATALIZADOR LIBRE DE METALES COMPUESTO DE NITRURO DE CARBONO SOPORTADO EN CARBÓN ACTIVADO DE BAGAZO DE AGAVE.....	358
SISTEMA DE RECOMPENSAS LABORALES EN TIENDAS DE ABARROTES EN EMPRESAS FAMILIARES EN IRAPUATO, GTO.	365
SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA MÁQUINA DE COMPACTACIÓN HIDRÁULICA DE RESIDUOS SÓLIDOS	375

CONSECUENCIAS DE LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA GESTIÓN DE ALMACENES PARA LAS EMPRESAS MIPYMES EN IRAPUATO GTO.....	381
AUTOMATIZACIÓN NEUMÁTICA DE PROCESO DE MOLDEO Y ESTAMPADO DE PIEZAS DE ALUMINIO	385
ANÁLISIS DE PERFILES DE CARGA Y DESCARGA PARA SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BASADOS EN BATERÍAS DE IONES DE LITIO	393
IMPACTO QUE GENERA LA PUBLICIDAD DE FACEBOOK HACIA LAS PERSONAS DENTRO DE UN COMERCIO DE ROPA EN LA CIUDAD DE IRAPUATO EN TIEMPO DE PANDEMIA COVID -19	398
INVERSOR FOTOVOLTAICO SIN TRANSFORMADOR CON REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE FUGA USANDO MÉTODOS PASIVOS	408
ROTACIÓN DEL PERSONAL Y LA PRODUCTIVIDAD LABORAL EN EL DEPARTAMENTO DE EMPAQUE DE LA EMPRESA ALTOPRO S.A. DE C.V., PLANTA IRAPUATO.	417
METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE ARQUITECTURAS DE MONITOREO DE OCUPACIÓN EN ESTACIONAMIENTOS INTELIGENTES	425
ECODISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO TELEOPERADO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ.....	432
CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE GAS POR COMUNICACIÓN SERIAL	444
ESTUDIO ÓPTICO DE MATERIALES ORGÁNICOS E HÍBRIDOS PARA SU USO COMO RECUBRIMIENTOS EN DISPOSITIVOS DE FIBRA ÓPTICA	453
EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL ACIDO POLILACTICO SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO	466
GUÍA PARA CAD/CAM SOLIDWORKS-SOLIDWORKS CAM-EMCO WINNC	473
ESTUDIO TRIBOLÓGICO COMPARATIVO ENTRE UN ACEITE ATF Y ACEITE BIO-BASE ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ALUMINIO Al_2O_3	481
DESARROLLO DE MATERIAL POLIMÉRICO ANTIMICROBIANO PARA USO DE CALZADO MÉDICO	486
PROPUESTA DE ESTUDIO DE MERCADO EN LA INNOVACIÓN, CALIDAD Y SUSTENTABILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN TABICÓN DE ROCA SÍLICEA Y MINERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL MUNICIPIO DE IRAPUATO, GUANAJUATO.	491
EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE BORO-GADOLINIO SOBRE LA FOTOACTIVIDAD DEL DIÓXIDO DE TITANIO	505
ESTUDIO DEL EFFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRANSFORMACIÓN Y EL ESPACIADO INTERLAMINAR EN UN ACERO HIPOEUTECTOIDE 0.6% C.	513
CÁLCULO DE LA FÓRMULA APROXIMADA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE JAROSITA DE MERCURIO SINTETIZADA.....	518
ANÁLISIS DEL MODELO DE GESTIÓN DEL AGUA EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROALIMENTARIO	522
DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA EJECUTABLE PARA CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TUBERÍA PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS DE CLASE III	531
IMAGEN Y ENTROPÍA PARA ESTUDIAR LA MADUREZ DE FRUTOS	542
XEROGELES DE ÓXIDO DE ITERBIO CODOPADOS CON IONES DE TIERRAS RARAS	549
GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA CON MICROTURBINA HIDRÁULICA.....	563
MAQUETA DE PRÁCTICAS DE REDES INDUSTRIALES	571

PERIODOS DE CALIBRACIÓN PARA INSTRUMENTOS QUE MANTIENEN UNA TRAZABILIDAD ESTÁTICA, UNA ARISTA A LA GUÍA ILAC-G24 / OIML D 10	575
HOMOCEDASTICIDAD DE LAS MEDICIONES, COMPLEMENTO AL USO DEL ERROR NORMALIZADO, EN EL ANÁLISIS DE ENSAYOS DE APTITUD.....	580
CONSTRUCCIÓN DE INTERVALOS DE SEGURIDAD EN ESTUDIOS DE LA CONFORMIDAD MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL INVERSA	586
DISEÑO ÓPTIMO DE UN DISIPADOR DE CALOR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE MODELACIÓN COMPUTACIONAL.....	591
SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO PARA EQUIPOS DE COMPUTO.....	601
EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN FENTON EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ.....	611
ANÁLISIS DE FATIGA EN COMPONENTES AUTOMOTRICES TIPO MASA SEPARADORA VEHICULAR PARA COCHE DE RALLY	619
REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE PROVENIENTE DE UN LIXIVIADO INDUSTRIAL MEDIANTE UN COMPÓSITO DE BIOCARBÓN IMPREGNADO CON MAGHEMITA.....	629
UNA MIRADA A LAS HERRAMIENTAS LEVEY-JENNINGS Y REGLAS WESTGARD PARA PRUEBAS INICIALES DE DESEMPEÑO EN SISTEMAS CERTIFICADOS O ACREDITADOS..	636
DESARROLLO, MODELADO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN BRAZO ROBOT DE SEIS GRADOS DE LIBERTAD	644
BIOSORCIÓN DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUA RESIDUAL AGRÍCOLA USANDO RESIDUOS AGRÍCOLAS LIGNOCELULOSOS.....	651
EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, POR ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN DE POZOS PETROLEROS (2010-2019).....	663
ESTUDIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA EN UN SISTEMA NO CONSERVATIVO UTILIZANDO JUGUETES DE FÁCIL ACCESO	673
DESARROLLO DE UN BIOPLÁSTICO BIODEGRADABLE Y CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA PARA EMPACADO DE ALIMENTOS	681
INTERFAZ GRÁFICA PARA EL CÁLCULO DEL CENTROIDE DE UN CUERPO COMPUESTO	688
SECADO DE REBANADAS DE PAPAYA POR VENTANA DE REFRACTANCIA.....	695
DETECCIÓN DE NEUMONÍA EN IMÁGENES RADIOLÓGICAS DEL ÁREA TORÁCICA EMPLEANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y REDES NEURONALES.....	701
ALEACIONES DE LI-CO DOPADOS CON TIERRAS RARAS PARA SU USO EN BATERIAS ...	711
IMPLEMENTACIÓN DE INTERFACE GRÁFICA PARA DISEÑO DE FILTROS DIGITALES MEDIANTE EL MÉTODO DE MANIPULACIÓN DE POLOS Y CEROS EN LA PLATAFORMA SCILAB.....	721
DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA REACONDICIONAMIENTO DE MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS EN RESISTENCIA EN MATERIALES TINUS OLSEN DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UMSNH.....	731
COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA INVERSOR MULTINIVEL PUENTES H EN CASCADA	737
SISTEMA WEB DE CONTROL DE EVALUACIONES POR COMPETENCIAS	744
MANUFACTURA ADITIVA EN LA INDUSTRIA DE LAS GAFAS: IDENTIFICACIÓN DE PARTÍCULAS ULTRA FINAS EMITIDAS POR MEDIO DE HOLOGRAFÍA DIGITAL MICROSCÓPICA.....	755

PROGRAMACIÓN DE SECUENCIAS AEREO Y TERRESTRE DEL MODULAR HEXACOPTER AIRBLOCK	764
ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE A LA TEMPERATURA INTERCRÍTICA EN UN ACERO TRIP FE-1.39SI-2.57MN-0.17C	771
AMPLICACION Y PROPUESTA DE CONTROL ON-OFF DE UN RELVADOR HIBRIDO MONOFÁSICO PARA AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL.....	785
USO DE LA TIC'S DURANTE LA PANDEMIA COVID-19 EN EL ÁREA DE INGENIERÍAS.....	793
ELABORACIÓN DE PALETAS FIJAS PARA BUTACAS ESCOLARES A BASE DE DESECHOS DE TETRA PAK.....	803
APLICACIÓN DE LA ESPINELA ZNAL ₂ O ₄ EN LA DETECCIÓN DE GAS PROPANO	809
MODELO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA ZONA DE PASO DE PIRULES, GUANAJUATO.	814
ANÁLISIS POR ICP-OES DE METALES EN FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO (PM10) EN TABASCO	818
APLICACIÓN DE ELECTRODOS DE AL, TI Y CU EN UN SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA DE TALADRINA.....	829
DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y FUERZA LATERAL DE TIERRA	837
PROPUESTA DE CAPACITACIÓN PARA LA MÁQUINA DE LLENADO EN INDUSTRIAS JLC .	847
APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CAMPO DE FASES A LA SIMULACIÓN DE EVOLUCIÓN MICROESTRUCTURAL EN ALEACIONES.....	85852
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE VARIABLES CLIMÁTICAS COMO FUNDAMENTO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE UNA SUBCUENCA.....	858
DISEÑO Y ANÁLISIS MODAL DE FRAME TUBULAR PARA CAR CROSS POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO (FEM).....	869
DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS QUEMADORES DE LA BATERÍA DE SEPARACIÓN DE LA TERMINAL MARÍTIMA DOS BOCAS, EN PARAÍSO TABASCO.	877
EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CULTIVO CONTROLADO DE MICROALGAS NATIVAS PARA SU POTECIAL USO EN PROCESOS DE PURIFICACIÓN DE BIOGÁS	890
RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO FUNCIONALIZADAS CON MNCL ₂ PARA LA REMOCIÓN DE IONES TÓXICOS PRESENTES EN AGUA POTABLE	900
RESIDUO LIGNOCELULOSO DE ESPARRAGO: UNA ALTERNATIVA VIABLE COMO PRECURSOR DE CARBÓN ACTIVADO PARA SU USO EN TRATAMIENTO DE AGUA	911
PLANTILLA INTELIGENTE PARA LA MEDICIÓN DE PRESION PLANTAR, PARA PREVENCIÓN DE ULCERACIÓN EN PIE DIABÉTICO Y PIE DE CHARCOT	917
SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO: CO ₂	925
ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN DE LA ALEACIÓN Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) HOMOGENEIZADA A 1100°C Y ENVEJECIDA ISOTÉRMICAMENTE.....	929
EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ORO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE BARRERA EN PELÍCULAS DE ALGINATO DE SODIO.....	940
ÍNDICE DE AUTORES	946

PROTOTIPO DE SOFTWARE DE GESTIÓN ACADÉMICA-ADMINISTRATIVA (SIGAA) PARA INSTITUCIONES PARTICULARES DE EDUCACIÓN BÁSICA.

Estefania Cerrillo Andrade¹, Elisa Urquizo Barraza², Enrique Cuan Durón², Diego Uribe Agundis²,
Lina Ernestina Arias Hernández² Gerardo Rivera Navarro¹

¹Universidad Autónoma de Coahuila/Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, ²Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de la Laguna.
estefaniacerrillo@uadec.edu.mx

RESUMEN

El presente trabajo se centra en la práctica de dos contextos: el primero la Ingeniería de Software (IS) y el segundo contexto en el área del proceso de gestión en entornos educativos desde la perspectiva de Álvarez e Iturbe¹ que define la gestión como un proceso dinámico, que vincula los ámbitos de la administración convencional con los de la organización, por medio de la aplicación de estos conocimientos, se detectó la necesidad de crear un prototipo de aplicación móvil para sistema operativo Android, la cual logre gestionar los procesos académicos y administrativos en instituciones educativas de nivel básico. Se propone una versión móvil como optimización en el uso de equipos, ya que se puede ejecutar en todo momento desde cualquier teléfono inteligente o Tablet con sistema operativo Android. Para realizar este prototipo se analizaron los requisitos de la aplicación, se estructuró el diseño del software y se desarrolló el primer prototipo. La metodología empleada se basa en la IS desde el enfoque del paradigma de Proceso Unificado (UP), con cuatro iteraciones las que obtuvieron como resultado tres módulos de la aplicación. Las herramientas utilizadas fueron: modelo de dominio, modelos de caso de uso, modelos de diseño y el desarrollado con Android Studio, PHP y MySQL. Se generó una primera versión del prototipo de aplicación que incluye los módulos: de gestión de usuarios, control almacén, y control nómina. Este prototipo de aplicación móvil es considerado una contribución base para cimentar un sistema con nivel de generalidad más alto, ofreciendo componentes para un eficaz seguimiento de la gestión educativa, mediante visualización de reportes en tiempo real y personalizado según las necesidades de cada institución educativa.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se ha centrado en el enfoque de la experiencia en la práctica de dos contextos: el primero la Ingeniería de Software (IS) definida por la IEEE² como: 1) La aplicación de un enfoque sistemático, disciplinado y cuantificable al desarrollo, operación y mantenimiento de software; es decir, la aplicación de la ingeniería al software. 2) El estudio de enfoques según el punto 1) y el segundo contexto en el área del proceso de gestión en entornos educativos desde la perspectiva de Álvarez e Iturbe³ que define la gestión como un proceso dinámico, que vincula los ámbitos de la administración convencional con los de la organización, bajo la conducción de un liderazgo eficaz de la autoridad competente, que se orienta hacia el cumplimiento de la misión institucional; por medio de la aplicación de estos conocimientos se detectó la necesidad de un Software de Gestión Académica-Administrativa (SIGAA) para instituciones particulares de educación básica en la ciudad de Torreón, Coahuila; el cual ayudará en la toma de decisiones administrativas y escolares en el marco de la era de la información.

El problema se ha presentado por la ausencia y necesidad de crear este tipo de software que gestione los procesos que se realizan dentro de una institución educativa, que van desde los registros de cada uno de los alumnos, docentes y personal administrativo y manual, hasta el pago de nóminas, inscripciones, captura de evaluaciones, préstamo de libros, venta de uniformes, etc. Con base en el estudio del paradigma de Proceso Unificado (UP) para el desarrollo de software, será posible desarrollar una aplicación que favorezca la gestión académica-administrativa, desde la definición de Tedesco⁴, como un proceso que traspasa las actividades administrativas, abarcando lo concerniente a los procesos educativos, administrativos, sociales, laborales y pedagógicos; en términos de innovación y accesibilidad para estas instituciones.

Los sistemas han aportado una serie de características benéficas, desde el punto de vista de la gestión educativa y de los procesos de Sistemas de Información (SI), presentando un orden en la información que manejan las instituciones, contemplando el control de activos y pasivos, conserva un práctico trato en la información y poca carencia de pérdida de datos, acceso fácil, seguro y sin el uso de equipos de cómputo, los cuales serán sustituidos por móviles y portátiles, además de apoyar y respaldar con datos certeros la toma de decisiones para beneficiar a padres de familia y directivos de la institución.

Este proyecto ha cambiado la forma de la administración contable de instituciones particulares, minimizando y descongestionando el accionar operativo en lo que respecta al tiempo y los recursos humanos durante la realización de los procesos de control de información para mejorar y aligerar los procedimientos de ingresos, egresos, control de inventarios y nóminas.

Como objetivo principal de este trabajo, se encuentra el crear un Prototipo de Aplicación para la Gestión Académica-Administrativa SIGAA para las instituciones particulares de educación básica, este objetivo se ha creado con fundamento en la disciplina de la IS que para Boehm, Brown y Lipow⁵ es la aplicación práctica del conocimiento científico al diseño y construcción de programas de computadora y a la documentación asociada requerida para desarrollar, operar y mantenerlos; también se conoce como desarrollo de software o producción de software.

En el trabajo se presenta la sección de metodología en la cual se encuentra la sección de modelado de la aplicación donde se expone el diseño y desarrollo del prototipo, las herramientas empleadas y la estructura de la interfaz, posteriormente se encuentran los resultados del desarrollo de software donde se muestran algunas pantallas del prototipo y su funcionamiento, así como los posibles trabajos futuros para este prototipo y por último el apartado de las conclusiones.

TEORÍA

El software de gestión es la herramienta de tecnologías de información que permite administrar eficazmente, es decir, trata procesos de negocios y administrativos de forma integrada, brinda información en tiempo real y se compone por módulos. Este tipo de software ha evolucionado hacia el software de Sistemas de Información de Gestión o Gerenciales (SIG), término dado a la disciplina centrada en la integración de los sistemas informáticos con los propósitos y objetivos de una organización, el cual accede a más bases de datos que contienen información para realizar tareas convencionales de procesamiento de datos. El desarrollo y la gestión de las herramientas de tecnología de información ayudan a los directivos y a los trabajadores en el desempeño de las tareas relacionadas con el tratamiento de la información.

Análisis de requerimientos

El prototipo de software para la gestión deberá registrar el ingreso y egreso de efectivo de la caja de la dependencia, así como la organización y control de los materiales escolares. El sistema permitirá llevar un registro de los ingresos que cada uno de los alumnos realice referentes a: inscripciones, colegiaturas, compra de libros, uniformes, pagos de eventos, transporte, etc.; de los egresos que la institución realice entre los que se encuentran: el pago de nóminas, pago de servicios, becas, impuestos, etc., de las entradas y salidas de material didáctico y manual del almacén, a quien se entregó, cantidades y en qué fecha.

Para llevar a cabo este proceso, se requiere que cada alumno y trabajador esté dado de alta en el sistema con su matrícula o si se va a inscribir o contratar empleado se le otorgue una matrícula (por medio del sistema); para que de esta forma los cargos se realicen vinculados a los datos de la persona; y en un futuro no solo enlazar los conceptos administrativos si no realizar un sistema integral, es decir, que incluya calificaciones, rendimiento académico, reportes, etc.

Este proyecto consiste en el análisis de requisitos, diseño, desarrollo e implementación de un sistema para la gestión académico-administrativa, realizado por la Facultad de Ciencias Políticas y Sociales de la Universidad Autónoma de Coahuila en sinergia con el TecNM/Instituto Tecnológico de la Laguna para las instituciones particulares de educación básica de la ciudad de Torreón, Coahuila; en el que participan 6 integrantes para su creación y desarrollo.

PARTE EXPERIMENTAL

Modelado de la aplicación

La interfaz de usuario es el método en el que los usuarios pueden comunicarse con una computadora, y comprenderse entre ellos.

La interfaz de usuario según, Dorado Perea⁶ es: "El conjunto de trabajos y pasos que seguirá el usuario, durante todo el tiempo que se relacione con el programa detallando lo que verá y escuchará en cada momento, y las acciones que realizará, así como las respuestas que el sistema le dará".

Como método para la elaboración de este proyecto se empleará el paradigma de Proceso Unificado (UP). Larman⁷ menciona: "El Proceso Unificado [JBR99] se ha convertido en un proceso de desarrollo de software de gran éxito para la construcción de sistemas orientados a objetos. La idea fundamental para apreciar y utilizar el UP es el desarrollo iterativo, fijando iteraciones cortas, y adaptables." Se emplea este paradigma porque es el recomendado para este tipo de aplicación, y se apega al contexto de desarrollo de ésta.

Señala Larman⁷ que el UP establece el trabajo y las iteraciones en cuatro fases fundamentales:

1. Inicio: análisis del negocio, alcance, estimaciones imprecisas.
2. Elaboración: implementación iterativa del núcleo central de la arquitectura, resolución de los riesgos altos, identificación de requisitos y alcance.
3. Construcción: implementación iterativa del resto de requisitos de menor riesgo y elementos más fáciles, preparación para el despliegue.
4. Transición: pruebas beta, despliegue.

El prototipo que centra el presente trabajo se va a modelar de acuerdo con: modelos de caso de uso, modelo de dominio, desarrollo del prototipo de aplicación, el cual se lleva a cabo con PHP, JAVA y AJAX, a través del software de Android Studio y el diseño, desarrollo y gestión de base de datos por medio de MySQL.

En cuanto a la estructura del diseño en cuestión de roles del prototipo se divide en 3 roles de inicio de sesión, Figura 1.

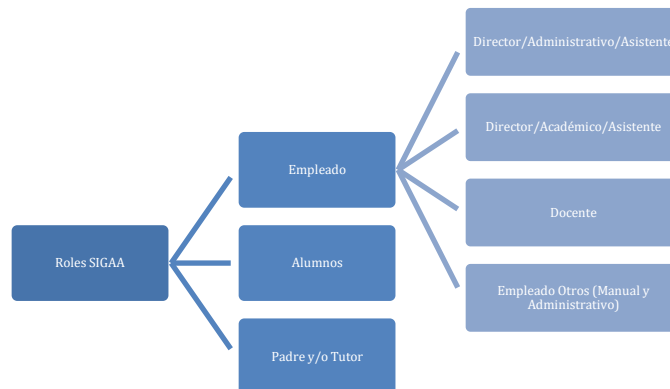


Figura 1. Roles de Usuarios de SIGAA

En el desarrollo de software, los requisitos tienen lugar en el espacio de la solución; el Modelado de Negocios aporta información esencial para la ingeniería de requisitos, empleando los Casos de Uso de Negocio, ver Figura 2., como herramienta para estructurar los posibles procesos a proponerse en el software. Entre ellos: CUN1: Matricular Alumno y CUN2: Pagar Alumnos

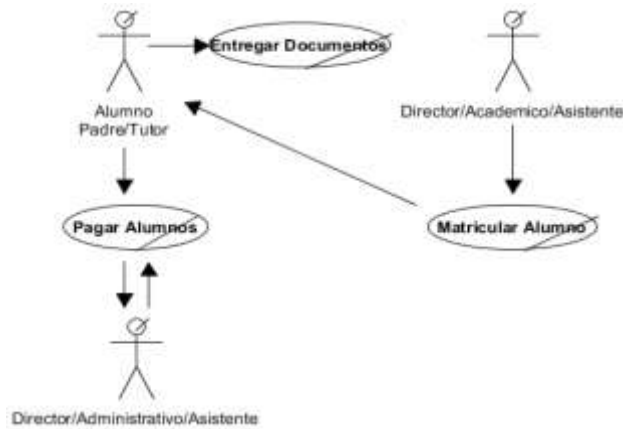


Figura 2. CUN1: Matricular Alumno y CUN2: Pagar Alumnos

Estos diagramas dan origen a los Casos de Uso Breves, en este formato presentan un resumen del escenario principal de éxito sin entrar en mayores detalles; consecutivamente a los Casos de Uso Informal, contienen varios párrafos y describen escenarios alternativos al de éxito y por último, Casos de Uso Completos, en este formato se escriben a detalle y contienen secciones de apoyo tales como precondiciones y garantías de éxito.

Al tener la estructura de los Casos de Uso, siguiendo el UP, se diseña el Modelo de Dominio, ver Figura 3., que se define como, un artefacto de la disciplina de análisis, construido con las reglas del Lenguaje Unificado de Modelado (UML) durante la fase de concepción, en la tarea de construcción del modelo se presenta como uno o más diagramas de clases y contiene, no conceptos propios de un sistema de software sino de la propia realidad física, integrado por clases, asociaciones de ellas y atributos.

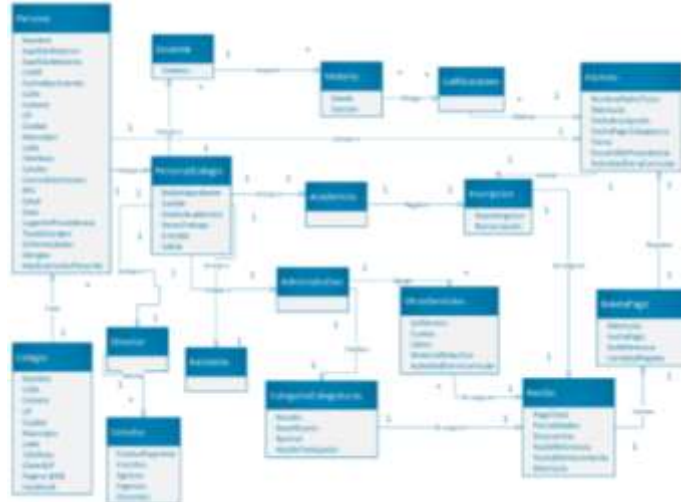


Figura 3. Modelo del Dominio de SIGAA

Posteriormente, se presentan los Diagramas de Secuencia, ver Figura 4., derivados de los escenarios de éxito de los Casos de Uso, para de esta manera poder complementar al Modelo de Dominio y terminar de familiarizarnos con el contexto del sistema.



Figura 4. DS1 Inscribir Alumno

Se desarrollan los Contratos del Sistema, Tabla 1, es decir, instrumentos auxiliares para la total comprensión de las actividades del escenario de éxito de los Casos de Uso, en estos artefactos se detalla el comportamiento de los procesos del sistema, cambios de fases, estados, al realizar cierta acción.

Tabla 1. Contrato CO1 Consultar Categoría Colegiatura

<i>Contrato CO1: Consultar Categoría Colegiatura</i>	
<i>Operación:</i>	ConsultarCategoríaColegiatura()
<i>Referencia Cruzada:</i>	Caso de Uso CU2: Gestionar Pagos Alumnos.
<i>Precondiciones:</i>	Se requiere una Matrícula de Alumno. Se consulta el Expediente del Alumno por medio de su matrícula. Se tiene un catálogo de tipos de colegiatura según le corresponda al Alumno. Se selecciona el tipo de colegiatura a cargar en el expediente al Alumno.
<i>Postcondiciones:</i>	Se ha creado una Instancia de CatalogoCategoríaColegiatura denominada cCC. Creación de Instancia. Se ha asociado cCC con la Matrícula del Alumno. Asociar Instancia. cCC se modificó en un cargo económico a pagar por el Alumno. Modificar Instancia. Se ha crea una Instancia de LineaReciboAlumno denominada IRA. Creación de Instancia. Se ha asociado cCC a IRA. Asociar Instancia.

Continuando con el desarrollo del prototipo se diseñan los Diagramas de Interacción, Figura 5., que representan la forma en como un Actor o Clases se comunican entre sí en petición a un evento. Esto implica recorrer toda la secuencia de llamadas, de donde se obtienen las responsabilidades.

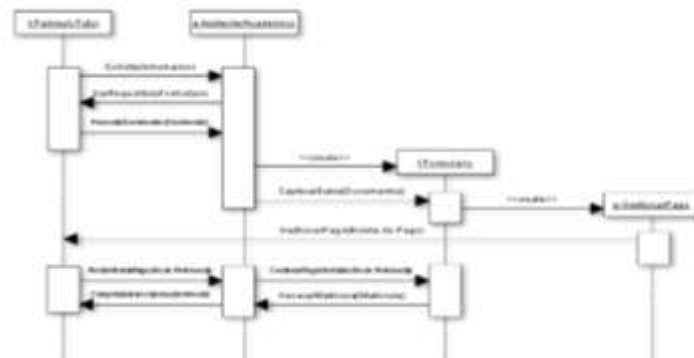


Figura 5. DS1 Inscribir Alumno

Teniendo estas herramientas se procede al diseño y estructuración de la Base de Datos, en la Figura 6., se presenta el Diagrama de entidad-relación de la base de datos del prototipo SIGAA, en la cual se muestran las entidades, sus atributos, las llaves primarias y foráneas.

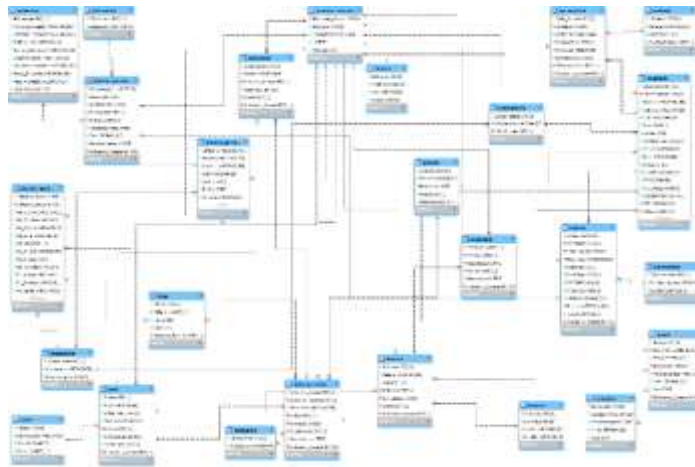


Figura 6. Diagrama de Entidad-Relación de SIGAA

Teniendo todos estos documentos se comienza el desarrollo del prototipo en el lenguaje de PHP, JAVA con apoyo de AJAX, en el software de Android Studio.

RESULTADOS

Como resultado de este trabajo, se presenta la implementación de la aplicación en sistema operativo Android, las pantallas que llevan a navegar por el sistema como resultado del análisis, diseño y desarrollo de estas primeras cuatro iteraciones del proyecto. Se construyó la aplicación en una versión beta, la cual realiza lo siguiente:

- Registro de alumnos, padres/tutores, empleados, proveedores, materias, horarios, periodos de clase, niveles escolares, salones, conceptos de pago, servicios, de material didáctico, de limpieza, etc.
- Registro de datos para nómina.
- Cargo de gastos corrientes para los ingresos y egresos.
- Control de almacén, a través de solicitudes de los empleados por la aplicación.

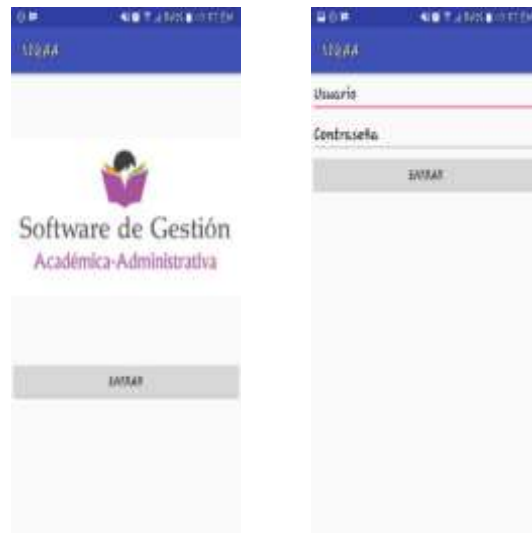


Figura 7. Interfaces de Inicio de Sesión

En la Figura 7., se muestra las pantallas de inicio de la aplicación, donde se requiere un inicio de sesión con usuario y contraseña generadas previamente en el registro por los administradores.



Figura 8. Interfaces Rol Administrativo

En la Figura 8., se presentan dos de las interfaces que se emplean para el registro de empleados.

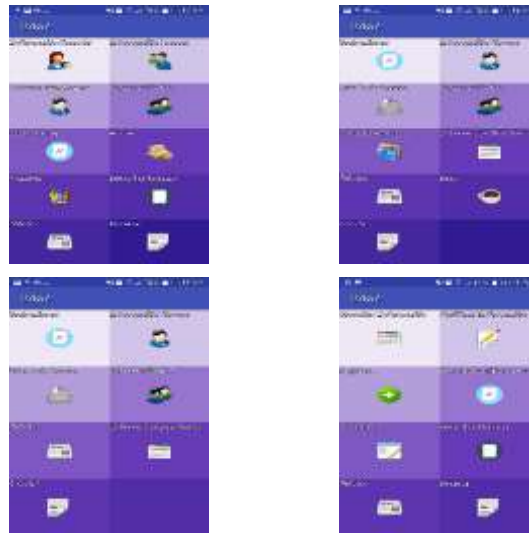


Figura 9. Interfaz <<Home>>

En la Figura 9., se muestran las interfaces de <<Home>> de cada rol de usuario.

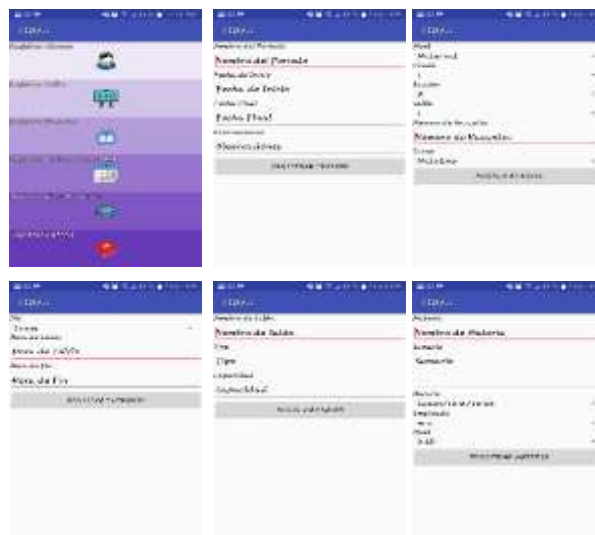


Figura 10. Interfaz de Registro Académico

En la Figura 10., se presenta la Interfaz para el proceso de Registro Académico, es decir, la información que debe de capturar el encargado de todos los procesos de control escolar.

Trabajos futuros

Se considera un proyecto muy amplio y ambicioso el poder incluir mejoras significativas para añadirle calidad y efectividad, entre las que se encuentran:

- Pagos por medio de NFC (Near Field Communication), QR, etc.
- Generación de códigos QR para cada usuario
- Incorporar un módulo de control de biblioteca de la Institución y para la evaluación docente y de la institución.
- Incorporar una función para que la aplicación realice el control de asistencia del personal.
- En el rol del Docente se encuentre la función de pasar lista por medio de la lectura de código QR, generando reportes de asistencia.
- Interacción con plataforma educativa web propia o de terceros.

- Crear el algoritmo que genere horarios según la disponibilidad del docente y los asigne a cada curso.
- Consultas estadísticas: no. de estudiantes matriculados, por programa, cuantos hombres y cuantas mujeres, no. de estudiantes admitidos por programa, etc.

CONCLUSIONES

Se tiene en cuenta que todas las instituciones educativas tienen como sistemas habituales para la gestión académica-administrativa los procesos de calificaciones, matrícula, ingresos y egresos, nómina, etc. El prototipo de SIGAA desarrollado para este tipo de instituciones puede ser considerado como una línea base o una primera versión para la construcción de un sistema con un nivel personalizado para cada necesidad, ofreciendo componentes que permitan un mejor seguimiento del rendimiento de los alumnos y docentes con la visualización de reportes en tiempo real y personalizados a cada institución.

Entre sus aciertos se encuentran el reducir el tiempo de los procesos de inscripción, cobro de colegiaturas y otros servicios, comunicación con padres de familia y/o tutores, solicitud de materiales para empleados, generación de reportes, pago a proveedores, generación y envío de boletines y circulares, etc. Además, el producto resultante se podría implementar en una institución educativa para ayudar a que las relaciones entre los padres, docentes y alumnos sean más fluidas y claras; en la medida de lo posible, los procesos académicos y administrativos mejoren.

Además, se resalta que una aplicación móvil a diferencia de las existentes que la mayoría son de escritorio para este tipo de procesos; posee una óptima portabilidad, sus actualizaciones y liberación de nuevos módulos es automática y simultánea en todos los equipos, no hay incompatibilidad de versiones, no existen requerimientos de software ni hardware, la interfaz es amigable con el usuario, el respaldo de la información es centralizado, mayor tiempo de desarrollo y mejora continua, flexible y de fácil acceso, y muy segura.

BIBLIOGRAFÍA

1. Álvarez, I., & Iturbe, E. (2005). Los estudios de caso como estrategia para la formación en gestión. México: Taller Abierto.
2. Std, 6. (1900). IEEE. Obtenido de <http://standards.ieee.org/findstds/standard/610.12-1990.html>
3. Álvarez, I., & Iturbe, E. (2005). Los estudios de caso como estrategia para la formación en gestión. México: Taller Abierto.
4. Tedesco, J. C. (1999). La educación y la sociedad del conocimiento y de la información. Encuentro Internacional de Educación Media-IIPE. Bogotá, Colombia. Recuperado el 2 de abril de 2017, de http://www.pedagogica.edu.co/storage/rce/articulos/rce36-37_09controv.pdf
5. Boehm, B. W., Brown, J. R., & Lipow, M. (octubre de 1976). "Quantitative evaluation of software quality" in Proc. IEEE/ACM 2nd Int. Conf. Software Eng.
6. Dorado Perea, C. (1 de 12 de 1996). Aprender a Aprender. Obtenido de <http://www.xtec.cat/~cdorado/cdora1/esp/disseny.htm>
7. Larman, C. (2003). UML Y PATRONES. Una introducción al análisis y diseño orientado a objetos y al proceso unificado. Segunda edición. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, SA.

DESARROLLO DE UN ARCO PARA SEGUETA SEMIAUTOMÁTICO- ERGONÓMICO PARA CORTES PRECISOS EN TALLERES Y HOGARES

Rosalía Daza Merino, Luis Roberto González Grovas, César Augusto de la Cruz Gutiérrez, Bernardino González Domínguez, Omar Serrano Luna, Brahiam Saldaña Duran.

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.
dameros@hotmail.com

RESUMEN

Se entiende por herramienta de corte aquel instrumento utilizado para cortar superficies de diversos materiales como: metales, plásticos y otros mediante un proceso de mecanizado. Tal es el caso del arco para segueta, herramienta manual, común e indispensables en cualquier hogar, taller o fábrica, ideal para ayudar en las labores no profesionales.

Con respecto al uso de dicha herramienta al momento de realizar el corte se requiere el conocimiento de técnicas para el manejo de la herramienta así como mayor esfuerzo y precisión, sin mencionar que después de una larga jornada probablemente el usuario que opera la herramienta quede exhausto e inclusive si no hace bien la sujeción puede generar un cambio y modificar la presión del corte, además este tipo de herramienta tiende a ser frágil y sensible, también requiere tomar medidas de seguridad correctas por la cercanía con los dedos para no provocarse cortaduras graves.

Derivado a ello surge la idea de fabricar un arco para segueta semiautomático para cortes precisos en los talleres y hogares, este prototipo está fabricado a base de metal, diseñado con un mango robusto, resistente y ergonómico mismo que mantendrá la estabilidad y precisión en el corte, tiene un motor de 120 V que trabaja a una frecuencia de 50-60 Hz con un consumo de 430W a 3.5A, el cual brindara la suficiente fuerza para los cortes que sean requeridos, el diseño es principalmente sustentable ya que los componentes no presentan riesgo al ambiente, su empleo es muy común y no hay que ser un experto para aprender a manipularlo lo cual disminuye el esfuerzo y presión, mejorando el rendimiento del usuario.

Por lo tanto, para saber si el prototipo tendría aceptación por las personas primero se hizo uso de la investigación cualitativa realizando un análisis de los diferentes tipos de herramientas de corte y de esa manera poder hacer las modificaciones y mejoras. También se utilizó el método cuantitativo mediante el diseño de una encuesta dirigida a una población de 30 personas de talleres con la finalidad de que la muestra seleccionada arrojará información de aceptación o rechazo del prototipo. Por último, se hicieron pruebas de experimentación con tres herramientas de corte contra el prototipo fabricado para conocer la funcionalidad del prototipo evaluando ciertas características como: fuerza aplicada, velocidad de corte, precisión y ergonomía obteniendo resultados satisfactorios durante la prueba.

INTRODUCCIÓN

Desde que el hombre creó sus primeras herramientas pasaron millones de años, a mediados del siglo XX se comienzan a difundir una gran variedad de herramientas y máquinas diseñadas y construidas durante la segunda guerra mundial. Con estas herramientas se fue construyendo y mejorando el mundo en el que vivimos, haciéndolas esenciales para el trabajo en las industrias que hoy en día mueven el planeta en constante innovación (Bayona, 2016).

Desde épocas remotas el hombre recurrió a distintos objetos para poder hacer lo que con sus manos no le era posible debido a la complejidad de ello. Conforme paso el tiempo, el hombre aprendió a utilizar y fabricar nuevas herramientas que lo ayudaron en su evolución. El hombre hizo uso de herramientas manuales a las que se les aplicaba la fuerza humana para la ejecución de sus actividades diarias. Posteriormente, produjo las que le ayudaron a equipar las máquinas de herramientas, como las Herramientas de Corte entre otras, las cuales fueron mejorando y ampliando sus posibilidades de trabajo.

A mediados del siglo XX se comienza a difundir una gran variedad de herramientas y máquinas diseñadas y construidas durante la segunda guerra mundial. Siendo las fábricas sus principales usuarios y el auge industrial producido, el cual se debía al desarrollo de los procesos productivos en especial a los mecanizados.

Los procesos mecanizados son los procesos de transformación que se produce en una pieza al llevarla de una forma material en bruto a su dimensión próxima o ideal por medio del trabajo de una herramienta o molde. Para este proceso de mecanizado son fundamentales las herramientas que utiliza la máquina. Estas herramientas son las de mayor consumo industrial desde los últimos cuarenta años, las llamadas Herramientas de Corte.

Actualmente la segueta es una herramienta de gran utilidad para los trabajos de taller. Consta de una hoja de metal, un marco para sujetar la hoja y un mango (Schwab, 2015).

TEORÍA

Herramientas de corte

Según el ingeniero Schwab (2015) una herramienta de corte es el elemento utilizado para extraer material de una pieza cuando se quiere llevar a cabo un proceso de mecanizado.

Segueta Bracera: Sierra bracera, sierra montada o de bastidor es la sierra que sirve para espigar y dividir toda especie de maderas. Consiste en una hoja relativamente estrecha y flexible montada a tensión dentro de un marco rectangular, generalmente de madera. La hoja está montada perpendicularmente al plano del marco, ver figura 1, de tal modo que la madera que se corta pasa a través del centro del marco. Cabaña (2015).



Figura 1. Segueta Bracera.

Segueta Caladora: Es por lo común una lámina muy estrecha, colocada en un marco en forma de arco amplio, con una empuñadura cilíndrica. Esta configuración le permite hacer cortes curvos en interiores de las tablas en trabajos de ebanistería y artesanía. EcuRedv (2015) ver figura 2.



Figura 2. Segueta Caladora.

Segueta Vaivén: La sierra de vaivén es una herramienta eléctrica conocida también como sierra caladora. Es una herramienta de mano y corta con un movimiento hacia arriba y hacia abajo alterno. La sierra de vaivén puede cortar curvas o cortes rectos. Esta herramienta tiene también hojas intercambiables y puede ser usado para cortar madera, metal, cerámica o plástico. Cabaña (2015) ver figura 3.



Figura 3. Segueta Vaivén.

Tipos de herramientas de corte: manuales o mecánicas

En esta tipología existen dos tipos de herramientas de corte, en las que el operador debe hacer el movimiento voluntario para lograr un acabado en un área de trabajo denominadas manuales o herramientas de brazo. El otro tipo de herramienta realiza una acción por medio de procesos industriales y son las conocidas como herramientas mecánicas o eléctricas.

En la investigación de los ingenieros Boothroyd y Ferro sustentan que se denomina segueta a una herramienta manual de corte que está compuesta de dos elementos diferenciados. De una parte, está el arco o soporte donde se fija mediante tornillos tensores la hoja de segueta y la otra parte es la hoja de segueta que proporciona el corte (Boothroyd, G., & Ferro, G., 2016).

PARTE EXPERIMENTAL

La fabricación de este prototipo fue llevada a cabo en varias etapas cronológicas, empezando por un diseño gráfico en el software SolidWorks, dentro de esta etapa se han ajustado todas las medidas necesarias para lograr obtener un diseño ergonómico. Como se puede ver en la figura 4.

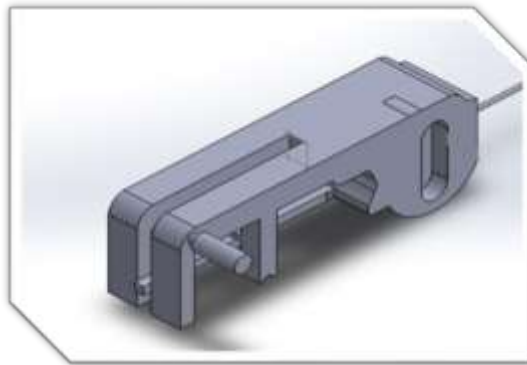


Figura 4. Diseño del prototipo en SolidWorks.

Una vez obtenido el diseño se realizó la búsqueda y compra de materiales, algunos de ellos fueron reciclados.

Este prototipo está fabricado a base de metal, diseñado con un mango robusto, resistente y ergonómico mismo que mantendrá la estabilidad y precisión en el corte, tiene un motor de 120 V que trabaja a una frecuencia de 50-60 Hz con un consumo de 430W a 3.5A, el cual brindara la suficiente fuerza para los cortes que sean requeridos, el diseño es principalmente sustentable ya que los componentes no presentan riesgo al ambiente. Párrafo repetido, eliminar uno de ellos.

Posteriormente se realizó y ensambló el mecanismo de movimiento conformado por un motor de 120v y un sistema el cual se encarga de transformar el movimiento giratorio a un movimiento horizontal, necesario para accionar el corte de la segueta. Seguido de ensamblar el mecanismo de

movimiento, se procedió al ensamblado interior del arco con segueta, con las medidas necesarias para la adaptación de ambos sistemas. Las diferentes partes fueron ensambladas mediante el proceso de soldadura por arco eléctrico.

Así mismo, se realizó el proceso de pintado del prototipo, brindando un mejor acabado y una mejor protección de los componentes metálicos. Para concluir, se efectuaron distintas pruebas en diferentes lapsos de tiempo, con la finalidad de poner a prueba el correcto funcionamiento del prototipo. Ver figura 5.



Figura 5. Arco para segueta semiautomático.

Posteriormente se diseñó una matriz de evaluación con la finalidad de analizar el desempeño y efectividad del prototipo realizando cortes con materiales como: PVC, cobre y madera, utilizando dos herramientas similares de corte para compararlas con el arco con segueta semiautomático obteniendo los resultados como se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz de evaluación de tres diferentes herramientas de corte.

MADERA						
HERRAMIENTA	ESFUERZO			ACABADO DE CORTE		TIEMPO (SEGUNDOS)
	ALTO	MEDIO	BAJO	BUENO	MALO	
ESMERILADORA			✓		✓	15
ARCO CON SEGUETA		✓			✓	11
ARCO CON SEGUETA SEMIAUTOMATICO			✓	✓		5
COBRE						
HERRAMIENTA	ESFUERZO			ACABADO DE CORTE		TIEMPO (SEGUNDOS)
	ALTO	MEDIO	BAJO	BUENO	MALO	
ESMERILADORA			✓		✓	3
ARCO CON SEGUETA		✓			✓	11
ARCO CON SEGUETA SEMIAUTOMATICO			✓	✓		27
PVC						
HERRAMIENTA	ESFUERZO			ACABADO DE CORTE		TIEMPO (SEGUNDOS)
	ALTO	MEDIO	BAJO	BUENO	MALO	
ESMERILADORA			✓		✓	14
ARCO CON SEGUETA		✓		✓		14
ARCO CON SEGUETA SEMIAUTOMATICO			✓	✓		29

Por consiguiente, la matriz de evaluación muestra los criterios evaluados con cada una de las herramientas comparándola con el prototipo el factor de tiempo de corte, fuerza aplicada y acabado, obteniendo resultados satisfactorios como mayor velocidad y confiabilidad en el corte.

RESULTADOS

Debido al análisis realizado, se determina que la segueta con arco semiautomático es capaz de ofrecer distintas ventajas en la categoría de herramientas de cortes. Esto se determinó a partir de la comparación de: tiempo de duración de corte, fuerza aplicada y acabado de forma principal como factores de efectividad en el desempeño de la herramienta.

Tomando en cuenta los factores secundarios de efectividad, la segueta con arco semiautomático sobresale en comparación con las herramientas ya antes mencionadas. Estos factores se basaron en: Comodidad de corte o versatilidad, precisión de corte y ergonomía.

Además, se presenta un prototipo único en su tipo, puesto que en la actualidad no existe una herramienta con dichas características físicas y de funcionalidad, quedando como un modelo de innovación en el desarrollo y aplicación para la realización de cortes precisos de forma semiautomática, capaz de incrementar el desempeño laboral, mejorando la seguridad de manipulación, así como también la precisión y velocidad de corte.

Por último, las características físicas enfocadas a las dimensiones del arco con segueta semiautomático ofrecen una clara ventaja en su aplicación en materiales de distintos grosores, dando como resultado una herramienta versátil para diferentes aplicaciones de corte.

CONCLUSIONES

Es sabido que las herramientas actualmente buscan la innovación como punto de partida, a fin de prestar las mejores utilidades, facilitar el trabajo de los empleadores, mejorando el desempeño laboral, brindando seguridad y ergonomía.

En relación con el prototipo se cumplió con el objetivo de desarrollar un prototipo funcional capaz de reducir el esfuerzo físico, brindando comodidad y seguridad al usuario en diversos cortes, además, presentando un buen desempeño en los tiempos de corte y acabados, con tres diferentes materiales: PVC, cobre y madera.

Por último, en comparación con las herramientas de corte: esmeril y segueta convencional, se presentaron buenos resultados como: precisión, seguridad, y facilidad para manipular la herramienta semiautomática. Con esta investigación se logró culminar en el desarrollo de una herramienta semiautomática.

BIBLIOGRAFÍAS

1. Bayona, T. Á. (2016). En *Herramientas manuales: criterios ergonómicos y de seguridad para su selección* (pág. 79). Madrid: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo (INSHT).
2. Boothroyd, G., & Ferro, G. (2016). *Fundamentos del corte de metales y de las máquinas-herramienta*. McGraw-hill.
3. Cabaña, M. (2015). *Sierra Mecánica*. República Bolivariana De Venezuela: Universidad Nacional Experimental Politécnica De La Fuerza Armada.
4. EcuRed. (2015). *EcuRed*. Obtenido de EcuRed.cu: [https://www.ecured.cu/Sierra_\(Herramienta\)](https://www.ecured.cu/Sierra_(Herramienta)).
5. López, C. (2020). *Maquina y Herramientas*. Guatemala : Universidad del Valle de Guatemala
6. Schvab, L. (2015). *Máquinas y herramientas*. *Ministerio de educación Instituto Nacional*.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE CONTROL ESTADÍSTICO, LEAN Y SIMULACIÓN EN EL PROCESO DE PRODUCCIÓN DE PLANTILLA DE PU

Armando Mares Castro, María Teresa Segura Cándido, María Nirvana López Sámano

Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. Del Valle #2301, Guardarrayas, Purísima del Rincón, Guanajuato. C.P. 36413, México.

armando.mc@purisima.tecnm.mx

RESUMEN

En este artículo, se propone una metodología basada en el uso de técnicas del Lean Manufacturing, Simulación de Eventos Discretos y Control Estadístico del Proceso en la evaluación de un sistema de producción de plantilla de poliuretano. Inicialmente, en el proceso no se contaba con información de partida sobre la calidad y productividad del proceso. Mediante el uso de herramientas de la estandarización del trabajo fue posible evaluar la capacidad de producción del sistema; para la evaluación de la calidad se aplicaron técnicas del control estadístico de procesos con la finalidad de evaluar el comportamiento de las variables críticas de la calidad, las cuales son del tipo atributos. Una vez obtenidas las métricas de calidad y productividad del proceso se procedió a la creación de un modelo de simulación para replicar el comportamiento del sistema de producción. La aplicación de las técnicas permitió el conocimiento de las métricas iniciales de eficiencia, porcentaje de defectos y niveles de calidad para el mismo, mientras que el modelo de simulación permite la evaluación de escenarios de mejora. La metodología utilizada puede extenderse a muchos procesos de manufactura para el inicio de un ciclo de mejora continua.

Keywords: Control Estadístico de la Calidad, Trabajo Estándar, Simulación de Eventos Discretos, Fabricación de Plantilla de Poliuretano.

INTRODUCCIÓN

La evolución de la ingeniería aplicada en los sistemas productivos ha llevado al desarrollo de estrategias cuyo objetivo es la eliminación o reducción de “desperdicios”, que se definen como aquellas situaciones o actividades que se presentan en el proceso y que no generan valor. Entre los principales desperdicios en el proceso se tienen los traslados excesivos e innecesarios, procesos realizados de forma inadecuada, problemas de calidad, reprocesos, generación de scrap, entre otros. Uno de los objetivos del Lean es generar las condiciones para la mejora del flujo del proceso. La efectividad del Lean Manufacturing radica en analizar de forma continua las oportunidades de mejora que se ocultan en la empresa para la perfección de los procesos, siempre será un reto para aquellos que estén dispuestos a encontrar y eliminar los desperdicios [1].

El control estadístico del proceso (CEP) es una metodología desarrollada por Walter Shewhart [2], la cual puede definirse como una colección de técnicas y métodos estadísticos de ingeniería y estadística que se utilizan en la medición, monitoreo, control y mejora de la calidad. En los años 70s, la industria americana sufrió con la competencia japonesa y otros extranjeros debido a la calidad superior que mostraban en sus productos, esto lo llevó a renovar el interés en métodos de control estadístico en los Estados Unidos. Muchas de estas compañías han iniciado programas extensivos para la implementación de estos métodos en la manufactura, ingeniería y otras organizaciones de negocios [3].

TEORÍA

Control estadístico de procesos para atributos tipo binomial

Dentro de los métodos utilizados en el CEP se contempla el estudio de características críticas de la calidad del tipo pasa/ no pasa en la cual se inspecciona un producto de acuerdo con ciertos criterios predeterminados con la finalidad de clasificarlo como conforme o no conforme, en la segunda clasificación se puede tomar la decisión de desechar o reprocesar el producto de acuerdo con sus condiciones [4]. El gráfico de control P es una herramienta gráfica en la que se muestran las variaciones de la proporción de artículos defectuosos en una serie temporal. Se puede tomar muestras o subgrupos de artículos de cada lote, se inspeccionan los artículos del subgrupo en su

totalidad o una muestra significativa de ellos y se determina la proporción de unidades defectuosa del subgrupo P_i . La línea central y los límites de control se definen en las ecuaciones (1-3).

$$LCS = \bar{p} + 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (1)$$

$$LC = \frac{\sum_{i=1}^m p_i}{m} \quad (2)$$

$$LCI = \bar{p} - 3 \sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}} \quad (3)$$

La detección de las causas especiales de variación en los gráficos de atributos se apoya en la metodología de Nelson en las reglas 1-4 que indican: 1) Si existen puntos de control fuera de las 3 desviaciones estándar desde la línea central, 2) 9 puntos en fila en el mismo lado de la línea central, 3) 6 puntos en fila todos incrementando o disminuyendo y 4) 14 puntos en fila alternando arriba y abajo.

Técnicas Lean: Estandarización del Trabajo

Dentro de las estrategias del Lean Manufacturing para la mejora de procesos, se encuentra un compendio de herramientas del análisis de métodos llamadas Trabajo Estándar, que son una estrategia de medición y mejora en los procesos cuya finalidad es uniformizar los métodos de trabajo utilizados en los procesos. Dentro de las aplicaciones en la literatura, Emiliani [5] presentó una propuesta de Estandarización del trabajo en la mejora del liderazgo, capacidades y eficacia a nivel ejecutivo, encontró que existe una relación entre las tareas estratégicas diarias y el liderazgo ejecutivo. Fireman et al. [6] presentaron un estudio sobre el papel del trabajo estándar en los procesos de construcción analizando las fuentes de variación presentes. Kulkarni [7] presentó un estudio sobre incremento de productividad con el uso de principios Lean y análisis de métodos de trabajo, se definió un método secuencial para la definición de las mejores prácticas con la finalidad de asegurar que cada operario las siga mediante un seguimiento estricto, obteniéndose un valor para los clientes.

Simulación

La simulación de eventos discretos es una herramienta para simular el comportamiento y el desempeño de los procesos del mundo real. El nombre de eventos discretos se define a partir del análisis de los procesos en los cuales se observa que se pueden definir como una serie de eventos separados y discretos que ocurren a lo largo de cierto tiempo, la complejidad e interacciones alteran el estado del sistema. La simulación permite generar escenarios alternativos del sistema en los cuales se busca la mejora del flujo del proceso, reducción de inventarios innecesarios y en general, la optimización de los procesos, en lo cual se empata con los objetivos del Lean Manufacturing y el control de la calidad. En comparación con los métodos tradicionales de análisis tales como el balanceo de líneas, la simulación permite ubicar de forma estadística las ubicaciones de los cuellos de botella y eventos difíciles de detectar como son los bloqueos de máquinas, capacidades utilizadas, entre otras. En el estado del arte de la simulación aplicada en la mejora de procesos de manufactura, Gurumurthy y Kodali [8] presentaron una aplicación basada en técnicas de simulación a través de análisis de mapas de cadenas de valor (VSM), el caso de análisis se aplicó a un sistema de producción del tipo job-shop para fabricación de puertas y ventanas, lográndose una mejora significativa en el VSM futuro. Helal et al. [9] utilizaron modelos de simulación en líneas de ensambles con base en principios Lean tales como la manufactura celular, suministro justo a tiempo y el SMED.

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología propuesta para el análisis del caso propuesto se muestra en la Figura 1. El análisis de métodos con herramientas del Trabajo estándar se realiza a la par que los estudios de calidad para el proceso, una vez que se ha obtenido la información se convierte en el insumo para el modelo de simulación para determinar las capacidades en las locaciones, entidades, recursos, etc. La

información de calidad también se integra en el modelo de simulación por medio de la inspección de calidad, con lo cual se modela de forma más adecuada el comportamiento del sistema de producción.

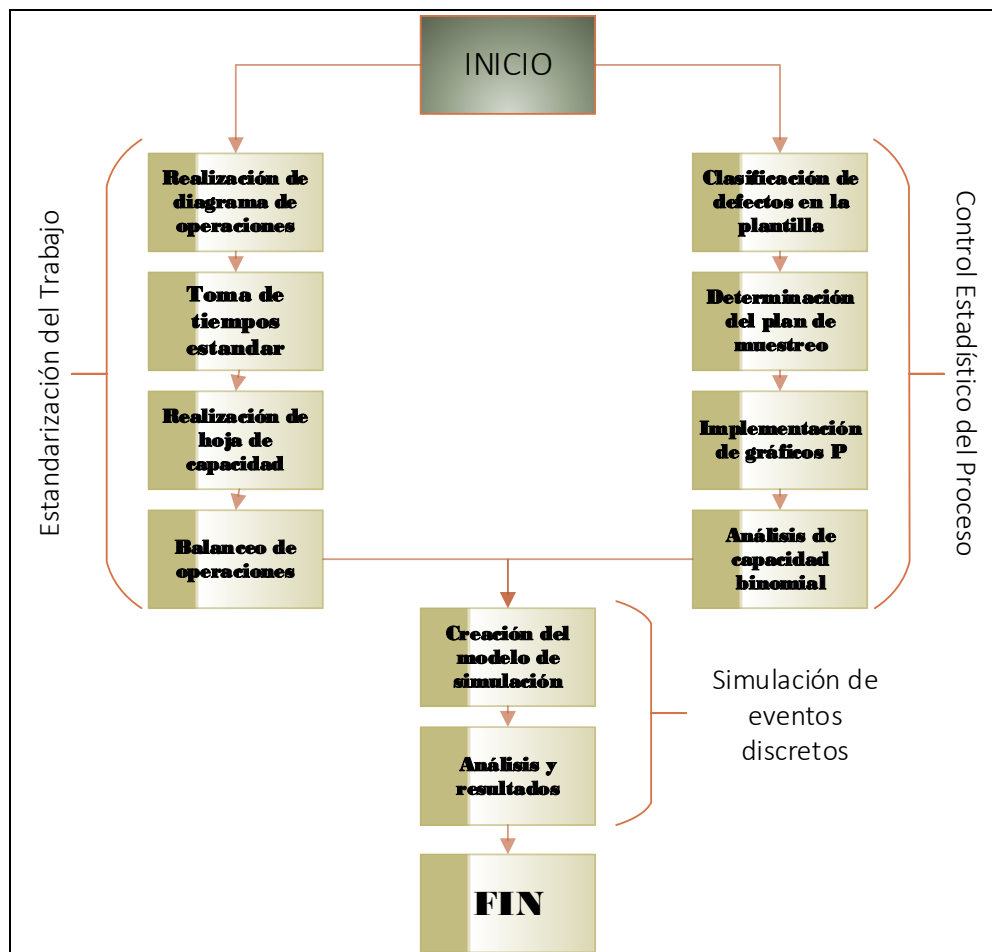


Figura 1. Metodología utilizada

El proceso de fabricación de plantilla de poliuretano (Figura 2) se realiza por vaciado, también llamado inyección líquida. Se trabaja una mezcla de elementos que conforman el polioli e isocianato los cuales se están agitando de forma continua en tanques contenedores, los cuales también presentan una temperatura alrededor de 40°C. El material que se vierte a los moldes de la plantilla debe mezclarse dentro de un perno mezclador que gira a 8000 rpm, la mezcla del material dura unos segundos en estado líquido y posteriormente comienza a reaccionar tomando una forma de espuma, por lo cual el vertido debe realizarse de forma rápida dentro del molde haciendo un movimiento vertical para distribuir la mezcla a lo largo del molde. Al cerrar el molde se realizará el proceso de curado en el cual el material adquiere la forma de la plantilla en el molde, este proceso se realiza en unos 3 minutos dentro del molde cerrado a presión y con temperatura, finalmente se realiza el desmolde de la plantilla y pasa a la inspección y procesos de acabado y loteo.



Figura 2. Proceso de fabricación de plantilla de poliuretano



Figura 3. Área del Proceso

El área del proceso para la fabricación de la plantilla (Figura 3) comúnmente integra los tanques para el polioli e isocianato, cuadro de control en el que se manipulan los parámetros del proceso, el brazo del disparador de la mezcla, una serie de moldes soportados por una base redonda o rieles que se mueven en forma de elipse, otra configuración para los moldes es una base en forma de “banana”. El objetivo principal de la configuración en pulpo o elipse es que el molde se vaya moviendo desde la zona de vaciado de material hasta la zona de desmoldado, por lo que durante este tiempo se realiza el curado del material. La inspección del material se realiza en mesas colocadas junto a la máquina de los moldes.

RESULTADOS

En la Figura 4 se muestra el diagrama de Pareto de defectos en la plantilla de poliuretano, observándose una prevalencia de los defectos a) Presencia de burbujas, b) Quemada, c) Mal rebabeado, d) Falta de llenado, e) Cruda y f) Contaminada. Los defectos anteriores conforman el 80% de los problemas de calidad en el proceso y se observa que todos ellos son del tipo pasa/ no pasa.

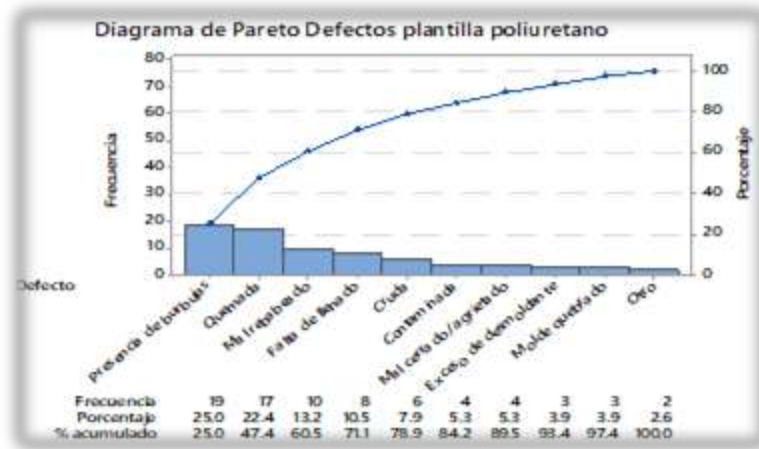


Figura 4. Diagrama de Pareto

El diagrama de causa y efecto (Figura 5) se utilizó con la finalidad de definir las causas que generan la presencia de defectos en la plantilla de poliuretano, el criterio utilizado fue el de las 6M y mediante esta herramienta se pudieron detectar las variables que pueden tener mayor influencia en la calidad y variación en el proceso.



Figura 5. Diagrama de causa y efecto

Para la realización del análisis comparativo por periodos de utilizaron los gráficos de control P para los meses de septiembre, octubre y noviembre. No se observó diferencia significativa entre los periodos y se pudo establecer el nivel de calidad actual de calidad en relación con el porcentaje defectivo del proceso. En la Figura 6 se muestra el comparativo de octubre- noviembre.

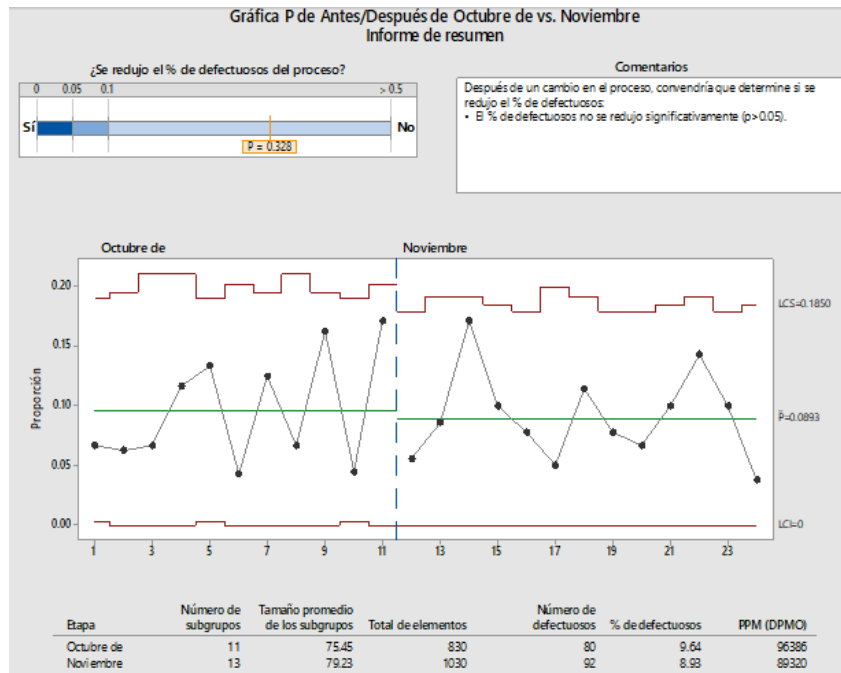


Figura 6. Gráficos P Comparativos de octubre- noviembre

Se observa que el porcentaje defectivo del proceso fluctúa alrededor del 8.93%, los límites de control para el proceso se encuentran entre 0 y 18.5%. Los defectos por millón oportunidades (DPMO) superan los 8000 en los tres periodos de análisis y se puede estimar un nivel sigma inicial del proceso de alrededor de 2.84.

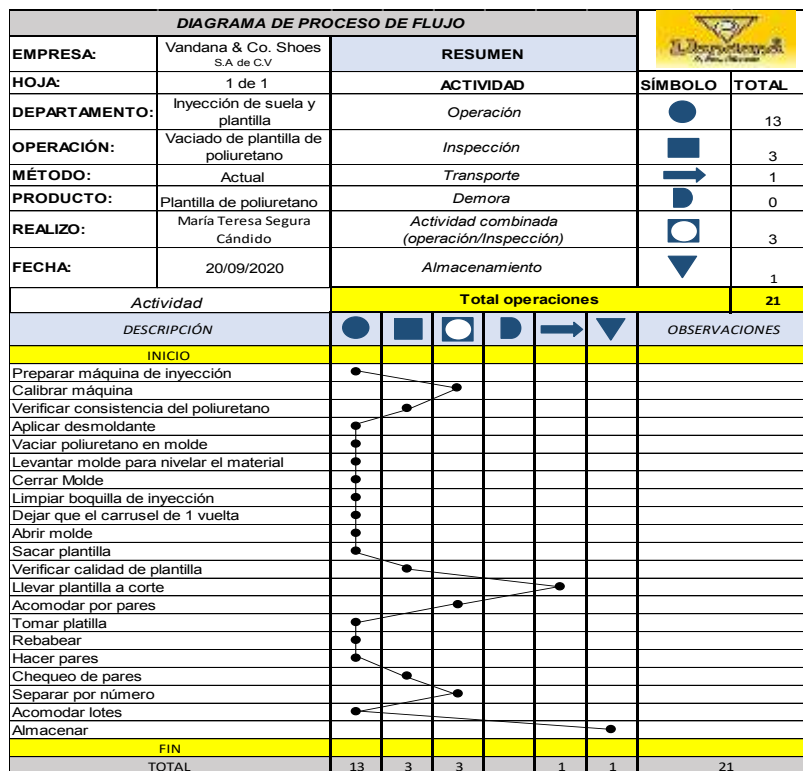


Figura 7. Diagrama del proceso

En la Figura 7 se ilustra la primera herramienta del Trabajo estándar que es el diagrama del proceso, en el diagrama se plasman todas las operaciones, inspecciones, transporte, demoras, actividades combinadas y almacenamientos del proceso. La siguiente fase es la toma de tiempos para cada una de las operaciones por la metodología tradicional del cronometraje, evaluación de la actuación y evaluación del operario. Una vez obtenidos los tiempos se procedió al balanceo de líneas (Figura 8) para determinar la cantidad necesaria de personal, maquinaria y equipo en el proceso.

BALANCEOS DE LINEA DE PRODUCCIÓN										
ESTILO: <u>Plantilla</u>		PROD.SEM: <u>8500</u>	TIPO.T.STANDAR: <u> </u>		TOLER.: <u>15%</u>					
DEPTO.: <u>Inyección</u>		FECHA: <u>19/10/2020</u>	CLIENTES: <u> </u>		TURNQ.: <u>630</u>					
LINEA: <u> </u>		APROVECH.: <u>59.09%</u>	ANALISTA: <u>MARÍA TERESA SEGURA CÁNDIDO</u>							
Num	DESCRIPCIÓN DE OPERACIÓN	TIPO MAQUINA	TEMPO PAR CENT	PERS. CALC.	PERS. REAL	PARES HORA	PARES DIA	A	T	TIPO FUNCIÓN
01	APLICACIÓN DE DESMOLDANTE	PISTOLA DE GAS	0.112							A +
02	ACOMODAR POR PARES	MANUAL	0.028	0.38	1	2148	22558			
03	VACIADO DE POLIURETANO	MAQUINA DE INYECCIÓN	0.216							A +
04	CERRAR MOLDE	MANUAL	0.069	0.77	1	868	9113			
05	ABRIR MOLDE	MANUAL	0.052							A +
06	SACAR PLANTILLA	DESARMADOR	0.048	0.27	1	1246	13083			
07	REBABEAR	CORTADORA	0.351	0.95	1	171	1795			
63										
			0.876	2.364	4.00					

Figura 8. Balanceo de líneas

HOJA DE TRABAJO ESTÁNDAR									
Empresa: Vandana & Co. Shoes		Fecha de realización: 27/10/2020							
Proceso: Inyección		Realizado por: María Teresa Segura Cándido							
Producto: Plantilla de Poliuretano									
Operación	Operador	Traslado	Regresar al inicio	Secuencia de trabajo	Revisión	Seguridad	Inventario en proceso	Takt time (segundos)	Tiempo de ciclo
1	A	—	○	◇	●	18.000	22.235	60.036

Figura 9. Hoja de trabajo estándar

En la Figura 9 se muestra la hoja de trabajo estándar, que combina un layout y la distribución de proceso, en esta herramienta se puede observar la secuencia del proceso y se identifican elementos

que se pueden clasificar como desperdicios en el proceso, tales como los inventarios. El tiempo de ciclo calculado para el proceso fue de 60.086 segundos. La información obtenida en las fases del trabajo estándar y el control estadístico del proceso se integró en un modelo de simulación en el software PROMODEL®. El modelo final se muestra en la Figura 10.

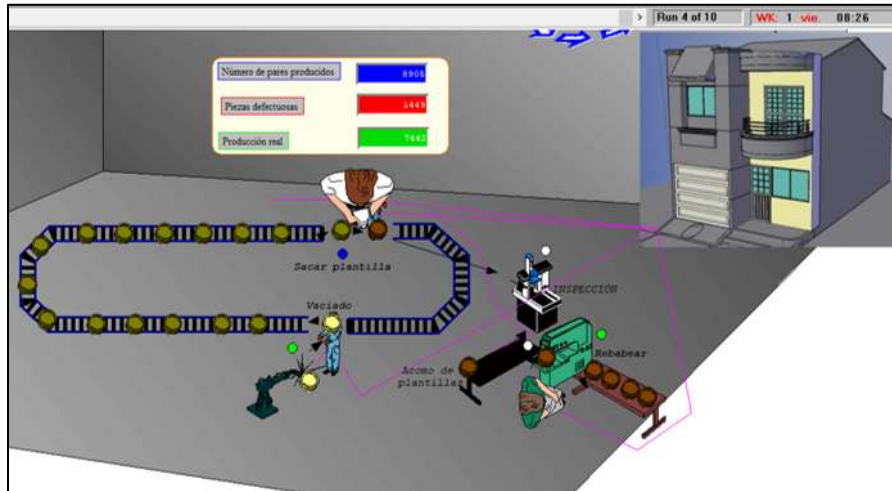


Figura 10. Modelo de simulación en PROMODEL para el sistema de producción

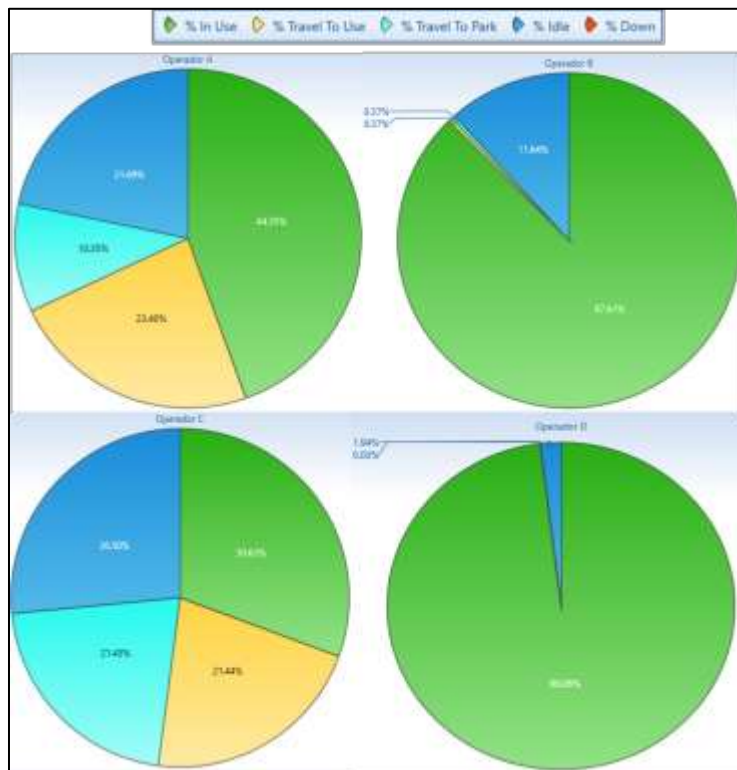


Figura 11. Modelo de simulación en PROMODEL

En la Figura 11 se muestran los resultados del simulador para los cuatro operarios en el proceso, el color verde indica el tiempo productivo de los operarios, el color azul es el tiempo improductivo, el

color amarillo muestra los traslados que realizó el operario en el tiempo de simulación. Se observan áreas de mejora en las que se puede mejorar el proceso a través de estrategias de ingeniería.

CONCLUSIONES

La metodología presentada en este artículo integra tres herramientas de la ingeniería industrial que nos permiten la determinación de las métricas necesarias para la evaluación de la capacidad del sistema de producción y el nivel de calidad en el producto, integrando la información en un modelo de simulación por computadora que puede replicar el comportamiento del sistema productivo. El proceso analizado no contaba con información inicial para evaluar su desempeño, lo cual se logró adecuadamente con el uso de las técnicas de estandarización del trabajo, control estadístico del proceso y simulación de eventos discretos.

El proceso de mejora continua implica una evaluación y análisis constante para determinar un punto de partida cada vez que se obtienen las mejoras en calidad y productividad. El proceso de producción de plantilla de poliuretano presenta interesantes áreas de oportunidad para la aplicación de la ingeniería con enfoque a la mejora continua de la productividad y de la calidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Socconini, L. (2019). Lean Manufacturing. Paso a Paso. ICG Marge, SL.
2. Dunna, E. G., Barrón, L. E. C., y Reyes, H. G. (2013). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Pearson Educación.
3. Shewhart, W. A. (1931). Economic Control of Quality of Manufactured Product. American Society for Quality Control.
4. Montgomery, D., & Runger, G. (2014). Applied statistics and probability for engineers. Wiley.
5. Emiliani, M. L. (2008). Standardized work for executive leadership. *Leadership and Organization Development Journal*, 29(1), pp. 24-46. <https://doi.org/10.1108/01437730810845289>
6. Fireman, M. C. T., Saurin, T. A., & Formoso, C. T. (2018). 'The role of slack in standardized work in construction: An exploratory study'. In: 26th Annual Conference of the International Group for Lean Construction. Chennai, India, 18-20 Jul 2018, pp. 1313-1322. <https://doi.org/10.24928/2018/0213>
7. Kulkarni, P. (2014). Productivity Improvement Through Lean Deployment & Work Study Methods. *International Journal of Research in Engineering and Technology*. 3(2), pp. 429-434.
8. Gurumurthy, A., & Kodali, R. (2011). Design of lean manufacturing systems using value stream mapping with simulation A case study. *Journal of Manufacturing Technology Management*. 22(4), pp. 444-473. <https://doi.org/10.1108/17410381111126409>
9. Helal, M., Seleem, S. N., & Ellassal, A. (2014). Using Computer simulation in Lean Manufacturing Implementation.

APLICACIÓN DE TÉCNICAS DE MODELADO EN INTERIORES Y EXTERIORES PARA ESTIMAR LA EXPOSICIÓN INDIVIDUAL A PM_{10} A PARTIR DE MUESTRAS EN TRASPORTE PÚBLICO.

Jessica Marsella Ibarra-Morales¹, José Octavio Saucedo-Lucero², Argel Gastelum-Arellanez³, Juan José Quiroz-Ramírez^{4*}

^{1,2} CIATEC AC, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, León México, Omega No. 201 Col. Industrial Delta C.P, 37545, León, Gto, México. ^{3,4} Catedra CONACYT, Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC AC), Omega No. 201, Col. Industrial Delta C.P., 37545, León, Gto, México.
jmim.mrs@gmail.com

RESUMEN

Dentro de los contaminantes más importantes asociados a las emisiones vehiculares se encuentra el material particulado PM_{10} (por sus siglas en inglés) y las partículas ultrafinas, ambos contaminantes han sido asociados a efectos en salud crónicos y agudos, principalmente por efectos cardiorrespiratorios y cáncer, debido a esto, pueden empeorar una enfermedad y se considera un riesgo a la población que diariamente este mayor tiempo expuesta a contaminantes atmosféricos durante los viajes en autobús o vehículos. En esta propuesta se plantea un estudio que permita determinar la exposición a diferentes clases de concentración de partículas PM_{10} en usuarios del Sistema de Transporte de León, Gto. Los objetivos de este trabajo son la modelización de la dispersión atmosférica para estudiar la predicción de la dispersión de partículas PM_{10} en la atmósfera, en el interior de las unidades de transporte y el análisis de riesgo a las personas asociado a la exposición diaria de PM_{10} . El modelo de pluma gaussiana se utiliza para estimar la concentración de contaminante producida por una fuente puntual en la ciudad de León, Gto. Se simularon los valores de concentración utilizando el modelo dispersión gaussiana con el software matemático MATLAB y la aplicación del modelo se realiza a partir de los datos horarios, temperatura, dirección y velocidad del viento y radiación extrema, reportados por el Subsistema Estatal de Información de Calidad del Aire durante el año 2019. El modelo nos permite variar las condiciones meteorológicas para diferentes clases de concentración de PM_{10} , permitiendo calcular las concentraciones finales de un contaminante en el exterior. Un modelo en el interior correlaciona la concentración en el exterior y parámetros físicos de la población mexicana, programados en el software MATLAB, para la determinación de la concentración y útil para la predicción de incumplimiento de las regulaciones de calidad del aire en el interior del Sistema de Transporte. El análisis de riesgo incorpora la duración del viaje (minutos); concentraciones modeladas de PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$); y volumen respiratorio por minuto (V_F) como medida de fisiología y nivel de actividad, permitiendo estimar la exposición durante el viaje en diversas condiciones meteorológicas. Después del ajuste de los parámetros, se logró de los modelos propuestos la predicción de los niveles en el exterior e interior del transporte público. Se consideran niveles altos de exposición por fuentes externas y la concentración de material particulado en el interior de las unidades del transporte público muestra mayor afectación en las mujeres, sobresaliendo una media de $342.77\mu\text{g}$ para un recorrido normal dentro del Sistema de Transporte. En los ambientes interiores la respuesta poblacional a la contaminación del aire depende de la concentración y del efecto del tiempo de exposición a material particulado PM_{10} , por lo tanto, en salud es determinante para observar un efecto de corto plazo en la población. Cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire, mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo. A fin de controlar la contaminación del aire de ambientes interiores deberían considerarse mejoras en el interior del Sistema de Transporte Público.

INTRODUCCIÓN

Históricamente León es la ciudad de Guanajuato en la que con mayor frecuencia se presentan días con concentraciones superiores a los límites normalizados en la calidad del aire de las partículas PM_{10} siendo el principal factor las quemadas a cielo abierto de pastizales. En un informe del Estado de

Guanajuato del año 2016 se presentaron los días fuera de norma de PM₁₀ siendo el primer lugar León con 160 días (44.44%).

La ciudad de León cuenta con tres estaciones de monitoreo de PM₁₀ en donde se presenta una variedad en los registros de la calidad del aire, esto se lo atribuyen a la ubicación y características de cada estación por lo que presenta un reto en el modelado matemático. Los efectos sobre la salud y las fuentes de contaminación del aire de ambientes interiores es un problema importante ya que el 90% del tiempo la población está en ambientes interiores y el 70% de la población utiliza el transporte público para movilizarse.

TEORÍA

Problemática respecto a la contaminación atmosférica

De acuerdo con informes de la Organización Mundial de la Salud (OMS), la contaminación del aire representa un importante riesgo medioambiental para la salud. Mediante la disminución de los niveles de contaminación del aire los países pueden reducir la carga de morbilidad derivada de accidentes cerebrovasculares, cánceres de pulmón y neumopatías crónicas y agudas, entre ellas el asma. Cuanto más bajos sean los niveles de contaminación del aire mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.

Una evaluación de 2013 realizada por la Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer de la OMS determinó que la contaminación del aire exterior es carcinógena para el ser humano, y que las partículas del aire contaminado están estrechamente relacionadas con la creciente incidencia del cáncer, especialmente el cáncer de pulmón.

La mayoría de las fuentes de contaminación del aire exterior están más allá del control de las personas, y requieren medidas por parte de las ciudades, así como de las instancias normativas nacionales e internacionales en sectores tales como transporte, gestión de residuos energéticos, construcción y agricultura. (Organización Mundial de la Salud, 2018)

Partículas suspendidas

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático indica que existe un gran número de contaminantes en la atmosfera que tienen distintas percusiones en el medioambiente y la salud humana, los contaminantes tóxicos del aire pueden aumentar sus posibilidades de experimentar problemas de salud. Entre estos contaminantes destacan las partículas, también conocidas como material particulado, una mezcla de compuestos microscópicos en forma de líquidos y sólidos suspendidos en el aire. (INECC -SEMARNAT, 2006)

Clasificación de partículas suspendidas

En el Inventario nacional de emisiones de México se describen las partículas, las cuales se pueden clasificar de muchas maneras de acuerdo con diferentes criterios; los más comunes se describen a continuación:

1. Partículas según su origen: esta es una de las clasificaciones más básicas de las partículas ambientales y de los demás contaminantes del aire; distingue entre partículas primarias y secundarias conforme al siguiente criterio:
 - Partículas primarias: son aquellas que se emiten directamente a la atmosfera por diversas fuentes.
 - Partículas secundarias: son aquellas que se forman en la atmosfera como resultado de reacciones químicas a partir de materiales gaseosos, llamados precursores.
2. Partículas según su tamaño: No es posible caracterizarlas por su forma, se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de las partículas, este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal que la partícula considerada, independiente de su forma, tamaño o densidad bajo condiciones de temperatura, presión y humedad existentes. El uso de este concepto permite también determinar el transporte, los procesos de remoción en el aire y en superficies, así como la trayectoria de las partículas dentro del sistema respiratorio.

El tamaño de las partículas suspendidas es una característica muy importante, porque mientras más pequeño sea su diámetro aerodinámico mayor será su capacidad de penetrar a áreas más profundas del sistema respiratorio; por lo tanto, en función de esta característica. Algunas investigaciones sobre

los efectos de las partículas ambientales en la salud se enfocaron en partículas que pueden ser inhaladas por el sistema respiratorio, y se encontró que las partículas de diámetro aerodinámico menor a $10\ \mu\text{m}$ (PM_{10}) tienen esta característica; a estas partículas se les conoce también como fracción respirable o inhalable. (INECC -SEMARNAT, 2006)

Fuentes emisoras de partículas

En la Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones, así como el Inventario nacional de emisiones de México de INECC -SEMARNAT, indican que hay varias formas de clasificar las fuentes de emisión de un contaminante; una de las más comunes es dividir las fuentes en fuentes antrópicas y fuentes naturales. Las fuentes antrópicas, a su vez, se dividen en fuentes fijas o estacionarias, fuentes de área y fuentes móviles, mientras que las naturales se dividen en biogénicas y geogénicas.

1. Fuentes antrópicas

Las fuentes antrópicas abarcan las emisiones generadas por las actividades humanas, y algunos ejemplos de ellas son las emisiones provenientes de fábricas, automóviles, construcciones, tortillerías, quemas agrícolas, etc. Estas mismas fuentes se agrupan a su vez en tres subgrupos, como se describe a continuación.

- Fuentes fijas o estacionarias

Estas fuentes se refieren a toda instalación establecida en un solo lugar y que tenga como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. En este tipo de establecimientos, las emisiones de partículas primarias pueden generarse a través de actividades de combustión o como resultado de diversos procesos que se llevan a cabo dentro de las fuentes fijas.

- Fuentes de área

Las fuentes de área incluyen aquellas fuentes que son demasiado numerosas y dispersa, pero que en conjunto son emisoras significativas de contaminantes. Ejemplo de ellas son las gasolineras, tintorerías, actividades de construcción, quemas agrícolas, suspensión de polvos de caminos, entre otras.

- Fuentes móviles

Las fuentes móviles que se incluyen en esta categoría son todas las fuentes motorizadas con autorización para circular por caminos públicos, como motocicletas, vehículos de pasajeros, camiones y autobuses, así como aquellas que no circulan por carretera, como maquinaria de uso agrícola, locomotoras, embarcaciones marinas, maquinaria para construcción, entre otras. Las emisiones de este tipo de fuentes son principalmente un producto de la combustión y evaporación de los combustibles utilizados, así como del desgaste tanto de los frenos como de las llantas.

2. Fuentes naturales

Las fuentes naturales se definen como aquellas que emiten contaminantes atmosféricos sin la participación de las actividades humanas. Generalmente las fuentes naturales se clasifican en biogénicas y geogénicas o del suelo. Las fuentes geogénicas comprenden todas las de origen geológico, como los volcanes, y las que tienen que ver con el suelo; aunque en algunos casos también se consideran fuentes geogénicas los incendios forestales y la erosión eólica.

Riesgos a la salud por contaminación atmosférica

El material particulado es un indicador representativo común de la contaminación del aire. Afectan a más personas que cualquier otro contaminante. Los principales componentes de las PM_{10} y $\text{PM}_{2.5}$ son los sulfatos, los nitratos, el amoníaco, el cloruro de sodio, el hollín, los polvos minerales y el agua. Consisten en una compleja mezcla de partículas sólidas y líquidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire. Si bien las partículas con un diámetro de 10 micrones o menos ($\leq \text{PM}_{10}$) pueden penetrar y alojarse profundamente dentro de los pulmones, existen otras partículas aún más dañinas para la salud, que son aquellas con un diámetro de 2,5 micrones o menos ($\leq \text{PM}_{2.5}$). Las $\text{PM}_{2.5}$ pueden atravesar la barrera pulmonar y entrar en el sistema sanguíneo. La exposición crónica a partículas contribuye al riesgo de desarrollar enfermedades cardiovasculares y respiratorias, así como cáncer de pulmón. (Organización Mundial de la Salud. 2018).

El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (2019) asegura que los efectos a la salud de las partículas son de los más severos y mejor evidenciados que se tienen. El rango de efectos que tienen es amplio, destacando la afectación sobre el aparato respiratorio y el sistema cardiovascular. Las partículas presentan un amplio panorama de síntomas con intensidad variable, desde estornudos, tos y boca seca hasta la limitación de actividades por problemas de respiración. La exposición de largo plazo a partículas finas suele asociarse con una marcada reducción en la esperanza de vida, principalmente por el incremento de la mortalidad cardiopulmonar y por cáncer de pulmón. La reducción en la función pulmonar de niños y adultos origina el desarrollo de bronquitis asmática y Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC). (Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático. 2019)

Existe una estrecha relación cuantitativa entre la exposición a altas concentraciones de pequeñas partículas (PM₁₀ y PM_{2.5}) y el aumento de la mortalidad o morbilidad diaria y a largo plazo. A la inversa, cuando las concentraciones de partículas pequeñas y finas son reducidas, la mortalidad conexas también desciende, en el supuesto de que otros factores se mantengan sin cambios. Esto permite a las instancias normativas efectuar proyecciones relativas al mejoramiento de la salud de la población que se podría esperar si se redujera la contaminación del aire con partículas. (Organización Mundial de la Salud. 2018).

PARTE EXPERIMENTAL

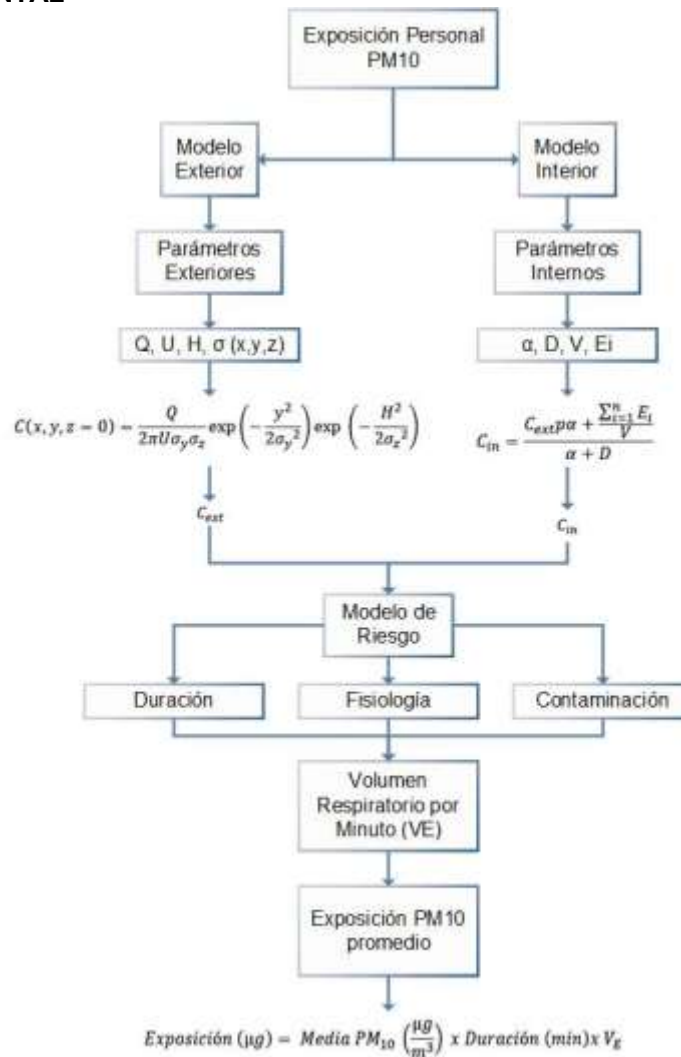


Figura 1. Metodología para el cálculo de exposición. Fuente: Autores.

Modelo de dispersión gaussiano

Se adaptó el modelo de dispersión gaussiano y ecuación de difusión para un modelo matemático donde se simulan los valores de concentración y se utiliza para estimar la concentración de contaminante producida por una fuente puntual, para determinar la concentración en las estaciones del transporte público. Se utilizaron los datos reportados durante el año 2019 por el Subsistema Estatal de Información de Calidad del Aire (SEICA) para correlacionar los parámetros del modelo para tres estaciones de monitoreo CICEG, T-21 y FM de la ruta de autobús del Sistema de Transporte Integrado de León (SIT) (Figura 2).

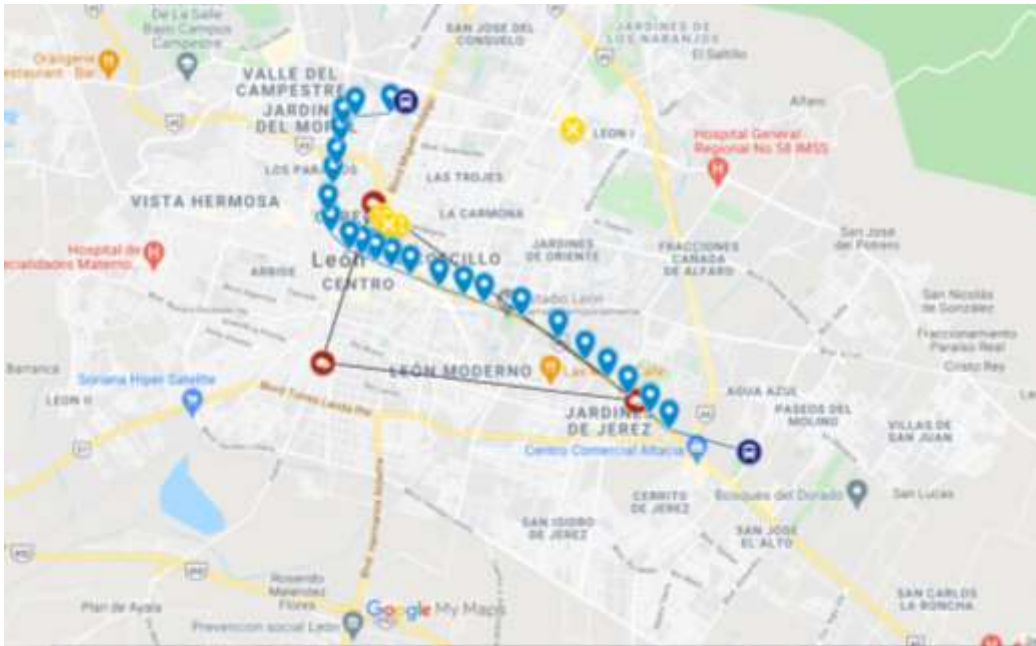


Figura 2. Ruta de autobús de análisis de estudio. Fuente: Autores.

La pluma está representada por los coeficientes de dispersión y se calculan en función de la distancia y la estabilidad atmosférica de Pasquill-Gifford, permitiendo calcular las concentraciones finales de un contaminante en el exterior a partir de los datos horarios, temperatura, dirección y velocidad del viento y radiación extrema.

$$C(x, y, z = 0) = \frac{Q}{2\pi U \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (1)$$

La ecuación es la conocida ecuación gaussiana para una fuente puntual continua, donde: $C(x, y, z)$ está definida como concentración media de la sustancia en un punto ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), (x, y, z) son las coordenadas espaciales en metros (m), x es el transporte del contaminante desde la fuente a lo largo de la coordenada x por el flujo del viento (advección) que presenta una velocidad media y sentido o dirección prevalente, y es la difusión del contaminante en la coordenada y (transversal), z corresponder a la difusión del contaminante en la coordenada z (vertical) medida desde el suelo, K_y ; K_z son las constantes de difusividad de Eddy en la dirección de los ejes x y z respectivamente (m^2/s), σ_y y σ_z son coeficientes de dispersión turbulenta que dependen de la clase de estabilidad y de la distancia al foco en la dirección del viento, x . (m), U es la velocidad media del viento a lo largo del eje x (m/s), Q está definido como el flujo másico ($\mu\text{g}/\text{s}$) del contaminante que se encuentra en la corriente del aire y finalmente H es la altura efectiva de emisión (m).

Modelo en el interior del transporte público

El modelo en el interior se modeló a través de los datos obtenidos del muestreo en el ambiente interior de las unidades del SIT, las condiciones en el exterior y las condiciones físicas de la unidad de transporte, el análisis de los datos obtenidos en el monitoreo dentro del transporte público relacionándolo con el comportamiento en el exterior.

Se tomaron muestras simultáneas en el centro de autobús a una altura aproximada de 1,5 m entre los meses de abril a julio de lunes a viernes de 8:00 am a 10:00 am. Los parámetros de este modelo dependen de los atributos físicos, por ejemplo, las fuentes interiores que inducen la actividad humana y la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. Para estimar las concentraciones en interiores, utilizando el conocimiento dado de la ubicación y el registro de actividad en el interior del SIT, se utilizó el modelo de interiores de Koutrakis et al. (1992).

$$C_{in} = \frac{C_{out}p\alpha + \frac{\sum_{i=1}^n E_i}{V}}{\alpha + D} \quad (2)$$

Donde: C_{in} corresponde a la concentración de partículas en el interior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), C_{ext} es la concentración de partículas en el exterior ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), p se define como el factor de eficiencia de penetración adimensional, α es la tasa de intercambio de aire (h^{-1}), E_i a la tasa de emisión para la i -ésima de n partículas en interior ($\mu\text{g h}^{-1}$), V es el volumen del autobús (m^3) y D corresponde al factor de deposición de partículas (h^{-1}).

Aplicamos los valores medios de los parámetros del estudio PTEAM de EE. UU. (Clayton, C. A., Perritt, R. L., Pellizzari, E. D., et al.1993) porque realizaron un gran conjunto de mediciones e informaron diferencias significativas en las tasas de intercambio de aire entre el día (con actividades humanas) y la noche. Usamos conjuntos de datos existentes de los parámetros físicos p , α , E y D , se ajustaron con las mediciones tomadas en ambientes interiores del SIT y se calcularon para el volumen respiratorio por minuto (V_E) la ecuación de Harris Benedict para RMR (kcal.día^{-1}), tomando valores promedio de peso (kg), edad (años) y estatura (cm) de la población mexicana para hombre y mujeres. Y la ecuación para el Compendio de Actividades Físicas Valores MET corregidos para RMR estimado:

$$\text{Hombre} = 66.4730 + 5.0033 (\text{Altura cm}) + 13.7516 (\text{Peso kg}) - 6.7550 (\text{Edad año}) \quad (3)$$

$$\text{Mujer} = 655.0955 + 1.8496 (\text{Altura cm}) + 9.5634 (\text{Peso kg}) - 4.6756 (\text{Edad año}) \quad (4)$$

$$\text{Corrected MET} = \text{MET} * \frac{3.5 \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{min}}}{\text{Ecuación de Harris Benedict} \frac{\text{ml}}{\text{kg} \cdot \text{min}}} \quad (5)$$

Para la ventilación temporal o continua mediante la apertura de ventanas se supuso un intercambio de aire de 0.7316 h^{-1} . Para el entorno del autobús, asumimos que la concentración de PM_{10} correspondía al modelo de dispersión gaussiano para el exterior.

$$V_E \left(\frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right) = \text{Corrected MET} * 1000 \quad (9)$$

El volumen respiratorio por minuto es el volumen de aire que se mueve entre el interior de los pulmones y el exterior por unidad de tiempo, siendo esta unidad normalmente el minuto. El volumen V se consideró para el entorno donde se tomaron las mediciones, es decir, el autobús. Y para la validación del rendimiento del modelo interior se usaron los parámetros antes mencionados en combinación con el modelo exterior, aplicado a tres clases de concentración de PM_{10} en el interior del autobús.

Modelo de riesgo

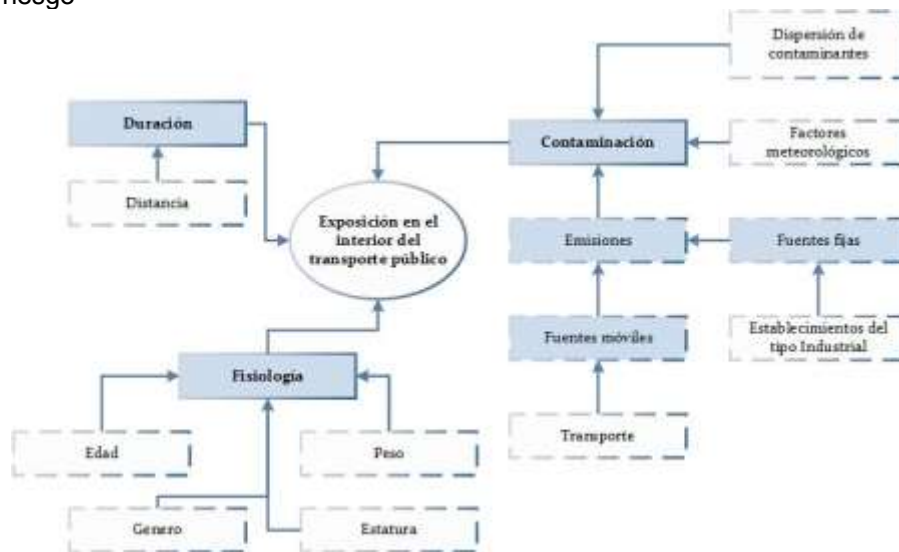


Figura. 3. Factores que afectan el tiempo de exposición en el interior del transporte público a contaminantes. Fuente: Autores.

El análisis incorpora la duración del viaje (minutos); concentraciones modeladas de PM_{10} ($\mu g/m^3$); y volumen minuto respiratorio (V_E) como medida de fisiología y nivel de actividad. Combinados, estos tres elementos permiten estimar la exposición durante el viaje en diversas condiciones meteorológicas y de fondo. (Davies, G., & Whyatt, J. D. 2014).

Volumen Respiratorio por minuto

Se realizó un análisis comparativo de los niveles de actividad física según diversos subgrupos de la muestra estudiada; sexo, edad y estatura para el análisis del gasto energético. La evaluación estima las cantidades de contaminante que una persona inhala durante un periodo de tiempo específico, así como las personas más vulnerables a efectos adversos a la salud por la cantidad de contaminante en el aire.

La fisiología y el nivel de actividad están representados en el análisis mediante el cálculo del volumen respiratorio por minuto (V_E). Cuando se combina con concentraciones de PM_{10} y duración de la exposición, V_E puede usarse para calcular la exposición en términos de dosis inhalada. V_E se calcula para metabolismo equivalentes (MET) que representan diferentes niveles de actividad ya definidas. (Davies, G., & Whyatt, J. D. 2014).

Para determinar el volumen respiratorio por minuto se usó la ecuación de Harris-Benedict ecuación (3 y 4) para hombre y mujer respectivamente. Se calculó la exposición personal a diferentes clases de concentración en el interior del Sistema de Transporte. A partir de los MET, se pueden calcular los MET 'corregidos' para obtener el volumen respiratorio por minuto (V_E) para hombres y mujeres de edad, de peso y estatura promedio de la población mexicana. Cabe destacar que los parámetros utilizados corresponden al uso de autobús como una actividad diaria de la población mexicana.

El concepto de exposición de la población es un indicador directo del impacto de la contaminación sobre la salud, permitiendo redefinir las medidas de calidad del aire para la protección de la salud de la población, estrategias de control y evaluaciones efectivas de la exposición de la población. La estimación de la exposición personal para individuos promedio de la población mexicana se calcula a partir de los atributos anteriores, la exposición (μg) a PM_{10} se calculó mediante la ecuación:

$$\text{Media } PM_{10} \left(\frac{\mu g}{m^3} \right) \times \text{Duración (min)} \times V_E \quad (10)$$

Estos modelos fueron programados en el software MATLAB para dar solución a los modelos.

RESULTADOS

En este estudio se presenta la metodología de modelado que describen el comportamiento y predicción de la concentración de PM₁₀ en la ciudad de León. Los modelos lograron la predicción de los niveles de la concentración de PM₁₀ en el exterior e interior del Sistema de Transporte y proporcionan un indicador directo del impacto de la contaminación sobre la salud, la tabla 1 muestra los resultados.

Tabla 1. Resultados de modelos matemáticos y nivel de exposición.

Modelo de dispersión gaussiano			Modelo en el interior de L-01			Análisis de Riesgo de Exposición (µg)			
Concentración en el exterior (µg/m³)			Concentración en el interior (µg/m³)				Min.	Media	Max.
Min.	Media	Max.	Min.	Media	Max.	Mujeres	342.77	314.85	244.84
39.26	30.85	37.6	21.13	16.61	20.24	Hombres	322.85	296.54	230.6

Se consideran niveles altos de exposición por fuentes externas. Se observa en los valores de medias, mínimas y máximas concentraciones diarias que en general el viento favorece la difusión de contaminantes de unas zonas a otras, ya que actúa desplazándolos y difundiéndolos a través de grandes masas de aire por tal razón se observa menos concentración en ambientes exteriores ya que todas las partículas tienden a concentrarse en espacios interiores como lo es el transporte público.

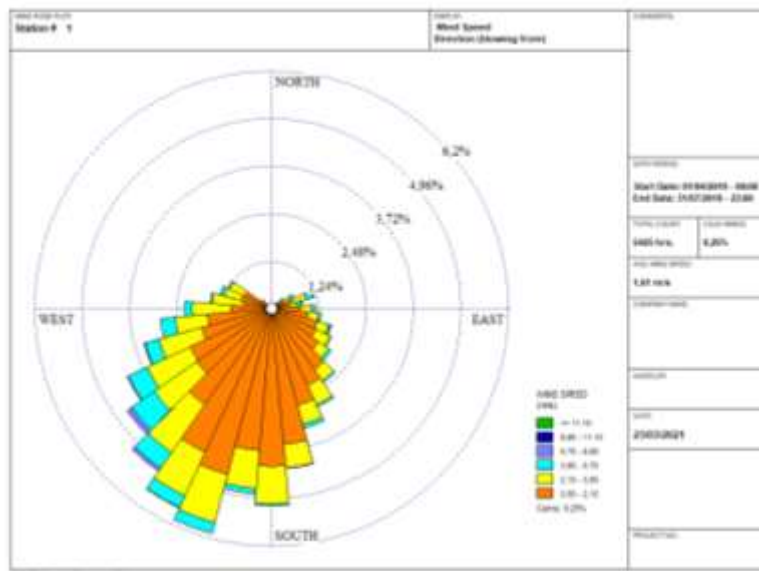


Figura 4. Rosa de los vientos. (Fecha 01/04/2019-00:00...31/07/2019-23:00) WRPLOT. Fuente: Autores.

La velocidad del viento afecta al proceso de dispersión de contaminantes, ya que es inversamente proporcional a la concentración de contaminantes, los reduce a nivel del suelo. Es decir, cuanto mayor sea la velocidad del aire mayor será el transporte de contaminantes de unas zonas a otras, eso conlleva a una dilución mayor de los mismos dilución y mezclado.

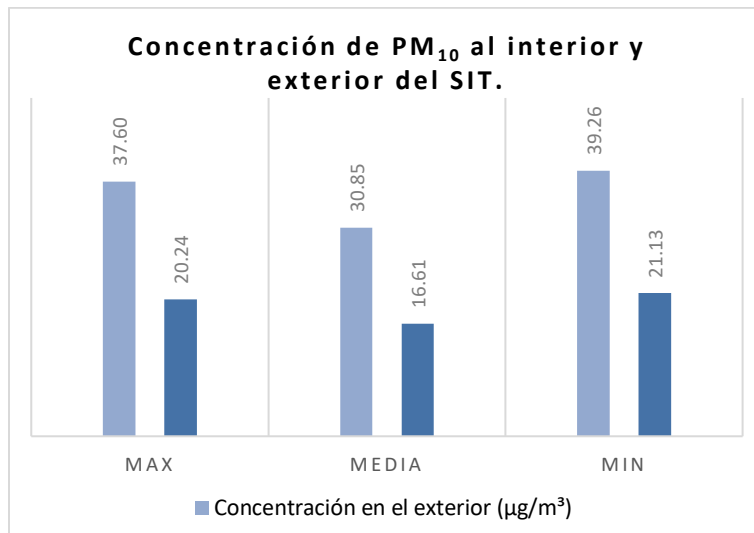


Figura 5. Resultados por nivel de concentración de PM₁₀ al interior y exterior del SIT.

En este estudio las mujeres resultan ser las más susceptibles a impactos a la salud debido a la exposición al aire contaminado, sobresaliendo con una media de 342.77 µg de partículas PM₁₀ en el interior del Sistema de Transporte sobre la población promedio masculina también estudiada.

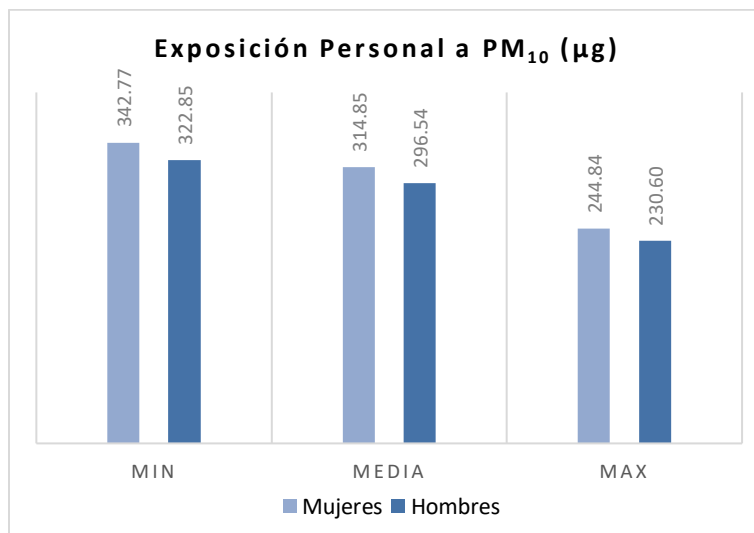


Figura 6. Resultados de nivel de exposición al interior del SIT de la población media mexicana.

Entre las fuentes de emisión local, fue posible identificar la industria ladrillera fuente generadora de partículas PM₁₀, que destaca con una concentración promedio diaria de 3336.17 µg/m³ sobre dos de los bulevares más transitados en la ciudad de León. En el inventario de emisiones se tienen identificados 278 productores de ladrillos distribuidos en la ciudad. Se estima que esta industria genera 4 mil 627.88 toneladas de contaminantes al año derivadas de la combustión en los hornos, lo que representa el 1.25% del total de contaminantes atmosféricos emitidos en León, siendo nocivo para la salud. Éstos pueden causar diferentes patologías en el sistema respiratorio, irritación de garganta, problemas respiratorios, daño de los bronquios, asma, y a largo plazo incrementan las posibilidades de que las personas desarrollen cáncer pulmonar.

Otra zona de estudio identificada es el Blvd. López Mateos, que es intensamente transitado y en horario pico las demoras suelen ser de varios minutos. Consta de tres carriles y es la vía mayormente utilizada que conecta la zona sur y zona norte con la zona central de la ciudad de León, Gto. En este

Bldv. en hora pico circulan una gran cantidad de vehículos y debido a la cantidad en circulación representa una fuente móvil emisora de PM_{10} y siendo actualmente un importante foco de contaminación no solo a nivel local.

Para discretizar, dividimos cada una de las zonas en A y B intervalos respectivamente y analizamos la función en esos puntos concretos. Esto nos permite dividir en segmentos, calles o avenidas principales generando concentraciones incrementales para cada uno de ellos que se van sumando para estimar la concentración total para un receptor en particular. Fue preciso realizar la identificación de fuentes involucradas y sus características (coordenadas iniciales y finales).

Tabla 2. Estimaciones de concentraciones en el exterior de contaminantes criterio PM_{10} producidos por fuentes móviles y de área.

Industria Ladrillera	
C _{ext} Total	3336.17
Juan Alonso de Torres	
C _{ext} Total	413.335
Bldv. López-Carril Oruga	
C _{ext} Total	1.036E-36

La contribución de las emisiones de los vehículos automotores en México a las emisiones totales a nivel nacional es considerable. De acuerdo con el primer Inventario Nacional de Emisiones de México, 1999, los vehículos automotores contribuyeron con el 31% de las emisiones de óxidos de nitrógeno, 62% de monóxido de carbono y 22% de las emisiones totales estimadas de compuestos orgánicos volátiles. Al mismo tiempo son una fuente importante de emisión de partículas y sobre todo de las partículas más finas, y aunque las emisiones son menores que las de otros contaminantes, sus impactos en la salud son mayores. (INECC-SEMARNAT, 2006).

CONCLUSIONES

En México, la referencia ambiental en las Normas Mexicanas (NOM) para PM_{10} es menor o igual que $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ como media aritmética cada 24 horas. Este índice define el nivel de riesgo para la salud de la población, y es directriz de las acciones a realizar a nivel local. Nosotros pensamos que la NOM puede subestimar el riesgo en poblaciones que permanecen mayor tiempo expuestas, como lo son las personas que utilizan el transporte público para movilizarse diariamente. Por tal razón, la NOM debería incluir además de un valor de referencia ambiental para PM_{10} , el tiempo de exposición poblacional, en virtud de los resultados de este trabajo y para establecer estrategias de mejora de la calidad del aire, así como de manera continua y oportuna difundir información que mejore el entendimiento de los niveles de exposición al aire contaminado para generar un cambio en la salud pública y ambiental de la poblacional mexicana. Cuanto más bajo sean los niveles de contaminación del aire, se puede reducir la carga de morbilidad, mejor será la salud cardiovascular y respiratoria de la población, tanto a largo como a corto plazo.

Entre las medidas a fin de controlar la contaminación del aire de ambientes interiores se debería considerar las siguientes en el Sistema de Transporte Público: ventilación de los ambientes interiores, eliminación o modificación de la fuente productora de contaminantes, uso de un purificador de aire y promover el cambio de hábitos y conducta de la población. Acreditamos que la información contenida en este proyecto será de utilidad en la búsqueda de indicadores de calidad del aire que mejor expliquen los efectos de la contaminación en la población.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ainsworth BE, Haskell WL, Herrmann SD, Meckes N, Bassett Jr DR, Tudor-Locke C, Greer JL, Vezina J, Whitt-À Glover MC, Leon AS. (2011) Compendio de Actividades Físicas 2011:

- segunda actualización de códigos y valores MET. *Medicina y ciencia en el deporte y el ejercicio*, 2011; 43 (8): 1575-1581.
2. Barcala, J. G., Portal, J. A. R., Carmona, M. J. C., & González, C. M. (2010). Exposición a contaminantes ambientales y enfermedad respiratoria. Un foco de atención en el año 2009. *Archivos de Bronconeumología*, 46, 17-20.
 3. Barry RG, Chorley JR (1999) *Atmósfera, tiempo y clima*. 8ª Ed. Omega, Barcelona, 441 pp.
 4. Clayton, C. A., Perritt, R. L., Pellizzari, E. D., Thomas, K. W., Whitmore, R. W., Wallace, L. A., Ozkaynak, H., & Spengler, J. D. (1993). Particle Total Exposure Assessment Methodology (PTEAM) study: distributions of aerosol and elemental concentrations in personal, indoor, and outdoor air samples in a southern California community. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 3(2), 227–250. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/7694700>
 5. Davies, G., & Whyatt, J. D. (2014). A network-based approach for estimating pedestrian journey-time exposure to air pollution. *Science of the Total Environment*, 485–486(1), 62–70. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.03.038>
 6. DOF. (2014). Nom-025-Ssa1-2014. Dof, 53. https://www.youtube.com/watch?v=SiAyrqnm_4
 7. García, M. et al. (2014). Comportamiento de los vientos dominantes y su influencia en la contaminación atmosférica en la zona metropolitana de Guadalajara, Jalisco, México. *Revista Iberoamericana de Ciencias*, 1(2), 97–116. <http://www.reibci.org/publicados/2014/julio/2200120.pdf>
 8. Gastelum-Arellanez, A., Esquivel-Días, J., Lopez-Padilla, R., Robledo, V. H., Paulina, R., Beltrán, M. F., & Saucedo-Lucero, J. O. (2021). Assessment of persistent indoor VOCs inside public transport during winter season. *Chemosphere*, 263. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128127>
 9. Gerharz, L. E., Krüger, A., & Klemm, O. (2009). Applying indoor and outdoor modeling techniques to estimate individual exposure to PM_{2.5} from personal GPS profiles and diaries: A pilot study. *Science of the Total Environment*, 407(18), 5184–5193. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.06.006>
 10. Guidelines for the data processing and analysis of the International Physical Activity Questionnaire. 2009. Disponible en <http://www.ipaq.ki.se/scoring.htm> [Consultado el 03 de febrero de 2021].
 11. INECC -SEMARNAT, 2005. Guía de elaboración y usos de inventarios de emisiones. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F.
 12. INECC -SEMARNAT, 2006, Inventario nacional de emisiones de México, 1999. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, SEMARNAT y Western Governors' Association. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, México D.F.
 13. Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R., Robinson, J. P., Tsang, A. M., Switzer, P. & Engelmann, W. H. (2001). The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*, 11(3), 231-252.
 14. Koutrakis, P., Briggs, S. L., & Leaderer, B. P. (1992). Source apportionment of indoor aerosols in Suffolk and Onondaga Counties, New York. *Environmental Science & Technology*, 26(3), 521-527.
 15. Manzur, M. E., Benzal, G., & González, S. N. (2013, May). Modelo de dispersión de contaminantes atmosféricos. In VII Congreso de Medio Ambiente
 16. Molina LT, Molina MJ (2005) La calidad del aire en la megaciudad de México. Un enfoque integral. Fondo de Cultura Económica. México, 463 pp.
 17. Organización Mundial de la Salud (2018) Calidad del Aire y Salud. Who.int. Recuperado el 6 de marzo de 2021 de: [https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).
 18. Parra, A. Q., Vargas, M. J. Q., & Martínez, J. A. H. (2010). Caracterización fisicoquímica del material particulado fracción respirable PM_{2.5} en Pamplona-Norte de Santander-Colombia. *Bistua: revista de la facultad de Ciencias Básicas*, 8(1), 1-20.

19. Petros, K., Briggs, S. L. K., & Leaderer, B. P. (1992). Source Apportionment of Indoor Aerosols in Suffolk and Onondaga Counties, New York. *Environmental Science and Technology*, 26(3), 521–527. <https://doi.org/10.1021/es00027a012>
20. Praml, G., & Schierl, R. (2000). Dust exposure in Munich public transportation: A comprehensive 4-year survey in buses and trams. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 73(3), 209–214. <https://doi.org/10.1007/s004200050029>
21. PNUMA (2011) Seguimiento a nuestro medio ambiente en transformación: de Río a Río+20 (1992-2012). División de Evaluación y Alerta Temprana (DEWA), Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), Nairobi. PP. 2-39, 53-55, 84-86.
22. Ramírez H, Andrade M, González M, Celis A. (2006). Contaminantes atmosféricos y su correlación con infecciones agudas de las vías respiratorias en niños de Guadalajara, Jalisco. *Salud Pública de México* 48(5): 385-394.
23. Represa, S. (2011). Modelos de dispersión para fuentes lineales. Estudio de un caso. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/317887286_Modelos_de_dispersion_para_fuentes_lineales_Estudio_de_caso.
24. Segala C (1999) Health effects of urban outdoor air pollution in children. *Current epidemiological data. Pediatric Pulmonol.* 18: 6-8.
25. Serón, P., Muñoz, S., & Lanas, F. (2010). Nivel de actividad física medida a través del cuestionario internacional de actividad física en población chilena. *Revista médica de Chile*, 138(10), 1232-123

IMPLEMENTACIÓN DE ENERGÍAS RENOVABLES EN PREESCOLARES COMUNITARIOS CONAFE

Luis Roberto González Grovas, Rosalía Daza Merino, Erika María Ronquillo Mandujano, Dalila Ruiz Cervantes.

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa.
luis.gg@xalapa.tecnm.mx

RESUMEN

La educación, es un área fundamental e indispensable para la transformación y desarrollo social, económico, político y cultural de una sociedad, en la década de 1970 nuestro país contaba con algunas instituciones que hacían frente al gran reto de llevar educación a todos los mexicanos, indudablemente algunos sectores quedaban desprotegidos.

Fue entonces cuando, por Decreto Presidencial, el 11 de septiembre de 1971 se crea el Consejo Nacional de Fomento Educativo (CONAFE), como un organismo descentralizado encargado de generar nuevos modelos educativos tendientes a abatir el rezago en materia de educación, que se encargan de brindar educación a comunidades marginales; desgraciadamente estas comunidades no cuentan con todos los servicios públicos básicos, como es el caso de la energía eléctrica; además se presenta el impedimento utilizar los recursos de Apoyo a la Gestión Escolar (AGE) para pagar dichos servicios del plantel escolar según se establece en la octava cláusula del acuerdo número 567 (DOF, 2010).

La falta de electricidad en aulas de los planteles escolares afecta el aprendizaje de alumnos y el desempeño del docente, al no poder usar material audio visual en clases didácticas buscando con ello un aprendizaje más significativo.

Con la elaboración de este proyecto se cubrió la necesidad del servicio básico de electricidad mediante el dimensionamiento e instalación de un *sistema de energía eléctrica fotovoltaica* en preescolares CONAFE, de acuerdo con el tipo de infraestructura y condiciones climáticas del sitio.

Se llevó a cabo un *estudio de campo*, para determinar las *necesidades* de los preescolares seleccionadas y poder satisfacer el *suministro de energía eléctrica*, dividiendo en cinco pasos el proyecto.

1: Se seleccionaron los preescolares, realizando un análisis con la Coordinación Territorial para el Servicio Educativo del CONAFE en Veracruz, obteniendo datos correspondientes al número de estudiantes, líder comunitario y ubicación de preescolares menos beneficiados.

2: Se realizó una auditoría energética, para conocer la demanda de electricidad e identificar la infraestructura de la instalación eléctrica con la que cuentan, aplicando cuestionarios a los padres de familia, haciendo un recorrido y levantando un Check List de las instalaciones, donde se identificaron las necesidades de electricidad.

3: Se diseñó el sistema fotovoltaico, con los resultados del *Check List* y una *aplicación en Excel*, para satisfacer la demanda de electricidad de cada preescolar, el *dimensionamiento del sistema fotovoltaico con autonomía de dos días y capacidad de 160 W* incluye: un inversor CD/AC onda modificada y 600 W de salida, un panel solar policristalino de 160 W, un controlador solar de carga de 30 A y 12/24 V y dos baterías de ciclado profundo de 115 A.

4: Se instalaron los sistemas fotovoltaicos, con financiamiento del TecNM y del Gobierno del Estado de Veracruz, rehabilitando cableado eléctrico y cambiando focos convencionales por lámparas y focos led, realizando pruebas de funcionamiento y explicando la operación y mantenimiento a los equipos.

5: Los preescolares CONAFE beneficiados son: "Niños Héroe" comunidad Paso Grande y "Elvira Ochoa de Hernández" comunidad El Palmar Estación, municipio Emiliano Zapata, "Lydia Espinoza" comunidad Mundo Nuevo, municipio Coatepec, entregando oficios de donación de los equipos instalados y un Manual de Usuario.

Adicional a cubrir la demanda eléctrica de los preescolares, se tiene un beneficio ambiental, evitando la emisión de 0.42 toneladas por mes de CO₂ al medio ambiente, lo que equivale a plantar un árbol

por año, esto por preescolar, por lo que tomando en consideración la duración estimada de 20 años de tiempo de vida útil del equipo, se tendrá el equivalente a plantar 60 árboles.

La importancia de este tipo de proyectos a sectores de la sociedad menos beneficiados favorece su inclusión en varios aspectos, apoyan al medio ambiente y sensibilizan a las personas y dependencias en beneficio de la sociedad.

INTRODUCCIÓN

En la mayoría de las escuelas CONAFE en el estado de Veracruz de Ignacio de la Llave, no cuentan con los servicios básicos, como la energía eléctrica, siendo esta falta, un factor que perjudica la impartición de clases, afectando de forma negativa al aprendizaje de los educandos y el desempeño de los docentes, por lo que se busca, en algunos casos, de manera ilegal disponer de dicho servicio ante la falta de recursos.

La energía es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc., prácticamente toda la energía que disponemos proviene del Sol, por lo que utilizar esa energía renovable para generar energía eléctrica es una realidad hoy día, mediante la tecnología fotovoltaica.

Con la elaboración de este proyecto se cubrió la necesidad del servicio básico de electricidad mediante el dimensionamiento e instalación de un sistema de energía eléctrica fotovoltaica en preescolares CONAFE, de acuerdo con el tipo de infraestructura y condiciones climáticas del sitio.

El ser humano desde siempre ha buscado formas de utilizar la energía para obtener una mejor calidad de vida. La energía, es la capacidad que tienen los cuerpos para producir trabajo mecánico, emisión de luz, generación de calor, etc. Esta puede manifestarse de distintas formas: gravitatoria, cinética, química, eléctrica, magnética, nuclear, radiante, etc., existiendo la posibilidad de que se transformen entre sí, pero respetando siempre el principio de conservación de la energía.

Algunas fuentes de energía están instaladas en los tejados y azoteas de nuestras casas (paneles solares), otras en los montes, ríos y costas de nuestra región (aerogeneradores, saltos de agua y molinos de marea).

TEORÍA

Las fuentes de energía renovables son aquellas que, tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural o artificial, cuyo potencial es inagotable, ya que provienen de la energía que llega a nuestro planeta de forma continua, como consecuencia de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de la Luna.

Son fundamentalmente la energía hidráulica, solar, eólica, biomasa, geotérmica y las marinas, desde el punto de vista de la utilización de la energía, podemos clasificarla en primaria, secundaria y útil (Schallenberg Rodríguez, y otros, 2008).

La energía primaria es la que se obtiene directamente de la naturaleza y corresponde a un tipo de energía almacenada o disponible, como por ejemplo el petróleo, el carbón, el gas natural, el uranio y las energías renovables, estas son transformadas en energía secundaria, también conocida como energía final, por ejemplo, la electricidad, y esta última es la energía útil que obtiene el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios equipos de demanda, como la energía eléctrica en un reproductor de video, la luminosa en una bombilla, etc..

Además de la riqueza en energéticos de origen fósil, en México si tiene un potencial muy importante en cuestión de recursos energéticos renovables, cuyo desarrollo permite al país contar con una mayor diversificación de fuentes de energía, ampliar la base industrial en un área que puede tener valor estratégico en el futuro, y atenuar los impactos ambientales ocasionados por la producción, distribución y uso final de las formas de energía convencionales.

La energía solar fotovoltaica consiste en la conversión directa de la luz solar en electricidad, mediante un dispositivo electrónico denominado “célula solar”. De acuerdo con las bases Generales para la Normalización en CFE el Generador Fotovoltaico (GFV) lo define:

“Unidad generadora capaz de convertir la radiación solar incidente directamente en energía eléctrica en forma de corriente directa. Está constituido por la integración eléctrica y mecánica de los siguientes componentes: a) Módulos fotovoltaicos. b) Subarreglos (grupos de módulos fotovoltaicos). c) Arreglo fotovoltaico (grupo de subarreglos). d) Cajas de conexión. e) Cables y conexiones

eléctricas. f) Dispositivos de protección. g) Sistema de tierras. h) Estructuras de montaje". CFE G0100-04 (2008).

Por lo tanto, la conversión de la energía de la luz solar en energía eléctrica es un fenómeno físico conocido como efecto fotovoltaico, en este tipo de aprovechamiento tecnológico se produce la transformación directa de la energía solar en energía eléctrica en corriente continua.

Una de las aplicaciones más usadas es la conexión a red, bien a gran escala, en pequeñas instalaciones industriales o domésticas, la cual permite generar energía eléctrica con paneles solares fotovoltaicos y, después de transformarla a corriente alterna, volcarla a la red eléctrica general, siendo consumida por el conjunto de los usuarios.

Un sistema completo de energía solar fotovoltaica requiere la existencia y acoplamiento de los siguientes subsistemas (IDEA, 1992).

- Subsistema de captación energética, destinado a recoger la energía solar y transformarla en energía eléctrica. Si se tratase de sistemas de concentración se requeriría además un subsistema de seguimiento solar.
- Subsistema de acumulación, que almacena la energía eléctrica generada durante las horas de radiación para su posterior utilización.
- Subsistema de regulación, que impide que el acumulador o batería continúe recibiendo energía del colector solar una vez que ha alcanzado su carga máxima.
- Subsistema de adaptación de corriente, bien para transformar la corriente continua generada a otras tensiones de trabajo (convertidor) o bien para transformar la corriente continua generada en corriente alterna (inversor).
- Subsistemas auxiliares como cables, interruptores, voltímetros, amperímetros, etc.

La energía solar es quizás la menos agresiva con el medio ambiente pero los costos energéticos para producir los paneles solares son tan altos, que se necesita mucho tiempo en amortizar la inversión, entre los principales factores ambientales están el clima, geología, suelo, flora y fauna, ruido, entre otros.

En el artículo 3 de la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética son definidas "Energías Renovables: aquellas reguladas por esta Ley, cuya fuente reside en fenómenos de la naturaleza, procesos o materiales susceptibles de ser transformados en energía aprovechable por la humanidad, que se regeneran naturalmente, por lo que se encuentran disponibles de forma continua o periódica" (DOF 2008).

En la actualidad, las principales aplicaciones de la energía solar fotovoltaica en sistemas autónomos son la electrificación doméstica y de servicios públicos como son: viviendas, centros educativos, iluminación de vías públicas, teléfonos de urgencias en autopistas, estaciones de telecontrol y las aplicaciones agrícolas y ganaderas como bombeo de agua, sistemas de riego, iluminación de invernaderos, iluminación de granjas o sistemas de ordeño.

PARTE EXPERIMENTAL

Se gestiona una reunión con personal de las oficinas de la Delegación de CONAFE ubicada en Xalapa, con la finalidad de evaluar que preescolares ubicados en el perímetro del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa no contaban con el servicio de luz, de esta manera planear la logística a seguir para el diseño, instalación, inspección y evaluación del sistema fotovoltaico, dividiendo el proyecto en cinco pasos.

Paso 1.- Selección de preescolares, realizando un análisis con la Coordinación Territorial para el Servicio Educativo del CONAFE en Veracruz, obteniendo datos correspondientes al número de estudiantes, líder comunitario y ubicación de preescolares.

Una vez gestionada y aceptada la visita se procede a realizar la presentación y reunión con la Asociación de Padres de Familia (APF) para darles a conocer los alcances del proyecto y la logística que se llevará a cabo para su implementación, los preescolares beneficiados fueron: "Niños Héroes", "Elvira Ochoa de Hernández" y "Lydia Espinoza", como se observa en la figura 1.



Figura 1. Reunión con el delegado de CONAFE y las APF de los preescolares "Niños Héroe", "Elvira Ochoa de Hernández" y "Lydia Espinoza". Fuente propia.

Paso 2.- Se realizó una auditoría energética, para conocer la demanda de electricidad e identificar la infraestructura de la instalación eléctrica con la que cuentan, aplicando cuestionarios a los padres de familia, haciendo un recorrido y levantando un Check List de las instalaciones, donde se identificaron las necesidades de electricidad, como muestra en la figura 2.

MUESTRA INSTRUMENTO DE ENERGÍA ELÉCTRICA	
<p>Objetivo: Recopilar información para determinar la necesidad actual de energía eléctrica de la institución educativa. Identificar la infraestructura de la instalación eléctrica actual y determinar la necesidad de energía eléctrica. Identificar la infraestructura de la instalación eléctrica actual y determinar la necesidad de energía eléctrica.</p>	
1. ¿Cuentan con el servicio eléctrico de sus instalaciones?	SI/NO
2. ¿Pueden pagar?	SI/NO
3. ¿Almacenan una fuente de energía propia?	SI/NO
4. ¿Cuentan con la energía eléctrica en comodato para el desarrollo educativo?	SI/NO
5. ¿Cuentan con el mantenimiento?	SI/NO
<p>Nota: El presente instrumento es un instrumento preliminar de la institución para la SE.</p>	
6. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
7. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
8. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
9. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
10. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
11. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
12. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
13. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
14. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
15. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
16. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
17. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
18. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
19. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
20. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
21. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
22. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
23. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
24. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
25. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
26. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
27. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
28. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
29. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
30. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
31. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
32. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
33. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
34. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
35. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
36. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
37. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
38. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
39. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
40. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
41. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
42. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
43. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
44. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
45. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
46. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
47. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
48. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
49. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
50. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
51. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
52. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
53. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
54. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
55. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
56. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
57. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
58. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
59. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
60. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
61. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
62. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
63. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
64. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
65. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
66. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
67. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
68. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
69. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
70. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
71. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
72. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
73. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
74. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
75. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
76. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
77. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
78. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
79. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
80. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
81. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
82. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
83. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
84. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
85. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
86. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
87. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
88. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
89. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
90. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
91. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
92. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
93. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
94. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
95. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
96. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
97. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
98. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
99. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO
100. ¿Cuentan con el tipo de cable de aluminio-acero?	SI/NO

Figura 2. Cuestionario aplicado a las APF y Check List del de las instalaciones. Fuente propia.

Posteriormente se utilizó la técnica de estudio de campo mediante un instrumento para recolectar datos (cuestionario) el cual este fue aplicado a los padres de familia, en las instalaciones de los preescolares, para investigar el origen del problema de la falta de electricidad, como se muestra en la figura 3.



Figura 3. Encuesta a las APF de los preescolares "Niños Héroe", "Elvira Ochoa de Hernández" y "Lydia Espinoza". Fuente propia.

Después se prosiguió con la implementación de una hoja de verificación se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 1, donde se identificó la demanda y el consumo de energía eléctrica de los planteles, verificando el tipo de instalación con que cuenta la infraestructura civil de los preescolares.

Área	Cantidad	Potencia eléctrica		Horas de consumo	Consumo Diario (kWh)
		Watts	kW		
Salón	2 focos	100	0.1	6	1.2
Salón	1 grabadora	40	0.04	6	0.24
Baño	4 focos	100	0.1	6	2.4
Pasillo	2 focos	100	0.1	6	1.2
Total					5.04

Área	Cantidad	Potencia eléctrica		Horas de consumo	Consumo Diario (kWh)
		Watts	kW		
Salón 1	4 focos	25	0.025	6	0.6
Salón 1	1 grabadora	20	0.02	6	0.12
Salón 2	4 focos	25	0.025	6	0.6
Salón 2	1 grabadora	20	0.02	6	0.12
Comedor	4 focos	25	0.025	6	0.6
Dormitorio	1 foco	25	0.025	6	0.15
Dormitorio	1 ventilador	50	0.05	6	0.3
Baño	2 focos	25	0.025	6	0.3
Pasillo	4 focos	25	0.025	6	0.6
Total					3.39

Área	Cantidad	Potencia eléctrica		Horas de consumo	Consumo Diario (kWh)
		Watts	kW		
Salón	2 focos	25	0.025	6	0.336
Salón	1 ventilador	120	0.12	6	0.72
Salón	1 grabadora	30	0.03	6	0.18
Baño	1 foco	100	0.1	6	0.6
Patio	2 focos	72	0.072	6	0.864
Total					2.7

Tabla 1. Demanda de energía eléctrica de los preescolares "Niños Héroes", "Elvira Ochoa de Hernández" y "Lydia Espinoza". Fuente propia.

Verificando el levantamiento del consumo de potencias de las luminarias, equipo de audio con los que cuentan cada plantel, el horario de uso de cada uno de los elementos, y calculando el consumo diario y mensual de kWh, debido a que no cuentan con historial de este parámetro y con base a los resultados obtenidos por las encuestas, se diseñó el sistema generador de energía eléctrica con energía solar fotovoltaica.

Paso 3.- Se diseñó el sistema fotovoltaico, con los resultados del Check List y una hoja de cálculo en Excel, para satisfacer la demanda de electricidad de cada preescolar, el dimensionamiento del sistema fotovoltaico con autonomía de dos días y capacidad de 160 W incluye: un inversor CD/AC onda modificada y 600 W de salida, un panel solar policristalino de 160 W, un controlador solar de carga de 30 A y 12/24 V y dos baterías de ciclado profundo de 115 A. Los resultados obtenidos para las 3 escuelas se describen de la siguiente manera:

1. Diseño del preescolar "Niños Héroes" con clave 30KJN0815E, de la comunidad Paso Grande, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, considerando los elementos mostrados en la tabla 2.

TABLA DE CONSUMOS					
Elemento	Cantidad	Consumo (W)	Horas diarias	Días de uso	Total
Lampara LED	8	9	8	5	2880
Radiograbador a	1	40	0.5	5	100

Consumo total semanal 2880
Consumo promedio diario 425.71 watts

Consumo Eléctrico 425.71
Perdido 20% 20%
irradiancia mínima anual 3.55 Paso Grande
Potencia Fotovoltaica 143.90
Potencia del Panel fotovoltaico 160
Números de Módulos = P.F/P panel 1 pz
Voltaje del sistema 12 V

Baterías	
Ah / día = (Consumo / eficiencia) / Voltaje	39.42
Ah de batería	115.00
# Baterías = ((Ah / día x días de autonomía) / 0.5) / ah de batería	1.4 2.0 pza.

Inversor	
Demanda máxima solicitada	112 Wh
Demanda máxima sugerida	224 Wh

Controlador	
Mínimo 20% del amperaje de la batería	23 A

Tabla 2. Consumo energético del preescolar “Niños Héroe” de la comunidad Paso Grande. Fuente propia.

2. Diseño del preescolar “Elvira Ochoa de Hernández” con clave 30KJN0012P, de la comunidad El Palmar Estación, municipio de Emiliano Zapata, Veracruz, considerando los elementos mostrados en la tabla 3.

TABLA DE CONSUMOS					
Elemento	Cantidad	Consumo (W)	Horas diarias	Días de uso	Total
Lampara led	8	10	4	5	1600
Lampara led	4	10	0.5	5	100
Lampara led	2	10	0.5	5	50
Ventilador	2	50	1	5	500
Radiograbadora	2	20	0.5	5	100

Consumo total semanal 2350
Consumo promedio diario 335.71 watts

Consumo eléctrico 335.71
Perdido 20% 20%
irradiancia mínima anual 3.55 El Palmar
Potencia Fotovoltaica 113.48
Potencia del Panel fotovoltaico 160
Números de Módulos = P.F/P panel 0.71 pz
Voltaje del sistema 12 V

Baterías	
Ah / día = (Consumo / eficiencia) / Voltaje	31.08
Ah de batería	115.00
# Baterías = ((Ah/día x días de autonomía) / 0.5) / ah de batería	1.1 2.0 pza.

Inversor	
Demanda máxima solicitada	110 Wh
Demanda máxima sugerida	220 Wh

Controlador	
Mínimo 20% del amperaje de la batería	23 A

Tabla 3. Consumo energético del preescolar “Elvira Ochoa de Hernández” de la comunidad El Palmar Estación. Fuente propia.

3. Diseño del preescolar “Lydia Espinoza”, con clave 30KJN4817D, de la comunidad de Mundo Nuevo, Municipio de Coatepec, Veracruz, considerando los elementos mostrados en la tabla 4.

TABLA DE CONSUMOS					
Elemento	Cantidad	Consumo (W)	Horas diarias	Días de uso	Total
Lampara LED	1	32	2	5	320
Lampara LED	2	16	4	5	640
Lampara LED	1	9	2	5	90
Ventilador	1	120	3.5	5	2100
Radiograbador a	1	30	0.5	5	75
Consumo total semanal					3225
consumo promedio diario					460.71 watts
Consumo eléctrico	460.71				
Perdido 20%	20%				
Irradiancia minima anual	3.55		Mundo Nuevo		
Potencia Fotovoltaica	155.73				
Potencia del Panel fotovoltaico	160				
Números de Módulos = P.F/P panel	1 pz				
Voltaje del sistema	12 V				

Baterias	
Ah / día = (Consumo / eficiencia) / Voltaje	42.66
Ah de batería	115.00
# Baterías = ((Ah / día x días de autonomía) /0.5) /ah de batería	1.5 2.0 pza.

Inversor	
Demanda máxima solicitada	223 Wh
Demanda máxima sugerida	446 Wh

Controlador	
Mínimo 20% del amperaje de la batería	23 A

Tabla 4. Consumo energético del preescolar “Lydia Espinoza” de la comunidad Mundo Nuevo. Fuente propia.

Con los resultados mostrados en las tablas 2, 3 y 4, se establece tomar el mismo diseño del sistema generador de energía eléctrica para los tres preescolares, estimando un consumo diario de 6 kWh, tomado como referencia la demanda de energía eléctrica del preescolar con mayor consumo, nos da un resultado considerado de 180 kWh por mes, estos datos se toman como base para realizar el diseño del sistema solar fotovoltaico necesario para cumplir con la demanda calculada, siendo este diseño de 160 W a 12 V, el cual excede la demanda solicitada.

El diagrama unifilar mostrado en la figura 4, muestra la representación gráfica integral y sencilla del sistema eléctrico fotovoltaico diseñado, en la cual se indican los circuitos alimentadores y derivados, así como la interconexión entre ellos.

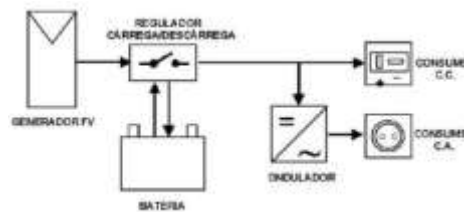


Figura 4. Diagrama unifilar de un circuito para un panel solar. Fuente figura libre tomada de internet.

El sistema fotovoltaico está diseñado con una autonomía de 2 días con capacidad de 160 W, que consta de:

- a. Panel fotovoltaico policristalino.
- b. Inversor CD/CA.
- c. Controlador Solar.
- d. Acumulador.

En la tabla 5 se describen los componentes del diseño del sistema fotovoltaico y sus características, que se instalaron en cada preescolar.

CANTIDAD	EQUIPO	MODELO Y MARCA
1	PANEL 160 W	MODULO POLICRISTALINO 12V 160W QXPV
1	INVERSOR	INVERSOR YASSION
1	CONTROLADOR	SOLAR 30A, 12/24 V
2	ACUMULADOR	BATERIA DE CICLADO PROFUNDO 115A BELLADA ULTRASTAR 12V

Tabla 5. Componentes del sistema fotovoltaico instalado en cada preescolar. Fuente propia.

Paso 4.- Se instalaron los sistemas fotovoltaicos, con financiamiento del Tecnológico Nacional de México (TecNM) y del Gobierno del Estado de Veracruz, rehabilitando cableado eléctrico y cambiando focos convencionales por lámparas y focos led, realizando pruebas de funcionamiento y explicando la operación y mantenimiento a los equipos.

El panel fotovoltaico policristalino ocupa un área aproximada de 0.96m² y este es instalado en la azotea del preescolar con una estructura de soporte de aluminio fabricado por el proveedor con perfiles de aluminio de 42x102 mm. con tornillería de acero inoxidable, la estructura se fijó a la loza, para evitar futuras filtraciones en losa se aplicó resina plástica epóxica en las perforaciones.

El inversor es fijado a un costado de la tubería bajante conectándose a la pastilla principal del salón de clases a una altura de 1.5 con lo que se garantiza que los alumnos no puedan acceder al equipo.

El controlador solar es situado a un costado de la tubería frente al inversor montado en la pared que indicara el estatus del sistema.

El sistema lleva cable del panel fotovoltaico policristalino al controlador de carga, del controlador de carga al banco de baterías y del banco de baterías al inversor, así como todos los dispositivos de protección al usuario como tuberías conectores y gabinete para resguardo de baterías, según diseño. El material eléctrico incluyó:

- Tubería Conduit metálica pared ligera, cajas de conexión tipo conduit ovalada serie 9 y accesorios para canalizar y cablear los módulos fotovoltaicos al inversor.
- Cable THW-LS calibre 10 para conexiones.
- Gabinete para 2 baterías con ventilación y chapa de seguridad.

Los tres diseños diferentes para cada preescolar incluyen el panel fotovoltaico policristalino y el centro de carga, mismo que fueron elaborados con un software llamado SketchUp®, como se muestra en las figuras 5, 6 y 7.



Figura 5 Vista isométrica de la instalación del Panel fotovoltaico policristalino y el centro de carga en el preescolar "Niños Héroeos". Fuente propia.

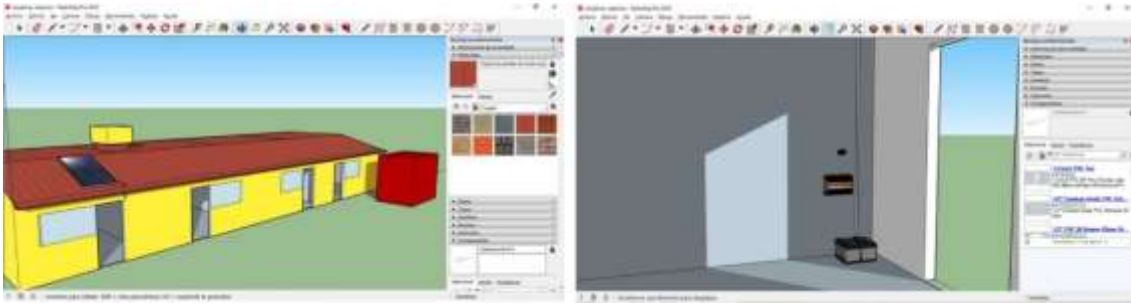


Figura 6 Vista isométrica de la instalación del Panel fotovoltaico policristalino y el centro de carga en el preescolar "Elvira Ochoa de Hernández". Fuente propia.

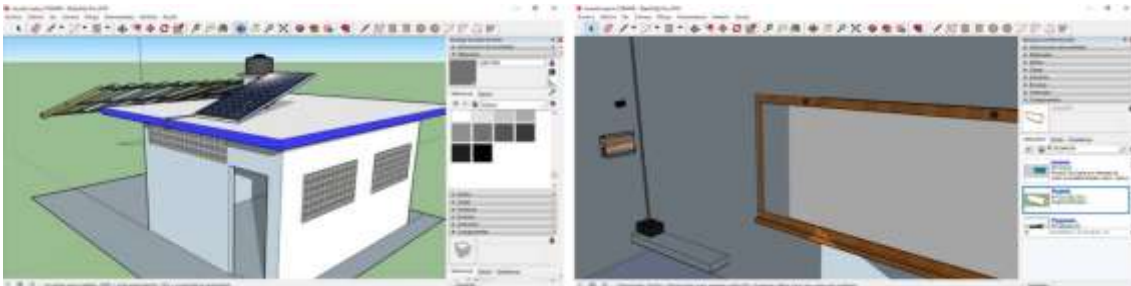


Figura 7 Vista isométrica de la instalación del Panel fotovoltaico policristalino y el centro de carga en el preescolar "Lydia Espinoza". Fuente propia.

Paso 5.- Los preescolares pertenecientes a CONAFE beneficiados fueron: 1. "Niños Héroes" comunidad Paso Grande, municipio del Paso del Macho, 2. "Elvira Ochoa de Hernández" comunidad El Palmar Estación, municipio Emiliano Zapata, 3. "Lydia Espinoza" comunidad Mundo Nuevo, municipio Coatepec, al finalizar el proyecto con cada preescolar se hizo la entrega formal mediante oficios de donación de equipos instalados y un Manual de Usuario a cada uno.

Para la entrega de los equipos que se realizó a la APF de cada preescolar, se contó con la presencia de directivos de CONAFE, así como del ITSX, como se muestra en la figura 8 equipos instalados en los preescolares.



Figura 8 Equipos instalados en los preescolares beneficiados. Fuente propia.

RESULTADOS

Por las instituciones pertenecientes a CONAFE beneficiadas, se impactó a 38 alumnos y a la comunidad, ya que, por la vida útil del proyecto estimada en 20 años, se espera beneficiar a un número indeterminado de alumnos y a las futuras APF's.

La instalación del sistema fotovoltaico de energía eléctrica logra cubrir la demanda eléctrica que los planteles solicitan, teniendo además, un beneficio ambiental ya que con la implementación del proyecto en los tres Preescolares Comunitarios se evita la emisión 0.42 toneladas por mes de CO₂ al medio ambiente, lo que equivale a plantar un árbol por año, esto por Preescolar Comunitario, tomando en consideración la duración estimada de 20 años, se estima que se tendrá el equivalente a plantar 60 árboles.

Con la instalación del sistema fotovoltaico la experiencia de aprendizaje de los educandos se pudo realizar en condiciones adecuadas, porque al tener energía eléctrica, el docente utilizó recursos de audio y video logrando clases más didácticas, lo que fomentando la equidad educativa en el centro

comunitario que, como parte de las funciones de la Asociación de Padres de Familia, esta debe buscar y lograr en apoyo para el mejor desempeño del líder para la educación comunitaria.

CONCLUSIONES

El Consejo Nacional de Fomento Educativo, organismo descentralizado que se encargada de brindar educación a comunidades marginales, son las que cuentan con las mayores carencias, ya que en el 48.9% de las localidades a las que se lleva la educación a través de esta modalidad, carece de servicios públicos básicos, como el de energía eléctrica, por lo que al implementar este proyecto se obtienen beneficios en áreas de educación, sociedad, medio ambiente, etc, fomentando el uso de energías renovables e implementándolas para satisfacer necesidades básicas en lugares donde no se cuenta con ellas y mostrando a la sociedad, incluidos los alumnos de nivel preescolar, los beneficios obtenidos, se espera que las generaciones futuras, mejoren las tecnologías existentes, para utilizarlas las fuentes renovables de energía limpia, propiciando la seguridad y diversificación energética, sostenibilidad económica y social, de manera sostenible y logrando a la par, la equidad en las áreas antes mencionadas.

La importancia de implementar este tipo de proyectos en sectores de la sociedad menos beneficiados favorece su inclusión, apoyan al medio ambiente y sensibilizan a las personas y dependencias en beneficio de la sociedad, generando además el apoyo interinstitucional por parte del ITSX a escuelas vulnerables en pro de los estudiantes que tanto necesitan en el estado de Veracruz y México.

BIBLIOGRAFÍA

1. DOF (2010). *Acuerdo número 567*. SEGOB, México.
2. DOF (2008). *Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética*. México.
3. CFE G0100-04 (2008). *Interconexión a la Red Eléctrica de Baja Tensión de Sistemas Fotovoltaicos con Capacidad hasta 30 kW*. México.
4. IDAE. (1992). *Energía solar fotovoltaica*. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, Madrid. España.
5. OECD. (2019). *Estudios Económicos de la OCDE: México 2019*. Paris: OECD Publishing.
6. Schallenberg Rodríguez, J. C., Piernavieja Izquierdo, G., Hernández Rodríguez, C., Unamunzaga Falcón, P., García Déniz, R., Díaz Torres, M., Subiela Ortin, V. (2008). *Energías Renovables y Eficiencia Energética*. Instituto Tecnológico de Canarias, S.A.
7. Yamashita, K., & Umemoto, A. (2003). *Research and development on recycling and reuse treatment technologies for crystalline silicon photovoltaic modules*. 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003. Pag. 1996-1999 Vol.2.

CARACTERIZACIÓN DE VIBRACIONES MECÁNICAS DE ÁLABES DE TURBINAS DE VAPOR ETAPA L-0

Dulce María Graciano¹, Juan Carlos García Castrejón¹, José Alfredo Rodríguez Ramírez¹, Victoria Paola Cabrera Madera², Eder Uriel Martínez Sandoval¹, Miguel Ángel Beltrán Brito¹

¹Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, ²Universidad de Guanajuato.
dulce.fao@mail.com

RESUMEN

En el sector de producción de energía eléctrica (centrales termoeléctricas) como en muchos otros, es preciso mantener una producción continua y garantizar el buen funcionamiento de los elementos mecánicos que constituyen su infraestructura, para conseguir esto es necesario conocer y controlar el comportamiento de diferentes variables físicas que puedan provocar fenómenos adversos en los elementos. Uno de los fenómenos que más afectan a las turbinas de las centrales termoeléctricas son las vibraciones mecánicas, pues un prolongado estado de resonancia puede llegar a ocasionar el fallo estructural de la turbina. Las frecuencias naturales, formas modales y el amortiguamiento son parámetros modales que permiten conocer las condiciones de operación que ocasionan la falla por resonancia. En este trabajo mediante técnicas experimentales y modelos numéricos (FEM, por sus siglas en inglés) de análisis modal, se realizó la caracterización de vibraciones mecánicas de álabes etapa L-0 de turbinas de vapor para determinar sus parámetros modales. Para caracterizar la forma modal experimentalmente se utilizó un agitador electromagnético que emitía ondas en una frecuencia cercana a la frecuencia natural de la estructura.

Los resultados de frecuencia natural presentan gran similitud entre el modelo experimental y los modelos numéricos, además se demostró que las amplitudes de vibración se amplifican a medida que la frecuencia de excitación se acerca a la frecuencia natural.

INTRODUCCIÓN

En la industria de generación de energía eléctrica (termoeléctrica), la necesidad de mantener una producción continua, conservar ambientes controlados y garantizar el buen funcionamiento de los dispositivos, hace necesario conocer el comportamiento de diferentes variables físicas y la manera en que estas pueden afectar al equipo. El análisis de variables físicas es parte integral de la ingeniería pues mediante este es posible estudiar lo que ocurre en aplicaciones complejas. Actualmente esto es posible, gracias a los sensores y sistemas de adquisición de datos con los que se pueden predecir fallas, monitorear equipos y saber cuándo intervenir y dar mantenimiento a los diferentes dispositivos y máquinas.

Uno de los fenómenos que más afectan a los equipos rotatorios (turbinas) de las centrales termoeléctricas son las vibraciones mecánicas, mismas que se definen como la oscilación repetida de un punto material o de un cuerpo rígido en torno a una posición de equilibrio (Riley et al., 2005), pues un prolongado estado de resonancia (que ocurre si la frecuencia de la fuerza externa coincide con una de las frecuencias naturales del sistema (Rao, 2012)) en estos equipos puede llegar a ocasionar numerosas averías, ya que en resonancia las amplitudes de vibración son grandes y en consecuencia los esfuerzos son máximos.

Por lo anteriormente expuesto es importante saber el comportamiento (forma modal) que tendrán los álabes de las turbinas térmicas al someterse a este fenómeno por un determinado lapso para predecir posibles fallas y proporcionarles el mantenimiento adecuado. Conocer la forma modal que los álabes adquieren al momento de entrar en resonancia permite estimar el daño que la máquina puede sufrir y de este modo evitar que trabaje cercana a las revoluciones que la lleven a resonancia o en su defecto, conocer la severidad del daño.

Actualmente es posible observar el comportamiento que siguen los álabes cuando son afectados por este fenómeno mediante un análisis modal con la ayuda de instrumentación (proxímetros, acelerómetro, vibrómetro, generadores de forma, analizador de vibraciones, etc.) y/o modelos numéricos para caracterizar sus desplazamientos durante el fenómeno. La medición y análisis de vibraciones es utilizado, en conjunto con otras técnicas, en todo tipo de industrias como técnica de diagnóstico de fallas y valoración de la integridad de máquinas y estructuras (Vera, 2006). Esta

metodología también se utiliza como método de monitorización de la vida estructural. Cuando una estructura se daña, su rigidez disminuye y eso afecta a sus frecuencias y sus modos naturales, es decir, afecta a su manera de vibrar. Este cambio es detectable y comparable con un estado de referencia inicial de la estructura libre de daño. Además, mediante técnicas de análisis es posible detectar la localización e intensidad de los daños, y en el futuro, incluso prever el resto de la vida en servicio del componente o estructura.

METODOLOGÍA

El análisis modal es una técnica de análisis dinámico de estructuras que tiene como objetivo estimar propiedades dinámicas como las frecuencias y los modos naturales. El análisis modal puede ser teórico o experimental; el teórico se basa en técnicas analíticas o simulaciones y el experimental se basa en ensayos.

ANÁLISIS MODAL EXPERIMENTAL

El análisis experimental tiene 4 pasos fundamentales: excitación de la estructura, medición de vibraciones, tratamiento digital y análisis de las señales. El procedimiento seguido se describe a continuación.

1. **Caracterización del comportamiento de excitador** (agitador electromagnético); con la ayuda de un generador de formas, acelerómetro, amplificador de acondicionamiento de señales y analizador dinámico. Para esto se colocó un acelerómetro en el pivote del agitador electromagnético (véase Figura 1) y auxiliado del generador de formas se indicó la frecuencia que se deseaba que emitiera.



Figura 1. Agitador electromagnético

2. **Medición de frecuencia natural de álabes empotrados en voladizo**, se instrumentó al álabes con acelerómetro, proximetro y vibrómetro digital para obtener tres entradas de datos y corroborar su validez. Los álabes se instrumentaron como se muestra en la Figura 2 y las señales generadas se amplificaron para analizarlas y calcular el espectro de Fourier de cada una de ellas.



Figura 2. Banco de pruebas de medición de frecuencia natural

3. **Instrumentación y excitación de álabes a frecuencias cercanas a la resonancia**, el álabes fue excitado con el agitador electromagnético en frecuencias cercanas a la frecuencia natural obtenida en el paso 2, se colocaron 3 proxímetros ubicados en la raíz, centro y extremo del álabes con el objetivo de ver los desplazamientos en estas zonas. El agitador electromagnético se posicionó a 4 cm de distancia del álabes, siendo el aire el medio de comunicación de frecuencias. En la Figura 3 se muestra el banco de pruebas.



Figura 3. Banco de pruebas de medición de desplazamientos de resonancia.

ANÁLISIS NUMÉRICO

El análisis numérico de métodos de elementos finitos (FEM, por sus siglas en inglés) tiene 4 pasos fundamentales: modelado geométrico, discretización del modelo, procesamiento y post procesamiento.

El modelado geométrico se realizó replicando en escala 1:1 al álabes utilizado para las pruebas experimentales en el software Design Modeler de ANSYS, posteriormente se discretizó el modelo mediante el método de malla no estructurada como se muestra en la Figura 4., la cantidad de elementos se varió hasta que la diferencia de resultados entre las pruebas experimentales y los modelos numéricos fuera menor al 10%. El modelo se restringió de un extremo (como en las pruebas experimentales) y se consideraron las propiedades mecánicas del acero AISI 410.



Figura 4. Discretización del modelo

RESULTADOS

ANÁLISIS EXPERIMENTAL

La frecuencia natural de álabes L-0 empotrado en voladizo, obtenida experimentalmente se muestra en la Figura 5, donde se puede observar que la primera frecuencia natural del álabes L-0 es 52.5 Hz. Por otra parte, en la Figura 6 se muestran los desplazamientos detectados en el álabes cuando fue llevado a resonancia (fue excitado con el agitador electromagnético a frecuencias cercanas a 52.5 Hz), donde la máxima amplitud de desplazamiento se presentó en el extremo libre del álabes.

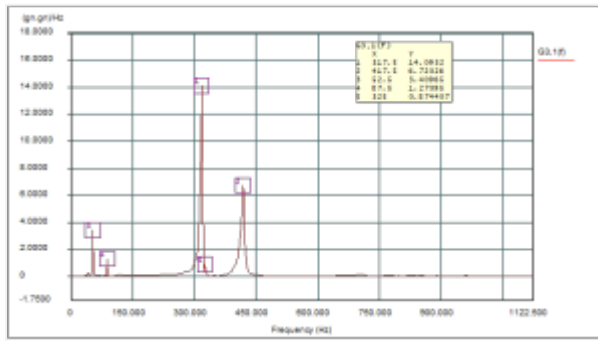


Figura 5. Resultados experimentales de frecuencia natural del álabe L-0

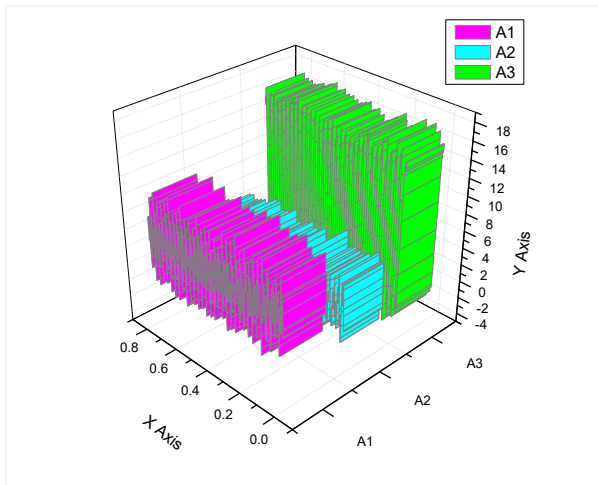


Figura 6. Resultados experimentales de máximos desplazamientos del álabe L-0 en estado de resonancia

ANÁLISIS NUMÉRICO

Por otra parte, los resultados numéricos arrojaron que la primera frecuencia natural del álabe, mostrados en la Tabla 1, es de 53.1 Hz y presenta una diferencia de aproximadamente 1% respecto al valor experimental.

Tabla 1. Resultados numéricos de frecuencia natural del álabe L-0

Modo	Frecuencia (Hz)
1	53.1
2	149.9
3	285.5
4	404.3
5	506.9

Como se muestra en la Figura 7 el álabe presenta desplazamientos en la raíz, centro y extremo siendo el extremo libre dónde la amplitud de desplazamiento es mayor, como ocurre en el caso experimental.

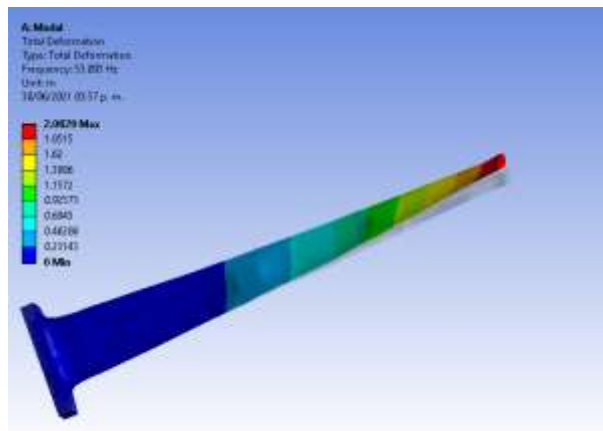


Figura 7. Resultados numéricos de máximos desplazamientos del álabe L-0 en estado de resonancia

CONCLUSIONES

De manera general, se concluyen los siguientes puntos:

- Las frecuencias naturales adquiridas experimentalmente coinciden con las frecuencias naturales obtenidas por medio de modelos numéricos.
- Cuando los álabes son excitados a frecuencias cercanas a la resonancia presentan desplazamientos en la raíz, centro y extremo de los álabes que pueden llegar a transformar el flujo de vapor en la turbomáquina.
- El análisis modal permite prever que la frecuencia de operación no coincida con alguna frecuencia de resonancia y de esta manera evitar desplazamientos que transformen el flujo del vapor en la turbina u ocasionen daños en la estructura. Sin embargo, el estudio realizado en este trabajo no debe usarse como única referencia para diseñar álabes, agrupación de álabes o decidir claros carcasa-rotor o rotor-estator, puesto que esto depende también de muchos otros parámetros geométricos y de régimen, tales como: de la configuración de los álabes, de la relación entre las áreas de las coronas de álabes, de la etapa a tratar, etcétera.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguilera, Antonio. (2011). Gestión del mantenimiento de instalaciones de energía eólica. Editorial Vértice.
2. Álvarez, Flórez., Callejón, Agramunt. (2002). Máquinas térmicas motoras-2. Edicions UPC. Barcelona.
3. Arrillaga, Garmendia., Eguiluz, Moarán. (1994). Armónicos en sistemas de potencia. Ed. Universidad de Cantabria.España.
4. Borja, Belmonte. (2015). Motores de reacción y turbinas de gas. Paraninfo. Madrid, España.
5. Bueno, Márquez. (2014). UF0230: Preparar y acondicionar los equipos principales e instalaciones auxiliares de la planta química. IC Editorial.
6. Cerdá, Filiu. (2014). Instalaciones eléctricas y automatismos. Paraninfo. España.
7. Corona, Leonel., Abarca, Griselda.,Mares, Jesús. (2014). Sensores y actuadores. Grupo editorial patria.
8. Fernández, Manés., García, Manuel., Alonso, Gonzalo., Cano, José., Solares, Juan. (1998). Técnicas para el mantenimiento y diagnóstico de máquinas eléctricas rotativas. Marcombo. España.
9. Gánem, Corvera., García, Castelán., García, Hernández. (2014). Dinámica, las leyes del movimiento. Editorial Patria. México.
10. García, Santiago., Ratia, Pablo., Perea, Jorge. (2011). Operación y mantenimiento de centrales de ciclo combinado. Díaz de Santos. España.

11. Giancoli, C.D. (2006). Física. Principios con aplicaciones (sexta edición). Pearson educación. México.
12. González, Víctor. (2004). Física fundamental (tercera edición). Progreso. España
13. Granda, Mercedes., Mediavilla, Elena. (2015). Instrumentación electrónica: transductores y acondicionadores de señal. Editorial de la universidad de Cantabria. España.
14. Kurmyshev, Evguenni. (2003). Fundamentos de métodos matemáticos para física e ingeniería. Editorial Limusa. México.
15. Lawrence, Norris. (1997). Rules of thumb for mechanical engineers. Gulf Publishing Company. Houston, Texas.
16. López, Juan. (2014). Transformación de materiales termoplásticos. IC editorial.
17. Paz, Mario. (2002). Dinámica estructural. Editorial Reverté. Barcelona.
18. Peral, Ramón., Navarro, Abel., Marín, José. (2010). Mecánica para ingenieros. Prácticas y problemas resueltos. Editorial Club Universitario. España.
19. Pierce, R., Noll, A. (2002). Señales la ciencia de las telecomunicaciones. Editorial Reverté. Barcelona.
20. Ramírez, Solís., Cristalinas, Navarro., Mojica, Calderón. (2007) Caracterización dinámica del rozamiento en rotor de turbina y análisis metalográfico del elemento de rozamiento. X Congreso y Exposición Latinoamericana de Turbomaquinaria, en Veracruz, Veracruz.
21. Rao, Singiresu S. (2012). Vibraciones mecánicas (quinta edición). Pearson, México.
22. Reyes, Ramírez., Colín, Venegas., Ledesma, Orozco., Aguilera, Cortés. (2009). Análisis modal de un rotor de una turbina de 300 MW. SOMIM- Universidad de Guanajuato. México.
23. Riley, W., y Sturges, D. (2005). Dinámica. Editorial Reverté. Barcelona.
24. Rueda Martínez, F., Toledo Velázquez, M., Carvajal Mariscal, I., Abugaber Francis, J., Tolentino Eslava, G. Estudio teórico de la erosión mecánica en un álabe rotor del último paso de la sección de baja presión de una turbina de vapor de 300 MW. Científica. México.
25. Sabugal, Santiago., Gomez, Florentino. (2006). Centrales térmicas de ciclo combinado, teoría y proyecto. Endesa. España.
26. Sánchez, Francisco., Pérez, Antonio., Sancho, Joaquín., Rodríguez, Pablo. (2007). Mantenimiento mecánico de máquinas (segunda edición). Universitat Jaume.
27. Segura, J.A., Kubiak, J., García, J.C., Rodríguez, J.A. (2008). Estimación de la vida útil de un álabe por elemento finito. SOMIM-CIICAp. México.
28. Tipler, Paul., Mosca, Gene. (2006). Física para la ciencia y la tecnología. Editorial Reverté. España.
29. Vera, Crespo. (2006). Análisis de vibraciones en elementos funcionales del faro izquierdo del automóvil New Beetle 2.5 Versión USA. Tesis Licenciatura. Cap. V, Historia del análisis modal. UDLAP. México.
30. Zacarías, Santiago., Ramírez, Flores., Santos, Caballero., Granados, Manzo., Vera, Medina., Mota, Lugo., Jiménez, Castillo. (2015). Dinámica, Mecánica para ingenieros. Editorial Patria. México.

DESARROLLO DE UN MATERIAL COMPUESTO DE MATRIZ A BASE DE CEMENTO PORTLAND CON AGREGADO VEGETAL LIGNOCELULÓSICO DE AGAVE

Felipe Rosas-Díaz^{1*}, César Juárez Alvarado¹, David García Hernández²

¹ Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México. ² Departamento de Química Analítica, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de Nuevo León, San Nicolás de Los Garza, Nuevo León, México.

*Autor de Contacto: felipe.rosasdz@uanl.edu.mx

RESUMEN

El propósito de la investigación fue desarrollar un biomaterial compuesto por una matriz a base Cemento Portland, con agregados vegetales lignocelulósicos de *Agave salmiana* residual de la industria de los destilados del Mezcal o Tequila.

Para el desarrollo del proyecto, se recolectaron pencas de *Agave salmiana*. Se realizaron pruebas de caracterización sobre las materias primas y se procesó el agregado vegetal con cuatro diferentes tratamientos para mejorar la compatibilidad entre la pasta de cemento y el agregado. Para concluir, se evaluaron especímenes de mortero vegetal bajo pruebas de conductividad térmica, peso volumétrico y resistencia a la compresión con una relación entre el agregado vegetal y la pasta de cemento de 0.36.

Como resultado, la incorporación del agregado de *Agave* con tratamiento de hornificación permitió obtener valores de conductividad térmica de 0.49W/mK y una resistencia a la compresión de 8.66MPa. A su vez, el tratamiento sobre la fibra permite disminuir en un 15.2% la capacidad de absorción de agua, permitiendo un mejor desempeño en el tiempo y una mejor compatibilidad entre las materias primas para la fabricación del compuesto.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, temáticas medioambientales como el cambio climático a raíz del calentamiento global han dado lugar a nuevas investigaciones para el desarrollo de materiales amigables con el medio ambiente que presenten una combinación de propiedades asociadas a un menor impacto ambiental y menores costos de producción [1][2]. En los últimos años ha existido un sector importante de investigadores empeñados en realizar estudios con el objetivo de desarrollar el uso de fibras vegetales en materiales compuestos [3], previniendo la tala de recursos forestales, produciendo buenos rendimientos económicos para el cultivo y otorgando propiedades mejoradas del material [4][5][6].

Desde la segunda mitad del siglo XX se ha producido un crecimiento económico global generando importantes avances sociales en las principales economías mundiales, sin embargo, asociado a este fenómeno, están los indicadores ambientales negativos que resaltan en paralelo [7][8]. Por consiguiente, el sector de la construcción se enfrenta a importantes retos mediante el uso de materiales alternativos [5]. Se estima que, a nivel mundial, el sector edificación es responsable de entre el 30 y 40% del uso de la energía consumida directamente durante la construcción, el uso y la demolición del edificio, e indirectamente a través de la producción de materiales (energía contenida) utilizados en el edificio [9], y del 40-50% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero [6][8][9][10]. Además, la construcción de edificios consume el 40% de la piedra, arena y grava, el 25% de la madera virgen, y el 16% del agua utilizada cada año en todo el mundo. Asimismo, es responsable de la generación del 30% de los residuos sólidos mundiales, asociados a la extracción de materias primas, la fabricación de componentes, la construcción, la restauración y la demolición [8][11]. Considerar y aplicar prácticas de sustentabilidad en la construcción puede generar una reducción del 35% en las emisiones de CO₂, un ahorro en el consumo de agua y energía del 30% al 50% y la reducción de los costos por disposición de residuos sólidos en hasta un 90% [8][12].

Las fibras celulósicas presentan un conjunto de importantes ventajas, tales como una amplia disponibilidad a un costo relativamente bajo, corresponden a un recurso renovable, poseen buenas propiedades de aislación y son biodegradables. Además, se pueden encontrar en una amplia variedad de morfologías. Su superficie puede modificarse fácilmente para tener un carácter más hidrófilo o hidrófobo o para unir grupos funcionales. El costo y la disponibilidad de las fibras naturales

vegetales dependen en gran medida del lugar, la región, los mercados de importación y las aplicaciones de la competencia [13][14]. Los materiales fabricados con materias primas vegetales son los más prometedores para la construcción, creando un gran interés en todo el mundo sobre las posibles aplicaciones como materiales compuestos con propiedades mejoradas en esta directriz [15].

TEORÍA

Un hormigón en el sentido convencional de la palabra consiste en una mezcla heterogénea entre un aglutinante mineral y granulados (también de origen mineral) de dimensiones graduadas. Del mismo modo, lo que definimos como concreto vegetal, consiste en una mezcla entre granulados de materia vegetal lignocelulósica que constituyen la mayor parte del volumen, y un aglutinante mineral. Estudios científicos de los últimos 30 años han demostrado que la incorporación de material lignocelulósico en matrices cementantes tiene efectos mejorados sobre las propiedades higrotérmicas e impactos ambientales menores a los concretos convencionales [2][4][15][16][17][18]. Su uso como material de construcción, para mejorar las propiedades de los materiales compuestos cuesta muy poco en comparación con el coste total de los materiales compuestos y son muy diferentes a los agregados minerales típicamente usados en concretos [19][20][21]. Las propiedades higrotérmicas mejoradas de este material se atribuyen principalmente al aumento de la porosidad del compuesto debido a la formación de huecos entre el agregado vegetal y el ligante y a la baja densidad intrínseca de estos [5][6][15]. El comportamiento mecánico de los concretos vegetales está guiado por la matriz de aglutinante. Para grandes dosis de ligante, el material es comparable a una matriz de ligante continua en la que las partículas de la planta están enterradas [22]. Si bien las propiedades mecánicas no tienen comparación con las del hormigón estructural con áridos minerales, es necesario considerar que su aplicación es totalmente diferente. Es importante tener en cuenta que los profesionales en la construcción recomiendan garantizar un valor mínimo de 0,2 MPa para la resistencia a la compresión [16].

Muchos estudios han relacionado la presencia del hidróxido de calcio del aglutinante mineral con la degradación del agregado vegetal y, por lo tanto, con la pérdida de durabilidad de los compuestos [23][23][24]. En el concreto vegetal, se observa una zona interfacial de unas decenas de micrómetros de espesor alrededor de los agregados vegetales. En esta zona, el fraguado del ligante se ve inhibido o retrasado por agregado o por los correspondientes productos degradados en un ambiente alcalino. Esta zona de transición interfacial se caracteriza por un aumento de la porosidad entre el agregado y el ligante. Estas áreas de despegado también pueden estar relacionadas con los cambios dimensionales de las fibras vegetales dependiendo del contenido de humedad del material y también pueden observarse cuando se utiliza un aglutinante con un pH alcalino [22].

PARTE EXPERIMENTAL

El procedimiento que se llevó a cabo para el desarrollo de la investigación, esta basado en las normativas vigentes para la elaboración de morteros a modo de poder realizar una comparación entre los resultados obtenidos por el concreto vegetal desarrollado y un mortero convencional.

Materias primas y caracterización

Recolección de materias primas: Para el desarrollo de la investigación, se utilizó como aglutinante mineral CPO40R obtenido de la planta de cemento CEMEX en Monterrey. El Agave salmiana se obtuvo de las dependencias del Laboratorio de Química Analítica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León.

Distribución de tamaño de partículas del CPO: La distribución individual del tamaño de partículas del cementante fue medida con un analizador de tamaño de partículas basado en la difracción láser marca MICROTRAC modelo S3500. Se utilizó alcohol isopropílico con grado de pureza de 99.5% en conjunto con un minuto de ultrasonido a 40 Watts de potencia para dispersar posibles aglomeraciones de material que el equipo pudiera interpretar como partículas de mayor tamaño [25][26]. El procedimiento se realizó en triplicado.

Densidad del polvo de cemento: La densidad del polvo de cemento se llevó a cabo utilizando un equipo Multiplicnómetro de la marca Quantachrome Instruments realizando un análisis en triplicado utilizando la celda de 4.5cm³ pesando previamente las muestras en una balanza analítica de precisión ± 0.0001 y presurizando hasta aproximadamente los 17psi. El procedimiento se realizó

siguiendo las indicaciones del fabricante empleando gas nitrógeno [27]. Los resultados fueron corroborados por la información proporcionada por el fabricante [25].

Difracción de rayos X (DRX) sobre el polvo de cemento: El material cementante en su estado original (polvo) fue sometida a un análisis de Difracción de Rayos X en triplicado para determinar las fases cristalinas presentes. El ensayo por el método de polvo fue realizado en un difractómetro X PERT Pro MRD con radiación $\text{CuK}\alpha$ $\lambda = 1.5405\text{\AA}$. Los datos fueron obtenidos en el rango $2\theta = 8$ a 80 grados con una velocidad de rotación de 15rpm y un tamaño de paso de $0.0508714^\circ 2\theta$ [26][28].

Caracterización química del agregado vegetal: El análisis químico de la fibra se realizó de acuerdo a procedimientos TAPPI [29][17] [30][31].

Absorción de agua del agregado vegetal: Se pesaron 25g de tres tipos diferentes de muestras de agave en agua destilada a 1, 15, 240, 1440 y 2880 minutos, donde después fueron extraídas y centrifugadas a una velocidad de 100 revoluciones en 50 segundos.[3][32].

Densidad del agregado vegetal: La densidad aparente de la fibra se determinó para tres muestras diferentes de agave colocando una muestra en un recipiente cilíndrico de dimensiones conocidas, el cual fue agitado 10 veces para posteriormente determinar el volumen que ocupó la fibra y su masa determinando de esta manera la densidad del agregado vegetal [23][32].

Conductividad térmica de la fibra: Las mediciones de conductividad térmica se realizaron mediante un equipo Tempos, marca Meter Group basado en la técnica del hilo caliente que cumple con las especificaciones del standard IEEE 442-1981 y del ASTM D5334-08. En toma de datos se configuró el ensayo de 10 minutos en donde se introdujo la sonda respectiva en un frasco de vidrio que contenía una muestra de agave y se fijó mediante un adaptador que se adosa al recipiente permitiendo mantener inmóvil la aguja introducida [32].

Tratamientos sobre el agregado vegetal de agave

Agregado vegetal sin tratamiento [S/T]: a modo de poder evaluar la efectividad de los tratamientos y poder determinar las variaciones que se producen sobre el agregado vegetal, es necesario tener una muestra de control a la que no se le aplique ningún tratamiento de los anteriormente descritos y de esta forma realizar un análisis comparativo. para esto se toma una muestra del agregado vegetal seco en horno a 60°C . el agregado seco se guardó en bolsas herméticas con su respectivo etiquetado.

Tratamiento de congelamiento de la fibra [T/C]: la fibra natural fue dispuesta en bolsas plásticas a las cuales se les retiro el aire y fueron congeladas a -20°C . Posteriormente, al momento de su utilización, las fibras fueron retiradas y dispuestas a temperatura ambiente para posteriormente ser colocadas en horno a 60°C hasta obtener masa constante.

Tratamiento físico de hornificación [T/H]: el agregado se colocó en un recipiente de agua donde permanecieron durante 3 horas, tiempo suficiente para alcanzar la saturación. Luego, el secado se inició en un horno a 80°C equipado con control de temperatura y flujo de aire y permaneciendo a esta temperatura durante 16 horas. Después la muestra fue atemperada a 23°C para evitar un posible choque térmico de las fibras. Todo este procedimiento corresponde a un ciclo y fue repetido diez veces.

Tratamiento químico de NaOH [T/NaOH]: el tratamiento químico a base de NaOH consistió en sumergir el agregado vegetal en una solución al 1% de hidróxido de sodio la cual se puso a hervir durante una hora bajo campana. Posteriormente, la fibra se retiró y se depositó en un desecador empleando sílica durante 30 minutos para lograr su ambientación de manera gradual. El agregado vegetal se lavó con agua destilada, centrifugado y puesto a secar en un horno a 60°C hasta obtener una masa constante.

Tratamiento de recubrimiento a base de parafina sólida [T/P]: para el procedimiento de recubrimiento, la parafina sólida se calentó hasta los 100°C de manera homogénea, sumergiendo la fibra seca en la sustancia durante 5 min. la fibra impregnada se colocó dentro de un horno a 105°C durante 15min con papel absorbente en la base del recipiente que lo contenía para eliminar el exceso, disminuyendo la formación de grumos de parafina en las fibras y mejorando la disgregación de estas antes y durante el mezclado [3][33].

Caracterización del agregado y del concreto vegetal

Absorción de agua del agregado vegetal después del tratamiento: para la prueba de absorción de agua se tomó una muestra seca de 25 gramos del agregado con cada uno de los tratamientos en estudio, se introdujo en la bolsa permeable y se sumergió durante 1 minuto en agua asegurando una

completa humectación. después se colocó la bolsa con la muestra en la centrifuga girando 100 veces a aproximadamente 2 rotaciones por segundo. se registró el valor de su masa descontando el peso de la bolsa húmeda utilizada. el procedimiento se realizó en triplicado y se repitió con tiempos de sumergimiento de 15, 240, 1440 y 2880 minutos [1][34][16][32].

Densidad aparente del agregado vegetal después del tratamiento: la densidad aparente del agregado vegetal posterior a los diferentes tratamientos a los que se sometió se determinó utilizando un recipiente cilíndrico volcándolo diez veces y agitándolo para obtener una superficie horizontal. Con los antecedentes obtenidos se calculó la densidad aparente del agregado vegetal para cada uno de los tratamientos definidos a partir de la masa y el volumen determinados [35][32].

Conductividad térmica del agregado vegetal después del tratamiento: la conductividad térmica del agregado lignocelulósico después de haber sido tratado se midió utilizando el método de fuente de calor de línea transitoria, usando el equipo analizador de propiedades térmicas tempos de la marca meter environment. de acuerdo con la naturaleza de las muestras se empleó el sensor ks-3. el ciclo de calentamiento y enfriamiento se definió en 10 minutos logrando una precisión de $\pm 0.01\text{W/mK}$ [36][32].

Fabricación de especímenes de copncreto vegetal: el procedimiento empleado para la fabricación de los especímenes queda descrito en la tabla 1, para lo cual se empleo una dosificación como se muestra en la tabla 2 en donde se consideró una relación volumétrica entre el agregado vegetal y la pasta de cemento de 0.36 [37].

Tabla 2 - Procedimiento de mezclado para fabricación de mortero vegetal

Tiempo [minutos]	Actividad
0	Colocar la fibra en la mezcladora
1	Homogeneización de la fibra
1	Agregar agua de premezcla
1	Homogeneizar
1	Agregar material cementante
2	Homogeneizar
1	Agregar agua de reacción
4	Homogeneizar
0	Quitar mortero de las paredes y detener proceso

Tabla 3 - Dosificación de mezclas de mortero vegetal

Muestra	Agregado vegetal [g]	Agua de premezcla [g]	Cemento [g]	Agua de reacción [g]
S/T	46.6155	21.8120	546	191.1
T/C	29.1735	19.7192	546	191.1
T/H	39.6090	23.8059	546	191.1
T/NaOH	52.2315	23.0637	546	191.1
T/P	56.5515	20.1366	546	191.1

Peso volumétrico del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: el peso volumétrico es determinado dividiendo la masa de los especímenes cúbicos en gramos por la media del volumen obtenido de dos medidas con vernier de el ancho, alto y largo de las probetas cúbicas como se estipula en la normativa ASTM C138 [38].

Conductividad térmica del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: para las pruebas de conductividad térmica se fabricaron especímenes de 4x4x16cm con las mismas dosificaciones expuestas en el apartado anterior, los cuales fueron cortados por la mitad y sometidos a curado durante 28 días. las mediciones de conductividades realizadas a los prototipos se determinaron usando el método de fuente de calor de línea transitoria, con un equipo analizador de propiedades térmicas tempos de la marca meter environment. el ciclo de calentamiento y enfriamiento se definió en 10 minutos logrando una precisión de $\pm 0.01\text{W/mK}$. de acuerdo a la

naturaleza de las muestras y a las especificación del fabricante, se utilizó el sensor RK-3 el cual fue introducido con pasta térmica para eliminar el aire que pueda haber entre la sonda y la muestra evitando alterar los resultados [15][36].

Resistencia a la compresión del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: para evaluar las propiedades mecánicas de los especímenes de mortero vegetal se realizaron pruebas de resistencia a la compresión sobre muestras cúbicas de 50x50x50 milímetros curadas en dos condiciones diferentes a edades de 7 y 28 días. El ensayo de compresión fue realizado en condiciones ambientales de $20\pm 2^\circ\text{C}$ y $50\pm 5\%$ de humedad relativa con una velocidad de carga de 5 milímetros por minuto [16][39].

RESULTADOS

Caracterización del material cementante

Distribución de tamaño de partículas y densidad del CPO: El material cementante corresponde a un CPO40R cuya densidad es de 3.0354g/cm^3 [40] con un tamaño medio de partícula de $24.58\mu\text{m}$ como se observa en la figura 1.

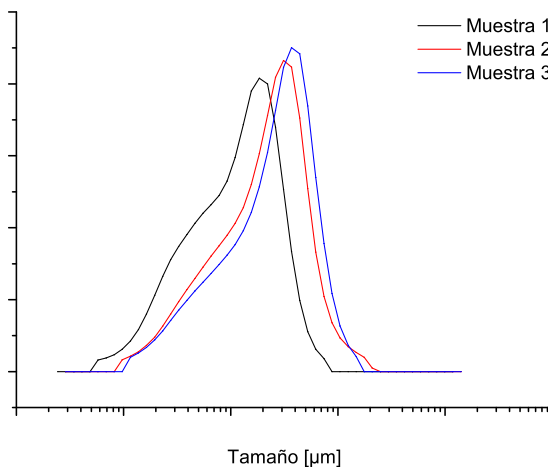


Figura 8 - Curva granulométrica del polvo de CPO40R

Difracción de rayos X sobre el polvo de cemento: en la gráfica de la figura 2, se observan los resultados de un ensayo de DRX sobre una muestra de polvo de cemento CPO40R.

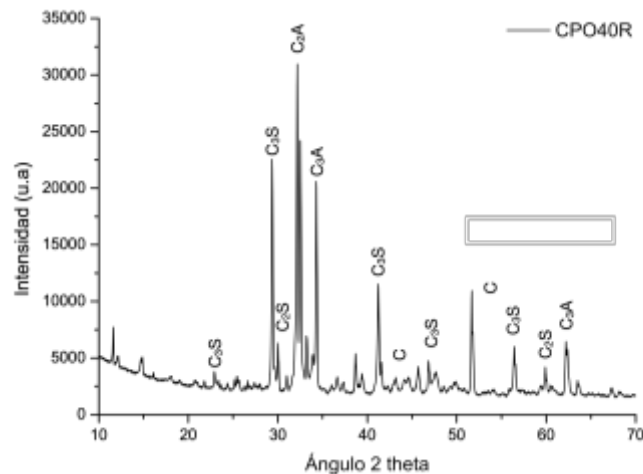


Figura 9 - Gráfica de DRX sobre la muestra de cemento Portland CPO40R

El análisis indica que el material cementante está compuesto principalmente por tres fases similares: silicato bicálcico (C_2S) con las reflexiones más altas entre los ángulos 30.02° y 59.88° . Silicato

tricálcico (C_3S) con los picos de mayor intensidad entre los ángulos 29.37° y 41.24° y, por último, la fase aluminato tricálcico (C_3A) con los picos de mayor intensidad entre 34.30° y 62.19° . Esto se ajusta a lo expuesto en la literatura científica respectiva [28].

Caracterización química del agregado vegetal: Los resultados obtenidos de la caracterización química de la muestra de Agave salmiana quedan expuestos en la tabla 4.

Tabla 4 - Resultados de caracterización química de la muestra de Agave salmiana

Prueba	Promedio
Análisis de humedad	$5.2039 \pm 0.0343\%$
Análisis de ceniza	$15.7652 \pm 1.8974\%$
Extraíbles con Etanol-Tolueno	$23.4697 \pm 2.4493\%$
Contenido de lignina insoluble en ácido	$10.6079 \pm 0.2355\%$
Contenido de holocelulosa	$42.6417 \pm 1.0954\%$
Contenido de celulosa	$49.6367 \pm 0.8341\%$
Contenido de hemicelulosa	$50.3633 \pm 0.8341\%$

Los resultados de caracterización química muestran que la fibra natural de la penca de Agave esta constituida principalmente por celulosa con un valor promedio de $49.6367 \pm 0.8341\%$ similar al valor reportado para fibras de cáñamo o girasol [23]; holocelulosa en un $42.6417 \pm 1.0954\%$ y lignina en un $10.6079 \pm 0.2355\%$. Estos componentes se asocian a la rigidez que puede presentar la fibra y que también le permite aportar propiedades mecánicas en estudios en donde se utiliza como filamentos o en otras aplicaciones relacionadas. Un aspecto importante para considerar es el alto contenido de compuestos polares que fueron extraídos con la solución de etanol-tolueno preparada equivalente a un 23.4697% , lo cual es elevado en comparación otras fibras como la cáscara de eucalipto con un 4.19% [36] o la paja de avena con un 8.7% [41]. Si bien, la velocidad de extracción se ve favorecido por las condiciones inducidas en las que se desarrolla el ensayo y la naturaleza de los solventes utilizados, es importante considerar este antecedente debido a que el agua tendría capacidad potencial de extraer compuestos hidrosolubles que pudieran interferir en matrices para otros procesos químicos como lo son los azúcares.

Absorción de agua del agregado vegetal: Los resultados de las mediciones de absorción de agua quedan descritos en la gráfica de la figura 3.

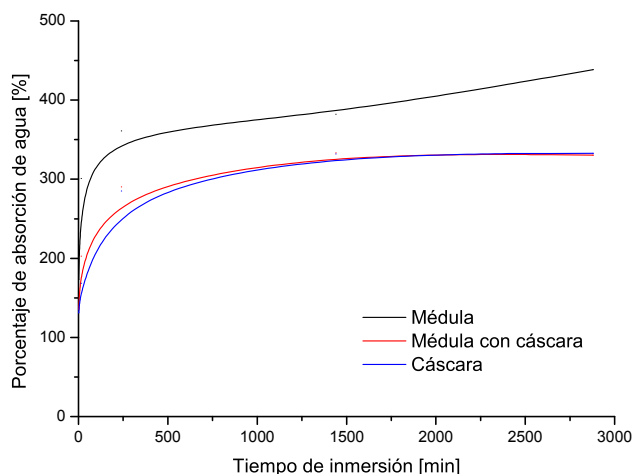


Figura 10 - Gráfica de los resultados de absorción de agua del agregado lignocelulósico en estudio

Los resultados muestran la mayor absorción de agua por parte de la médula en un 24.1272% más que la cáscara. Esto concuerda con lo descrito en la literatura científica que atribuye los altos niveles de absorción y retención de agua con la porosidad y la estructura interna de las fibras naturales vegetales [23]. Estos resultados, además, se conciben con los obtenidos de las pruebas de contenido inicial de agua, densidad y conductividad térmica, en donde estos parámetros muestran una mayor porosidad de la médula y por ende un mayor contenido de cavidades con potencial capacidad de

retención de agua. En cuanto a la cinética de absorción, se puede inferir por la gráfica que para la médula la absorción de agua los primeros 250 minutos ocurre de forma mucho más acelerada, sin embargo, posterior a este tiempo, la velocidad de absorción tiende a ser igual al medido para la cáscara. Si bien este factor es perjudicial por la interacción que puede tener con el agua de reacción y/o de mezcla en la fabricación de mortero, además, de requerir extensos tiempos de secado [3], hay que tener en consideración al mismo tiempo, que la porosidad es la principal característica que aporta las propiedades aislantes a la fibra natural haciéndola atractiva para su utilización como material de construcción. Aun así, la cáscara posee de igual forma un buen desempeño aislante debido a su naturaleza.

Densidad aparente de la penca de agave salmiana: los resultados obtenidos de la densidad aparente para cada una de las partes constituyentes de la penca de agave quedan descritos en la tabla 6.

Tabla 5 - Resultados obtenidos de la densidad aparente para cada parte identificada de la penca de Agave

Muestra	Masa [g]	Volumen [cm ³]	Densidad aparente [g/cm ³]
Médula	88.6000	295.8769	0.2994
Médula con cáscara	243.3000	726.2066	0.3350
Cáscara	213.9667	567.3664	0.3771

La cáscara posee una densidad aparente superior a la médula en un 79.3850%. Al ser este un parámetro relacionado con la porosidad de la fibra debido al contenido de aire que puede contener, se relacionan estos resultados con los valores de conductividad térmica y de capacidad de absorción de agua. Esto se corrobora con los resultados de las pruebas respectivas que se expondrán a continuación.

Conductividad térmica de la fibra de agave salmiana: el procedimiento fue realizado en triplicado para cada una de las muestras y los resultados de las mediciones quedan descritos en la tabla 7.

Tabla 6 - Resultados de conductividad térmica para cada uno de los componentes de la penca de agave

Muestra	Conductividad térmica [W/mK]
Médula	0.0682
Médula con cáscara	0.0733
Cáscara	0.0810

Los resultados muestran que la cáscara posee una conductividad térmica 18.7683% más alta que la médula y eso se relaciona con la diferencia de la densidad entre ambos componentes de la penca.

Caracterización del agregado y del concreto vegetal

Absorción de agua del agregado vegetal después del tratamiento: Los resultados de la prueba de absorción de agua para el agregado vegetal después de ser sometido a los distintos tratamientos en estudio se observan en la gráfica de la figura 4.

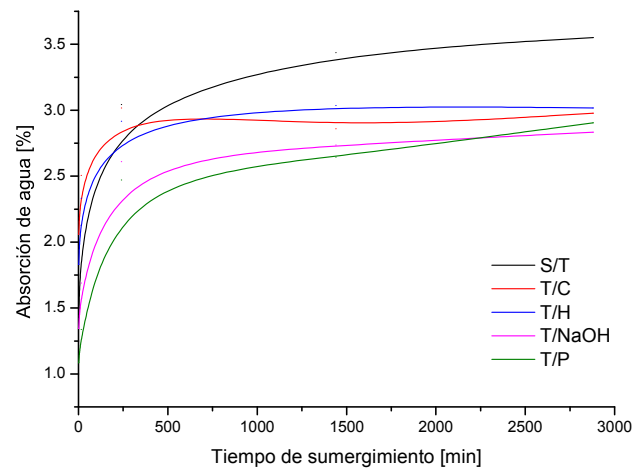


Figura 11 - Curvas de absorción de agua para el agregado vegetal sometido a los distintos tratamientos en estudio

El sometimiento de los agregados vegetales a tratamientos permite modificar parámetros de la fibra que propician una mayor hidrofobicidad respecto a la muestra de referencia (S/T). De acuerdo con los resultados expuestos en la gráfica de la figura 4, se puede observar que la absorción de agua del agregado vegetal sometido a un tratamiento en estudio disminuyó entre un 15.0269 y un 20.2244% similar a los valores obtenidos en tratamientos aplicados a otras fibras [33]. En términos generales, se observa que para el caso de la fibra sometida al tratamiento de hornificación, hidróxido de sodio y de parafina, la curva resultante se desplaza hacia abajo en el gráfico por lo que el comportamiento ocurre de una manera similar al de la fibra sin tratamiento, pero permitiendo un menor ingreso de agua. Para el caso del tratamiento de congelamiento, como ya se mencionó anteriormente, las partículas adquieren una estabilidad morfológica debido al rompimiento de componentes estructurales, por lo tanto, conserva en su interior espacios de aire por donde en los primeros 500 minutos de sumergimiento en agua, la velocidad es mayor que el de los demás tratamientos [16].

La reducción de la capacidad absorbente del material vegetal tendrá implicancias directas a la hora de fabricar el mortero vegetal debido a que interferirá en menor medida con la generación de productos de hidratación en la matriz cementante y de esta manera propiciar un mejor comportamiento mecánico de resistencia a la compresión del compuesto resultante. Esto se debe a que, en el momento de la fabricación del material, cuando se mezclan los componentes anhidros y el agua, las partículas vegetales absorben y retienen una gran cantidad de agua que ya no estará disponible para la hidratación del ligante. Para evitar este problema y obtener una trabajabilidad conveniente, se aumenta mucho la cantidad de agua añadida, pero esto conduce a un tiempo de secado muy largo después del desmolde [3].

Otro aspecto en el que podría resultar beneficiosa la reducción de la capacidad de absorción de agua, corresponde al aspecto de durabilidad de la fibra debido a que la literatura señala que la interacción del material lignocelulósico con soluciones alcalinas permite su degradación en el tiempo y por lo tanto, dependiendo el formato en que se utilice la fibra y las propiedades que se quieran obtener en el compuesto desarrollado, la disminución de este parámetro permitiría un mejor desempeño en el tiempo pese a la exposición [18].

Densidad aparente del agregado vegetal después del tratamiento: Los resultados de densidad aparente del agregado vegetal para cada tratamiento quedan expuestos en la figura 5.

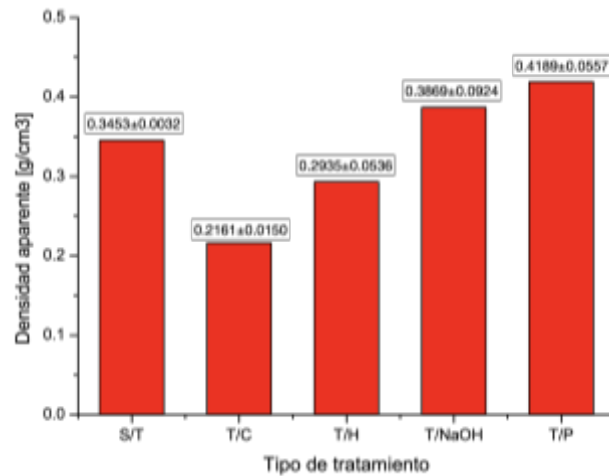


Figura 12 - Resultados de densidad aparente del agregado vegetal para cada uno de los tratamientos en estudio

Podemos dividir los resultados de la figura 5 en dos grupos, los que aumentan su densidad aparente y los que la disminuyen. En el primer grupo vemos que en el caso del tratamiento de hornificación, se observa que el agregado vegetal al igual que el tratamiento de congelamiento redujo su densidad aparente en un 15.0498% lo cual concuerda con la mayor uniformidad de tamaños que presenta la fibra posterior al tratamiento. Este comportamiento puede explicarse por la rigidez de la estructura polimérica de las fibras-celdas que se produce durante el proceso de humectación y secado. En este caso, las cadenas de celulosa de los polisacáridos se ordenan de forma más compacta con la eliminación del agua durante el proceso de secado y, por tanto, las microfibrillas se unen entre sí en el estado seco como resultado del mayor empaquetamiento, pero conservando aire en su interior que permite este fenómeno [42].

Conductividad térmica del agregado vegetal después del tratamiento: Los resultados de conductividad térmica sobre el agregado vegetal posterior a la aplicación de tratamientos quedan expuestos en la gráfica de la figura 6.

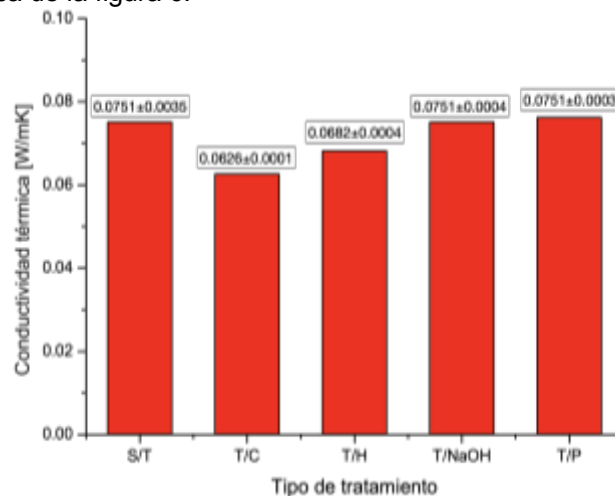


Figura 13 - Resultados de conductividad térmica del agregado vegetal en cada uno de los tratamientos en estudio

Los resultados obtenidos muestran que, para el caso del tratamiento con hidróxido de sodio, la conductividad térmica del agregado aumentó debido al desplazamiento del aire contenido en las partículas por la reducción de su tamaño. Algo similar para el caso del tratamiento con parafina donde el aire fue desplazado por un material con una conductividad térmica del orden de los

0.25W/mK [43], lo cual es propicio para aumentar su valor general. En el caso del tratamiento por congelamiento y por hornificación, su alta porosidad en relación con la muestra de referencia sin ningún tratamiento explica la disminución en los valores de conductividad térmica reportados en la gráfica en estudio.

La conductividad térmica es una propiedad física que esta directamente relacionada con la densidad de los materiales y de su naturaleza, lo cual puede evidenciarse en la figura 7. En cuanto a la densidad, la correlación existente se debe a la capacidad de retención de pequeñas cavidades con aire estaco que disipan la propagación de calor por conducción debido a la baja conductividad térmica del aire del orden de los 0.028W/mK [44].

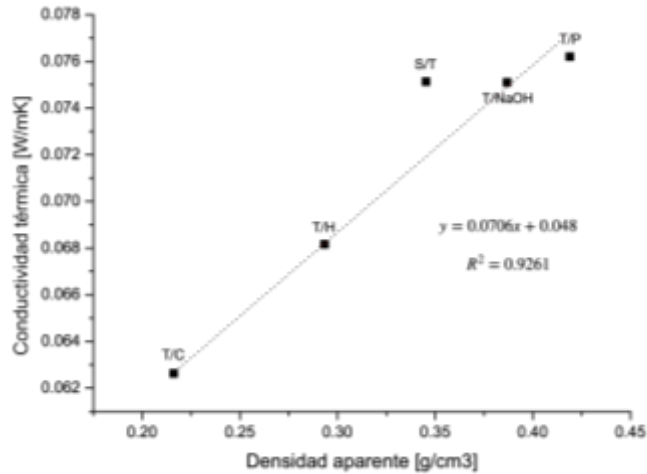


Figura 14 - Relación entre densidad aparente y conductividad térmica de los agregados con los diferentes tratamientos

Los resultados obtenidos que se observan en la gráfica de la figura 6, se condicen con los valores obtenidos de densidad aparente de la fibra para cada uno de los casos en estudio en donde puede observarse claramente la relación directamente proporcional que existe entre estos parámetros [22].

Peso volumétrico del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: los resultados del peso volumétrico obtenido para los especímenes de mortero vegetal fabricados con agregados sometidos a los distintos tratamientos en estudio se muestran en la gráfica de la figura 8.

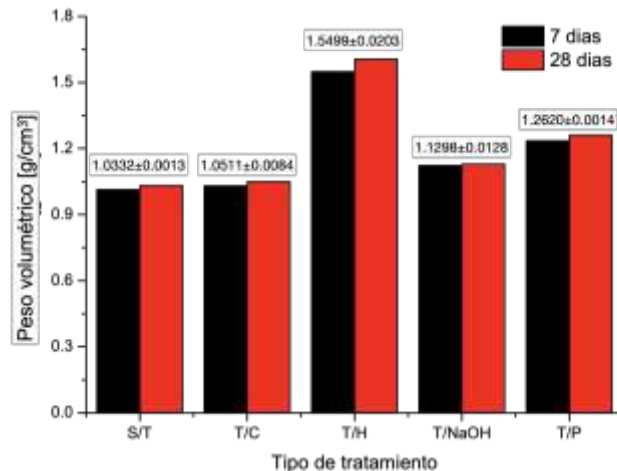


Figura 15 - Peso volumétrico sobre los especímenes de mortero vegetal

El peso volumétrico de las muestras se relaciona con la densidad aparente del agregado vegetal y la densificación de la matriz cementante. Un hecho importante que resulta de la fabricación de mortero vegetal utilizando agregado lignocelulósico de Agave salmiana es la importante cantidad de saponinas y compuestos hidrosolubles que es capaz de extraer el agua en contacto con el agregado.

Esto puede evidenciarse de manera contundente al momento de fabricar la mezcla y observar la espuma de saponina que se forma por el proceso de mezclado lo cual puede observarse en la figura 9 a) y b).

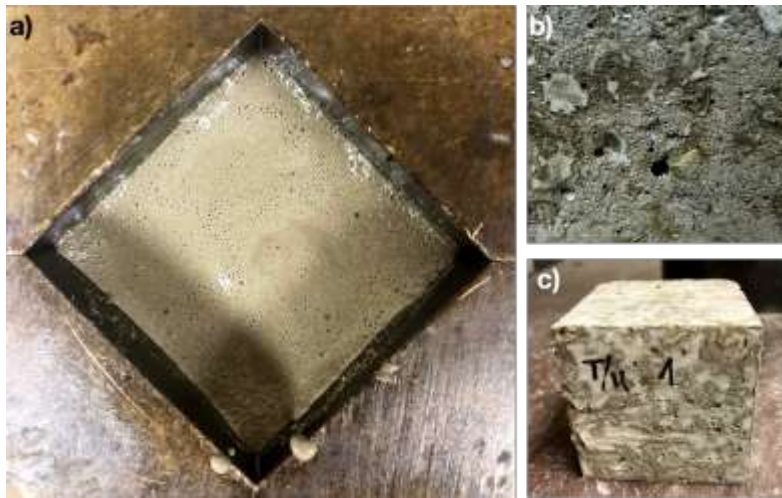


Figura 16 - a) fabricación de especímenes de mortero vegetal con presencia abundante de burbujas de aire; b) porosidad en matriz cementante producto de saponinas en el agregado vegetal; c) matriz cementante densificada para T/H

En la figura 9 a) puede observarse el efecto de la saponina presente en el agregado vegetal que es extraído por el agua de reacción del cemento y que genera burbujas de aire que quedan retenidas en la matriz cementante lo cual va en desmedro de la densificación del mortero y sus propiedades mecánicas de resistencia a la compresión. Esto puede observarse de igual manera en la figura 9 b) que corresponde a una muestra de mortero vegetal con agregado S/T en donde se observa la porosidad resultante debido a la presencia de las burbujas de aire. Sin embargo, en la figura 9 c), se observa un espécimen de mortero vegetal con agregado T/H en donde se aprecia que la pasta ha logrado una densificación adecuada. Esto se debe a que durante el proceso de fabricación no se observó la presencia de burbujas de aire como en los demás casos en estudio. Si se compara el peso volumétrico del mortero vegetal con morteros o concretos estándares, se puede observar que con la incorporación del agregado vegetal este parámetro disminuye considerablemente debido a la densidad aparente de las partículas de agregado [45].

Conductividad térmica del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: los resultados de conductividad térmica obtenidos de los morteros vegetales fabricados con agregados sometidos a los distintos tratamientos en estudio se pueden observar en la gráfica de la figura 10.

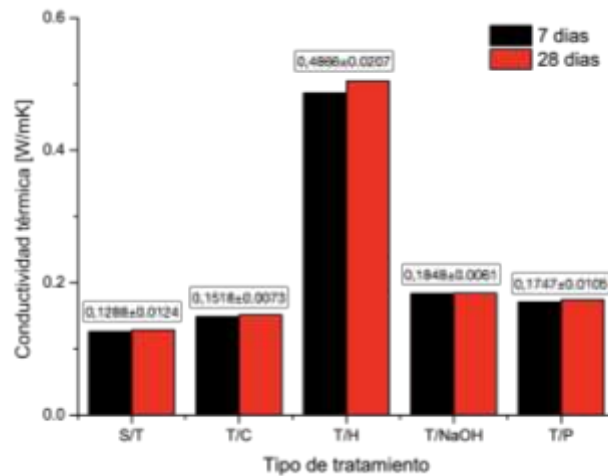


Figura 17 - Resultados de conductividad térmica de mortero vegetal con agregado sometido a diferentes tratamientos

A modo general, la incorporación de agregado lignocelulósico en el mortero fabricado ha reducido el peso volumétrico del material en una medida considerable y en consecuencia, se ha mejorado la conductividad térmica [45]. De acuerdo con los resultados expuestos en la gráfica de la figura 10, se puede observar que la conductividad térmica de los especímenes posee un comportamiento muy relacionado con el peso volumétrico obtenido. Este fenómeno ha sido reportado por diversos autores que han empleado agregados vegetales de diferentes naturalezas [6][16]. Puede observarse que el tratamiento de hornificación genero los valores de conductividad térmica mas elevados del orden de 0.4866W/mK lo que corresponde a un 277.795% mas que la muestra de referencia sin tratamiento. Se observa además que el comportamiento generalizado de las muestras con los distintos tratamientos lo que puede ser atribuido a la menor cantidad de burbujas producto de la acción de saponinas debido a la acción individual de cada tratamiento, sin embargo, los niveles de conductividad térmica alcanzados son bastante mejorados en comparación con morteros convencionales, para los cuales la literatura estipula una conductividad térmica de 1.4W/mK [44]. La relación existente entre el peso volumétrico de los especímenes y la conductividad térmica se expone en el gráfico de la figura 11.

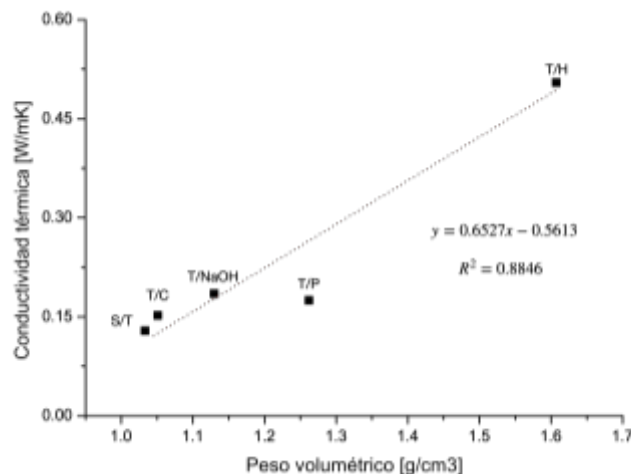


Figura 18 - Gráfico de relación existente entre el peso volumétrico y la conductividad térmica

El gráfico concuerda con la literatura científica en que las propiedades físicas de las matrices de base cementosa reforzadas con fibras naturales de origen vegetal están altamente influenciadas por el contenido de fibra. Se puede observar que la conductividad térmica de los materiales compuestos aumenta cuando se incrementa la densidad mostrando una relación directa entre la densidad de los

materiales compuestos y la conductividad térmica. El aumento de los vacíos de aire conduce a la disminución de la densidad de los materiales resultantes, lo que produce una mayor resistencia térmica y una menor conductividad térmica [3][15][39].

Resistencia a la compresión del mortero vegetal con los distintos tratamientos de la fibra: la resistencia mecánica obtenida por los especímenes de mortero vegetal fabricados con agregado sometido a los diferentes tratamientos que se están estudiando, queda expuesta en el gráfico de la figura 12.

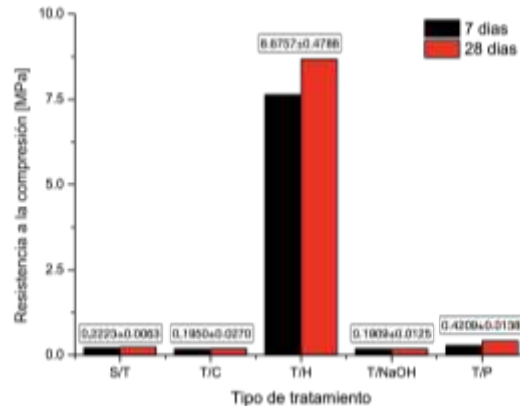


Figura 19 - Resultados de resistencia a la compresión del mortero vegetal

Si bien los resultados de densidad y peso volumétrico muestran que los especímenes fabricados con tratamiento de hornificación poseen propiedades físicas con valores más elevados debido a la menor cantidad de vacíos creados por la incorporación del agregado con este tratamiento [3][4], las propiedades mecánicas demuestran una variación respecto al caso de referencia con agregado S/T que posee una resistencia a la compresión de 0.2223MPa de un 3902.6991% con un valor de 8.6757MPa.

Los resultados obtenidos muestran que el tratamiento de hornificación permite una hidratación del cemento mucho más efectiva por los niveles de resistencia a la compresión alcanzados. Esto puede ser explicado debido a que el tratamiento de hornificación estipula 10 ciclos de humectación y secado lo que permite un lavado progresivo del agregado logrando la extracción de compuestos hidrosolubles, además de consecuencias sobre la estabilidad morfológica de las partículas frente a la exposición al agua involucrada en el proceso de fabricación del mortero vegetal. Estos antecedentes combinados, permiten que el agregado vegetal de Agave salmiana se comporte de una forma más inerte en el proceso de mezclado con los demás componentes para la fabricación del mortero vegetal y por ende permite condiciones propicias para la hidratación adecuada del cemento lo que conlleva resultados óptimos de resistencia mecánica. El alto valor obtenido permite estipular que este tratamiento es altamente efectivo respecto a los demás tratamientos en estudio ya que como se mencionó anteriormente, este tipo de morteros no está enfocado en aplicaciones estructurales por lo que la resistencia mínima aceptable es de 0.2MPa. Al tener aproximadamente un 30% del volumen ocupado por el agregado y una resistencia tan superior al resto de los casos, se considera que este tratamiento merece ser estudiado en profundidad debido a que permite la incorporación de un volumen mayor de agregado vegetal, disminuyendo aún más la cantidad de pasta de cemento requerida y mejorando los valores de peso volumétrico y conductividad térmica.

CONCLUSIONES

Los valores de conductividad térmica y absorción de agua para el agregado vegetal muestran que la cáscara si bien tiene una conductividad más elevada, posee una menor capacidad de absorción de agua por lo que la mejor opción para su utilización en el desarrollo de compuestos es la no exclusión de ninguno de estos componentes de la penca. De esta manera puede aprovecharse de mejor manera la materia prima al incorporarla de manera completa en la matriz mineral.

La incorporación de una razón volumétrica entre el agregado vegetal con T/H y la pasta de cemento de 0.36, permite una reducción la densidad y conductividad térmica del material llegando a valores

de 1.55g/cm^3 y 0.49W/mK lo que mejora sus prestaciones térmicas generando un nivel mayor de aislación para ser utilizado en viviendas.

Los valores de resistencia mecánica del compuesto desarrollado son de 8.66MPa , lo cual esta muy por debajo de la resistencia que debe tener un elemento que cumpla con funciones estructurales, por lo tanto, debe considerarse una aplicación para el compuesto como material de cerramiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. V. Sabathier, C. Magniont, G. Escadeillas, and C. A. Juarez, "Flax and hemp fibre reinforced pozzolan matrix: evaluation of impact of time and natural weathering," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 21, no. 11, pp. 1403–1417, 2017.
2. M. Ardanuy, J. Claramunt, and R. D. Toledo Filho, "Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research," *Constr. Build. Mater.*, vol. 79, pp. 115–128, 2015.
3. C. Magniont, G. Escadeillas, M. Coutand, and C. Oms-Multon, "Use of plant aggregates in building ecomaterials," *Eur. J. Environ. Civ. Eng.*, vol. 16, no. SUPPL. 1, pp. 37–41, 2012.
4. N. K. Krishna, M. Prasanth, R. Gowtham, S. Karthic, and K. M. Mini, "Enhancement of properties of concrete using natural fibers," *Mater. Today Proc.*, vol. 5, no. 11, pp. 23816–23823, 2018.
5. C. Niyigena *et al.*, "Variability of the mechanical properties of hemp concrete," *Mater. Today Commun.*, vol. 7, pp. 122–133, 2016.
6. R. Belakroum *et al.*, "Design and properties of a new sustainable construction material based on date palm fibers and lime," *Constr. Build. Mater.*, vol. 184, pp. 330–343, 2018.
7. A. Mohanty, M. Misra, L. Drzal, S. Selke, B. Harte, and G. Hinrichsen, *Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites: An Introduction*. 2005.
8. H. Acevedo Agudelo, A. Vásquez Hernandez, and D. A. Ramírez Cardona, "Sostenibilidad: actualidad y necesidad en el sector de la construcción en colombia," *Gestión y Ambient.*, vol. 15, no. 1, p. 14, 2012.
9. A. F. Abd Rashid and S. Yusoff, "A review of life cycle assessment method for building industry," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 45, pp. 244–248, 2015.
10. E. Peris Mora, "Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials," *Build. Environ.*, vol. 42, no. 3, pp. 1329–1334, 2007.
11. A. P. Arena and C. De Rosa, "Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina," *Build. Environ.*, vol. 38, no. 2, pp. 359–368, 2003.
12. Grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio Climático, *Cambio Climático*, vol. 32, no. 2. 2009.
13. C. M. Clemons, "Natural Fibers," in *Functional Fillers for plastics*, 2010, pp. 213–223.
14. M. . Sanjay, J. Parameswaranpillai, M. Jawaid, A. Khan, C. I. Pruncu, and S. Siengchin, "A comprehensive review of techniques for natural fibers as reinforcement in composites: Preparation, processing and characterization," *Carbohydr. Polym.*, vol. 207, no. November 2018, pp. 108–121, 2018.
15. M. Chikhi, B. Agoudjil, A. Boudenne, and A. Gherabli, "Experimental investigation of new biocomposite with low cost for thermal insulation," *Energy Build.*, vol. 66, pp. 267–273, 2013.
16. M. Chabannes, V. Nozahic, and S. Amziane, "Design and multi-physical properties of a new insulating concrete using sunflower stem aggregates and eco-friendly binders," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 48, no. 6, pp. 1815–1829, 2015.
17. M. Ardanuy, J. Claramunt, J. A. García-Hortal, and M. Barra, "Fiber-matrix interactions in cement mortar composites reinforced with cellulosic fibers," *Cellulose*, vol. 18, no. 2, pp. 281–289, 2011.
18. V. Agopyan, H. Savastano, V. M. John, and M. A. Cincotto, "Developments on vegetable fibre-cement based materials in São Paulo, Brazil: An overview," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 27, no. 5, pp. 527–536, 2005.
19. F. de A. Silva, B. Mobasher, and R. D. T. Filho, "Cracking mechanisms in durable sisal fiber reinforced cement composites," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 31, no. 10, pp. 721–730, 2009.
20. M. Ali, A. Liu, H. Sou, and N. Chow, "Mechanical and dynamic properties of coconut fibre

- reinforced concrete," *Constr. Build. Mater.*, vol. 30, pp. 814–825, 2012.
21. M. R. Mansor and S. M. Sapuan, *Concurrent Conceptual Design and Materials Selection of Natural Fiber Composite Products*. 2018.
 22. S. Amziane and M. Sonebi, "Overview on Biobased Building Material made with plant aggregate," *RILEM Tech. Lett.*, vol. 1, p. 31, 2016.
 23. V. Nozahic, S. Amziane, G. Torrent, K. Saïdi, and H. De Baynast, "Design of green concrete made of plant-derived aggregates and a pumice-lime binder," *Cem. Concr. Compos.*, vol. 34, no. 2, pp. 231–241, 2012.
 24. A. Poursaee and C. M. Hansson, "Reinforcing steel passivation in mortar and pore solution," *Cem. Concr. Res.*, vol. 37, no. 7, pp. 1127–1133, 2007.
 25. D. P. Bentz, A. Durán-Herrera, and D. Galvez-Moreno, "Comparison of ASTM C311 strength activity index testing versus testing based on constant volumetric proportions," *J. ASTM Int.*, vol. 9, no. 1, 2012.
 26. D. Galvez Moreno, "Robustez de un concreto autocompactable producido con materiales disponibles en la región de Monterrey, Nuevo León," Universidad Autonoma de Nuevo Leon, 2015.
 27. Quantachrome Instruments, "Density - Multipicnometer."
 28. A. Flores Ledesma, F. Barcelo Santana, L. Bucio Gaindo, J. A. Arenas Alatorre, and J. L. Ruvalcaba Sil, "Análisis químico elemental y de fases por medio PIXE, DSC, TGA y DRX en MTA Angelus y un cemento Portland blanco," *Rev. Odontol. Mex.*, vol. 20, no. 3, pp. 187–192, 2016.
 29. Tappi Standards, *Tappi test methods - Chemical characterization of agro-industrial waste*. 2007, pp. 0–4.
 30. L. Wise, M. Murphy, and A. D'Addieco, "Chlorite holocellulose, its fractionation and bearing on summative wood analysis and studies on the hemicelluloses," *Pap. Trade*, vol. 122, no. 2, pp. 35–43, 1946.
 31. R. Rowell, "The chemistry of solid wood," in *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*, vol. 19, no. 1, 2004, pp. 17–18.
 32. S. Amziane, F. Collet, M. Lawrence, C. Magniont, V. Picandet, and M. Sonebi, "Recommendation of the RILEM TC 236-BBM: characterisation testing of hemp shiv to determine the initial water content, water absorption, dry density, particle size distribution and thermal conductivity," *Mater. Struct. Constr.*, vol. 50, no. 3, pp. 1–11, 2017.
 33. M. A. Juárez, César; Rodríguez, Patricia; Rivera, Raymundo;Rechy de Von Roth, "Uso de fibras naturales de lechuguilla Como Refuerzo En Concreto," *Ingenierías*, vol. VII, no. 22, pp. 7–19, 2004.
 34. S. Amziane, F. Collet, S. Report, and R. T. Committee, *Bio-aggregates Based Building Materials*, vol. 23. 2017.
 35. B. de B. Paulien, J. Knut-Hakan, S. Kenneth, and N. Christer, "Mechanical properties of lime – hemp concrete containing shives and fibres," *Biosyst. Eng.*, vol. 103, pp. 474–479, 2009.
 36. C. Rojas, M. Cea, F. Rosas-Díaz, and J. . Cárdenas-R, "Physical , chemical and mechanical characterization of a prototype insulating material based on eucalyptus bark fiber," *IEEE Lat. Am. Trans.*, vol. 16, no. 9, pp. 2441–2446, 2018.
 37. V. Cérézo, "Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales : approche expérimentale et modélisation théorique," L'Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, 2005.
 38. American Society of Testing and Materials, *ASTM C 138-92 Standard Test Method for Density (Unit Weight), Yield , and Air Content (Gravimetric)*, vol. 04, no. Reapproved. 2009, pp. 1–4.
 39. S. Elfordy, F. Lucas, F. Tancret, Y. Scudeller, and L. Goudet, "Mechanical and thermal properties of lime and hemp concrete ('hemcrete') manufactured by a projection process," *Constr. Build. Mater.*, vol. 22, no. 10, pp. 2116–2123, 2008.
 40. M. L. Nehdi, A. R. Suleiman, and A. M. Soliman, "Investigation of concrete exposed to dual sulfate attack," *Cem. Concr. Res.*, vol. 64, pp. 42–53, 2014.
 41. J. Vidal, "Desarrollo de materiales aislantes basados en fibras naturales residuales," Universidad de La Frontera, 2016.

42. S. S. R. Ferreira, P. R. L. Lima, F. A. Silva, and R. D. Toledo Filho, "Effect of sisal fiber hornification on the adhesion with portland cement matrices," *Rev. Mater.*, vol. 17, no. 2, pp. 1024–1034, 2012.
43. A. Ochoa Hurtado, "EVALUACIÓN DE PARAFINA COMERCIAL COMO MATERIAL DE CAMBIO DE FASE PARA ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA," 2016.
44. NCh853, *Acondicionamiento térmico - Envolvente térmica de edificios - Calculo de resistencias y transmitancias térmicas*. 2007.
45. C. Becchio, S. P. Corgnati, A. Kindinis, and S. Pagliolico, "Improving environmental sustainability of concrete products: Investigation on MWC thermal and mechanical properties," *Energy Build.*, vol. 41, no. 11, pp. 1127–1134, 2009.

DESARROLLO DE APLICACIÓN WEB, UNA ALTERNATIVA PARA REACTIVAR LA ECONOMÍA LOCAL

Martin Tlacuatl Lozada, Yereira Hernández Zenteno, Juan Roberto Alonso Rojas, María del Carmen Santiago Díaz.

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

martin.tlacuatl@alumno.buap.mx, yereira.hernandezz@alumno.buap.mx,
juan.alonsoro@alumno.buap.mx, marycarmen.santiago@correo.buap.mx.

RESUMEN

Puebla ocupa el cuarto lugar nacional con la mayor matrícula en nivel superior, por debajo de la Ciudad de México, el Estado de México y Jalisco de acuerdo con datos del Sistema Nacional de Información Estadística Educativa. El turismo también es un pilar importante en la economía local, según datos de la secretaria de turismo los visitantes fueron poco más de 14 millones de personas y los ingresos arriba de los 13 mil millones de pesos. La aplicación BuildingRent es un proyecto que consiste en ayudar a los estudiantes foráneos universitarios y visitantes que busquen establecerse en Puebla, apoyándolos en la renta de un inmueble con el uso de tecnologías web a través del desarrollo de una aplicación intermediaria entre arrendador y arrendatario. Los usuarios que usen esta aplicación deben registrarse, ingresando sus datos personales y así poder ver el catálogo o para poner en disponibilidad inmuebles. Para garantizar la autenticidad de los arrendatarios deberán ingresar un documento de propiedad en donde acredite ser el dueño y así pueda ser verificado y colocarlo en el catálogo de inmuebles, el tiempo que el arrendatario podrá mantener su inmueble en el sistema es hasta que el inmueble sea rentado o en su caso hasta que el dueño lo quiera dar de baja. Este proyecto genera una mayor difusión para alquileres locales, incrementa la economía y ahorra tiempo dinero y esfuerzo. Es importante mencionar que del total de personas encuestadas para evaluar el funcionamiento e interacción de nuestra aplicación web obtuvimos resultados en su mayoría positivos ya que un 90% la consideran una buena opción. Se evidencia que el trabajo realizado en su fase de prototipo se distingue principalmente por sus características de usabilidad y operatividad que proporciona además de seguridad y confianza como un acuerdo bilateral para personas que estén interesadas en rentar un inmueble y para personas arrendatarias.

INTRODUCCIÓN

En México hay tres millones 429 mil 566 estudiantes universitarios, de los cuales 6 por ciento está en Puebla. De acuerdo con datos del Sistema Nacional de Información Estadística Educativa (SNIE) de la Secretaría de Educación Pública (SEP), Puebla ocupa el cuarto lugar nacional con la mayor matrícula en nivel superior, por debajo de la Ciudad de México, el Estado de México y Jalisco [1].

La Asociación Mexicana de Profesionales Inmobiliarios (AMPI), sección Puebla, reportó que las rentas de departamentos o casas tuvieron un repunte de 30% en lo que va de junio, debido a que estudiantes foráneos de nivel superior retomarán clases presenciales en agosto próximo [2].

La presente investigación se retoma en estos tiempos de pandemia como una alternativa para mejorar la economía de los poblanos; se refiere al tema de arrendamiento de inmuebles para estudiantes universitarios de la entidad de Puebla, que se define como aquel contrato mediante el cual una de las partes cede a la otra el uso de un bien inmueble por tiempo determinado y a cambio la otra parte se compromete a pagar un precio acordado [3].

La metodología Uwe (Ingeniería Web basada en UML) [4] es un enfoque de ingeniería de software para el dominio web que apunta a cubrir todo el ciclo de vida del desarrollo de aplicaciones web. Cabe resaltar que un aspecto muy importante que distingue a la metodología es la confianza en sus estándares (Ludwing).

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se debe considerar implementar una metodología, en consecuencia, utilizamos UWE ya que permite modelar y desarrollar un proyecto de manera completa e incremental, la cual consiste en 6 fases: análisis y especificación de requisitos, diseño del sistema, codificación del software, pruebas, instalación o fase de implementación y mantenimiento. Así mismo, las actividades del modelado que abarca son: el análisis de

requerimientos, modelo de contenido, modelo de usuario, diseño de la navegación, de la presentación y diseño de la adaptación.

En los últimos años subió a 14.5 millones el número de visitantes y la derrama económica a 13 mil 748 millones de pesos, según datos de la Secretaría de Turismo del estado de Puebla [5]. Muchos visitantes buscan ahorrar dinero con respecto a lo que costaría un hotel, o tener una experiencia vacacional más "auténtica" en barrios menos turísticos.

En efecto, la solución a esta necesidad genera el incremento de los alquileres de mayor y menor difusión, reduce la oferta de vivienda, aumenta la economía de las personas locales, ahorra tiempo en búsqueda, dinero y esfuerzo. Para justificar y evidenciar la problemática abordada se realizó con una serie de entrevistas a estudiantes foráneos, pertenecientes a la BUAP.

Analizamos el campo de mercado y lo comparamos con diversos sitios a través de métricas de usabilidad, los cuales nos dieron la pauta para tener un punto de partida en el desarrollo de nuestra aplicación web. Una métrica (medida) es un valor asignado a características o atributos de un ente computado a partir de un conjunto de datos observables y consistentes con la intuición.

Mediante la investigación de campo, algunos de los obstáculos que encontramos y de acuerdo con las métricas de usabilidad que aplicamos a las páginas similares existentes, fueron en su mayoría que no contienen información actualizada, no existe una comprensión global del sitio, los mecanismos de ayuda son obsoletos, los aspectos de interfaz y estética son malos y contienen enlaces rotos, además de tener precios elevados.

TEORÍA

Hasta el 2018 Puebla recibía en cada ciclo escolar a más de cinco mil estudiantes de otros estados en programas de licenciatura, más del 30 por ciento de la matrícula total del nivel superior de la entidad ha sido foránea. [6] Debido a la gran cantidad de estudiantes foráneos que deciden estudiar en Puebla, el arrendamiento alrededor de la capital ha tenido una gran demanda al inicio de cada ciclo escolar, ya que buscan una vivienda a un precio accesible y a su vez también es una gran oportunidad para la economía de los ciudadanos que viven alrededor de las universidades.

El sector inmobiliario tuvo gran afectación debido a la pandemia iniciada a principios del año 2020, es decir; algunos dueños se vieron en la penuria de tener todos sus inmuebles vacíos y buscar otras fuentes de ingreso económico, algunas personas tenían un ingreso del 100% solo con sus alquileres, sin embargo, nunca han estado inhabilitados ante la posibilidad de regresar a una normalidad y volver a generar contratos de arrendamiento.

La entidad tiene alrededor de 450 universidades, lo que ubica a Puebla entre las plazas a nivel nacional donde se tiene focalizado un importante número de instituciones de educación superior. [7]. Por tal motivo una gran cantidad de estudiantes se mudan a la capital, llevando este número en aumento cada año, pero debido a la pandemia el último año y medio no han podido realizar sus estudios de forma presencial.

Después de que el gobierno federal y del estado anunciara que están haciendo los preparativos para un posible regreso a clases en el próximo ciclo escolar los inmobiliarios tienen buenas expectativas de recuperación después de más de un año de pandemia. Estos datos son una esperanza para los dueños de departamentos para mejorar su condición económica y prepararse en cuanto a remodelación y mantenimiento para garantizar un espacio que se adapte a un servicio que preserva la salud de las personas y genere la suficiente confianza para incorporarse a sus actividades que hoy en día parecen ser un reto.

En base a la información obtenida anteriormente se espera que los sitios web para renta de inmuebles obtengan un incremento en sus visitas actuales, para obtener las mejores opciones de vivienda a los miles de estudiantes foráneos.

PARTE EXPERIMENTAL

En esta sección se presentan algunas páginas web similares a nuestro proyecto, por tal motivo, son referentes a la renta de bienes inmuebles y pueden ser encontradas en cualquier buscador web. El objetivo en común de estas páginas es el mismo, (renta de bienes inmuebles en base a diversos factores) pero a pesar de ello, cada una de estas tiene diferencias en cuanto a su estructura, diseño, presentación, funcionalidades, etc.

Página 1. Vivanuncios

La primera página web que analizamos es “vivanuncios” [8], esta engloba una gran cantidad de opciones para el público en general: como renta y venta de inmuebles, venta de vehículos, electrónicos, muebles, mascotas, etc. (véase la Fig. 1).

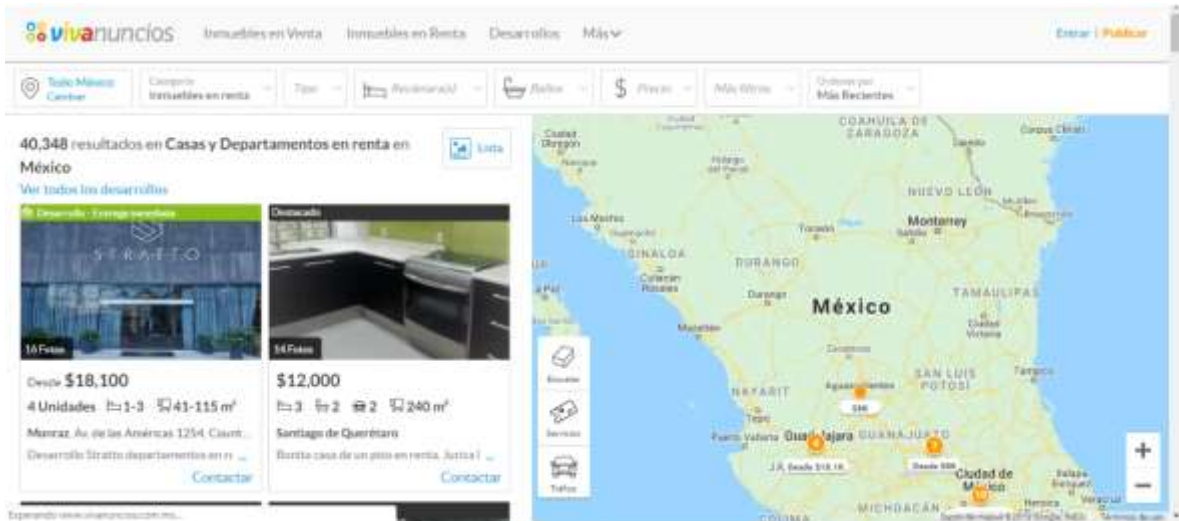


Figura 1. Apartado “Inmuebles en Renta” de vivanuncios.

Ventajas: multifuncional, variedad de contenido para compra y venta de bienes, elementos de búsqueda bien distribuidos, información completa acerca de los inmuebles e imágenes claras (no pixeladas) y uso de mapa para direcciones.

Desventajas: no está enfocada sólo a la renta de inmuebles, diseño poco agradable a la vista, mala distribución de componentes, dificultad de hallar cierta información de los inmuebles y poca seguridad para la renta.

Página 2. Segundamano

La segunda página web que analizamos se llama “segundamano” [9], esta contiene información clara y completa acerca de los inmuebles, desafortunadamente no proporciona mucha información acerca del dueño para contactarlo (véase la Fig. 2).

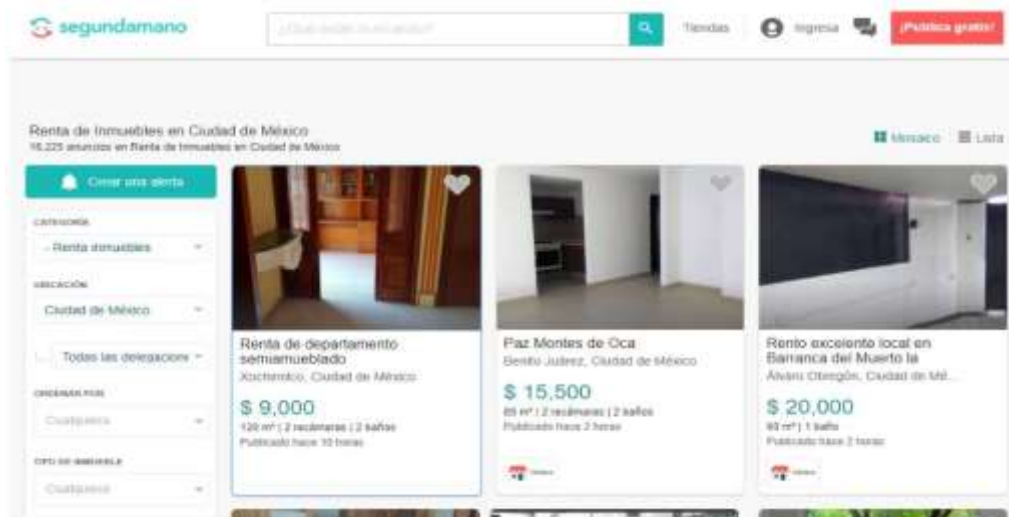


Figura 2. Página principal de segundamano.

Ventajas: interfaz atractiva a la vista, distribución Ordenada, imágenes con alta calidad, información variada acerca del inmueble y distintas opciones de búsqueda.

Desventajas: poca información acerca del arrendador, trato poco seguro para rentar, no es una página exclusiva para renta de inmuebles y tiene mucha saturación de anuncios.

Página 3. Inmuebles24

Otra página web que observamos se llama “Inmuebles24” [10], a diferencia de otras la calidad de la vista disminuye a comparación de las demás, contiene demasiada información que se vuelve tediosa, las imágenes no muestran bien el inmueble y contiene mucha publicidad (véase la Fig. 3).

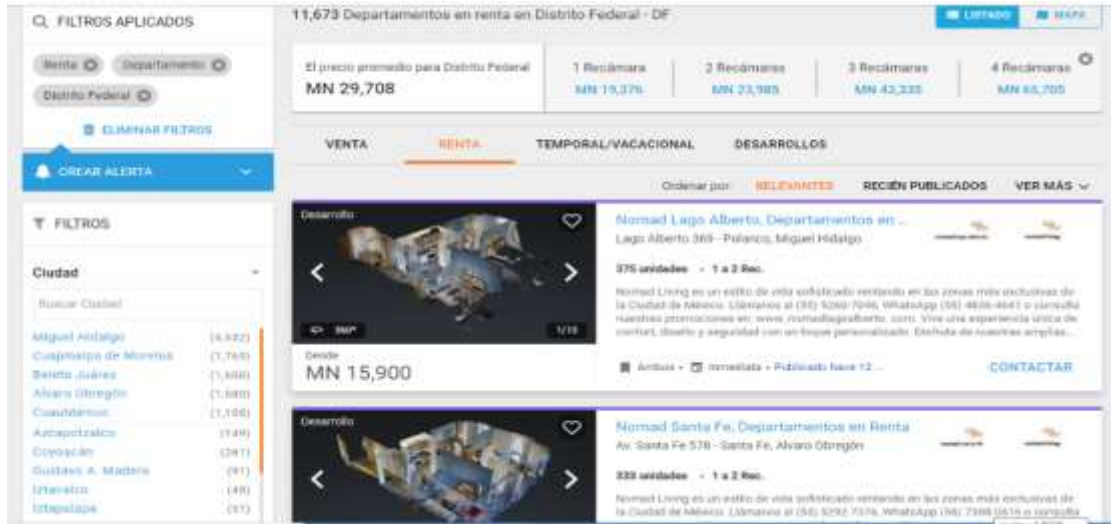


Figura 3. Página de los inmuebles que están en renta de Inmuebles24.

Ventajas: distintas formas de búsqueda de inmuebles, proporciona antigüedad del inmueble, mapa con ubicación del inmueble y agenda de citas.

Desventajas: diseño poco agradable a la vista, saturación de información en descripciones, imágenes de baja calidad, poca seguridad de arrendamiento y no es una página exclusiva para renta de inmuebles.

Comparación con Métricas de Usabilidad Web

De acuerdo con las características y atributos de los cuatro puntos de las métricas de usabilidad en la web, elaboramos una tabla comparativa en donde se muestran los puntos más importantes que podemos observar en una página web, analizando de esta manera la estructura y elaboración de las páginas similares, y así comprobar que nuestro proyecto puede tener gran alcance en el mercado (véase la Tabla 1).

Tabla 1. Tabla comparativa de páginas web de acuerdo con las Métricas de Usabilidad en la web (la equis indica las características de cada página).

Requerimientos	Vivanuncios	Segundamano	Inmuebles24	BuildingRent
1. Usabilidad				
Comprensibilidad Global del sitio	X	X	X	X
Indicador de última actualización		X	X	X
Facilidad FAQ				X
Cohesividad al agrupar los objetos de control principales	X		X	X
Aspectos de Estilo agradable			X	X
Uniformidad en el color de enlaces	X	X	X	X
Uniformidad en el estilo global	X		X	X
2. Funcionalidad				
Navegabilidad	X	X	X	X
Orientación		X	X	X
Etiqueta de posición actual	X	X	X	X
Enlace contexto explicatorio	X	X		X
3. Confiabilidad				
No deficiencia	X	X	X	X
Errores de enlaces				
Enlaces rotos				
Enlaces inválidos				
Enlaces no implementados				
Nodos Web Muertos (sin enlaces de retorno)				
4. Eficiencia				
Páginas de acceso rápido		X		X
Accesibilidad	X	X	X	X
Legibilidad Global	X	X	X	X
Accesibilidad de Ventanas	X	X	X	X

Metodología

Basados en la metodología UWE realizamos el desarrollo de nuestra aplicación web, la cual cumple con los requerimientos establecidos para el óptimo desarrollo de esta. Lo primero a realizar fue las historias de usuario en ellas se identificó los requerimientos funcionales, no funcionales y de navegación (véase la Fig. 4).



Figura 4. Mapa de Identificación de Requisitos.

Con referente a las interacciones de cada usuario en nuestra aplicación se muestra un diagrama de casos de uso general (véase la Fig. 5). Se ilustra la actividad que realiza cada usuario, en caso de un arrendador va desde inicio de sesión, visualizar catálogo y generar cita, por otro lado, el arrendatario inicia sesión, registra un inmueble y espera a que se publique en el catálogo.

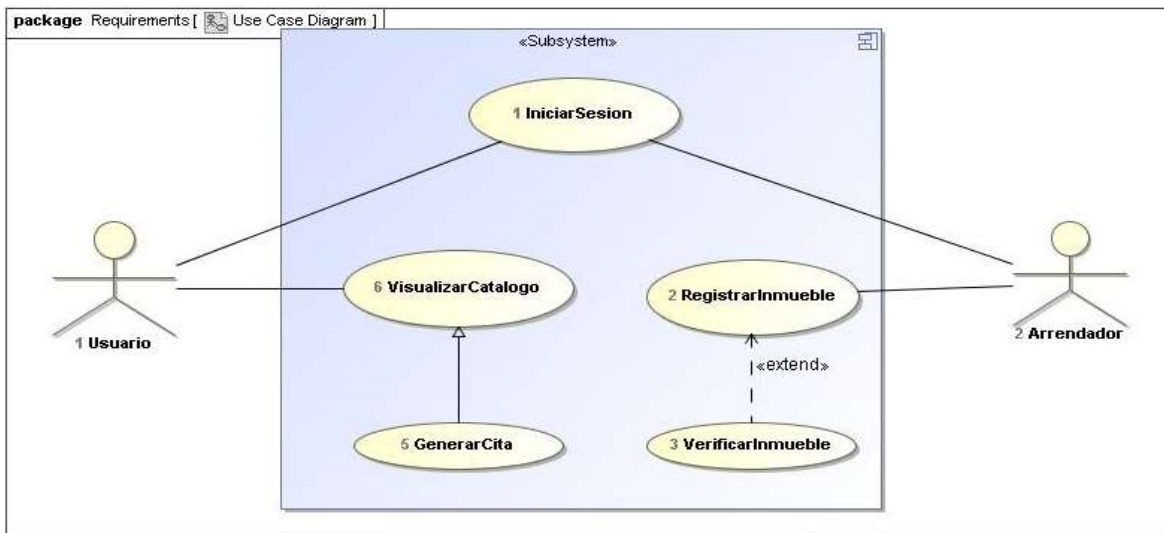


Figura 5. Diagrama de Casos de Usos General.

Una vez realizada la identificación de los distintos tipos de requerimientos se obtuvo la pauta para poder dar una priorización a cada historia de usuario y así lograr su implementación en la aplicación. El siguiente paso que se efectuó una vez realizada dicha actividad, fue darnos a la tarea de dividir nuevamente las historias de usuario en un total de 3 iteraciones, pero esta vez tomando en cuenta los requerimientos y la prioridad en la aplicación. En cada una de ellas se estableció un periodo de tiempo en la planeación previa, todos estos pasos fueron en base a los dictámenes establecidos por la metodología de UWE.

Modelo navegacional

A continuación, se muestra cómo es que los elementos de navegación de BuildingRent se enlazan y están relacionados internamente (véase la Fig. 6). La navegación se muestra con enlaces que van

de una página a otra, como un mapa de sitio, contiene símbolos que indican si contienen menú, índice, vista guiada, pregunta, entre otros.

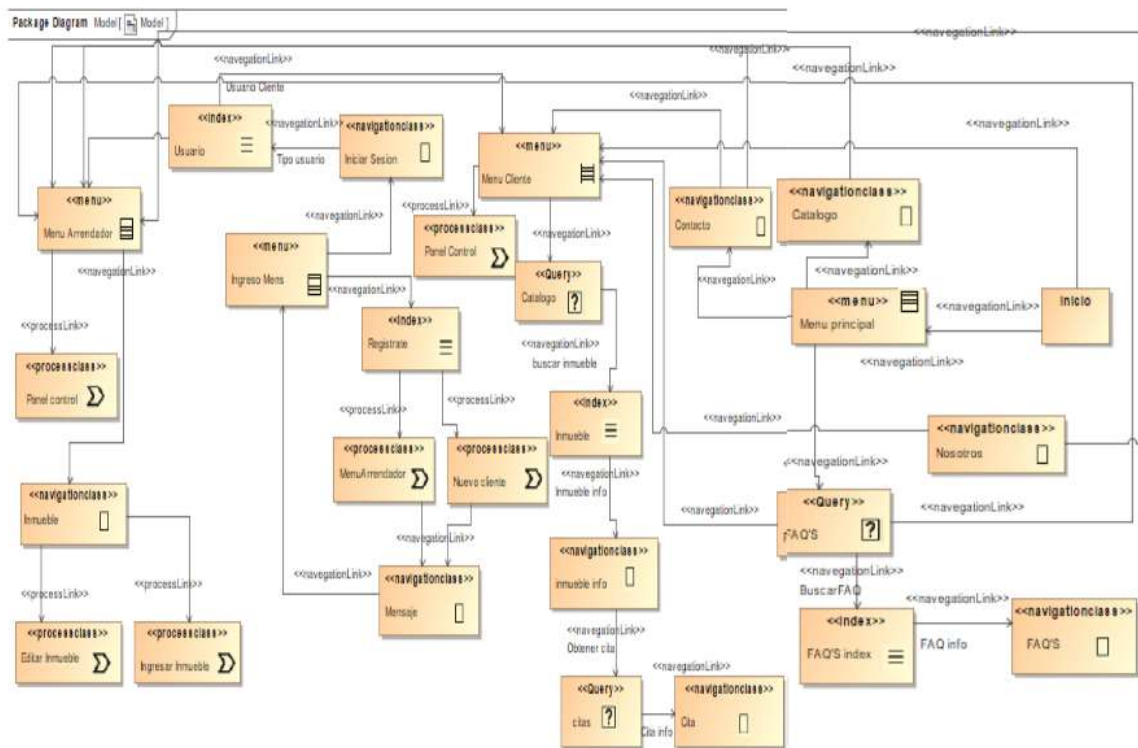


Figura 6. Modelo de Navegación.

RESULTADOS

En función a la información recopilada, a través de la aplicación de una encuesta con preguntas abiertas y cerradas a alumnos de distintas carreras de la BUAP, tanto a estudiantes foráneos como a residentes de la ciudad de Puebla, se obtuvo información acerca del funcionamiento e interacción en nuestra página web, así mismo sobre su situación económica durante la contingencia que se vive hoy en día, la evolución de su situación y las repercusiones que tendrá a su regreso a las actividades presenciales. De este modo se obtuvieron diversos resultados, en su mayor parte positivos sumado a datos más concisos sobre la situación que se espera después de la pandemia [11].

La encuesta está conformada de un total de 14 preguntas realizadas a una muestra de 11 estudiantes de la BUAP, los cuales 7 son foráneos y 4 viven en los límites de la capital; los resultados más destacados que podemos encontrar son en su mayor parte que la aplicación es útil, posee con una interfaz amigable y también que el apartado de citas lo consideran una herramienta muy eficiente para el bienestar de los usuarios debido a la pandemia.

Se realizaron preguntas acerca de la situación económica actual de los estudiantes durante la contingencia para identificar factores importantes a considerar en el regreso a la nueva normalidad con relación a la renta de inmuebles. Se observó que al 63.6% de los encuestados ha empeorado considerablemente durante la pandemia (véase la Fig. 7), el 81.8% de los encuestados consideran que su situación económica influirá totalmente es sus necesidades básicas en el regreso a las actividades presenciales (véase la Fig. 8), mientras que el 45.5% indico que su toma de decisión en la renta de inmuebles se basara en gran parte por el precio, ubicación y bienestar del lugar, cabe mencionar que una gran parte de los encuestados considera que el precio es importante de igual manera que los tres aspectos mencionados anteriormente (véase la Fig. 9).

Un aspecto que resaltar es que hoy en día al 72.7% de los alumnos le están tomando una mayor importancia a las medidas de prevención de contagios, una disyuntiva que en años anteriores no sería un aspecto muy marcado por los usuarios (véase la Fig. 10).

Mencionando los obstáculos mostrados al inicio del artículo, podemos destacar que se le dio solución en gran parte gracias a que nuestra página web contiene información actualizada, ofrece a los usuarios una comprensión global del sitio, la visualización de la interfaz es agradable, no cuenta con enlaces rotos, provee mayor seguridad y confianza a los usuarios (véase la Fig. 11).

El 72.7% de los usuarios opinan que el registro es muy fácil de realizar (véase la Fig. 12), un acumulado del 81.8% de los usuarios indican que el catálogo de inmuebles es comprensible e intuitivo (véase la Fig. 13).

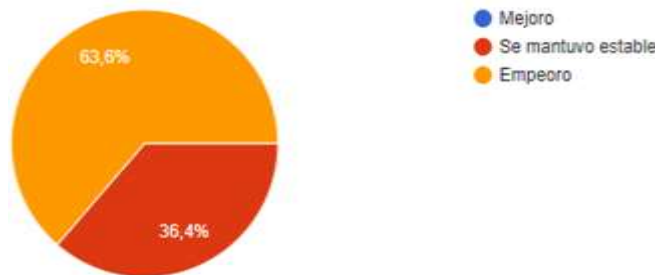


Figura 7. Resultados de la pregunta: ¿Cómo ha cambiado tu situación económica durante la pandemia?

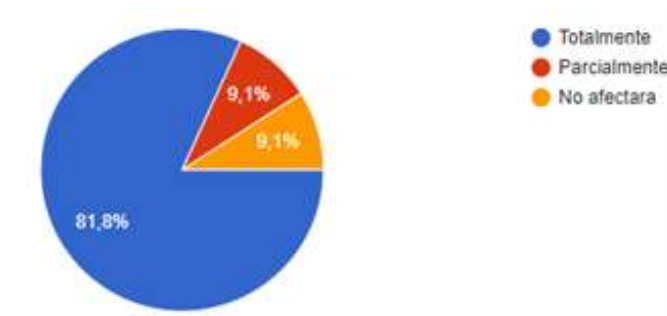


Figura 8. Resultados de la pregunta: ¿Consideras que tu situación económica después de la pandemia influirá en tus necesidades como comida, vivienda y material escolar?

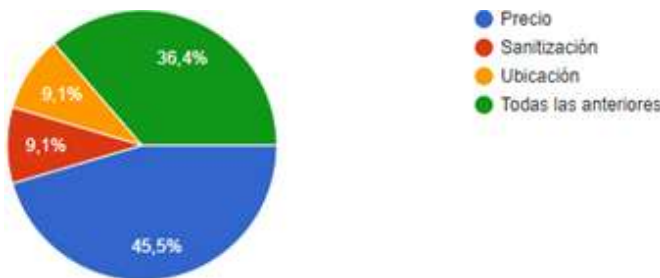


Figura 9. Resultados de la pregunta: ¿Cuál consideras que sería el aspecto más importante en tu decisión de rentar un inmueble en esta nueva normalidad?

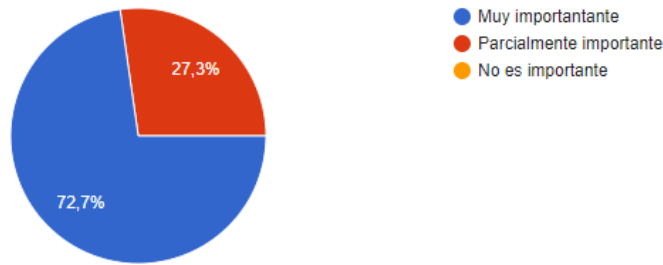


Figura 10. Resultados de la pregunta: ¿Qué tan importante es para ti que Los arrendadores apliquen medidas para prevenir contagios de coronavirus?

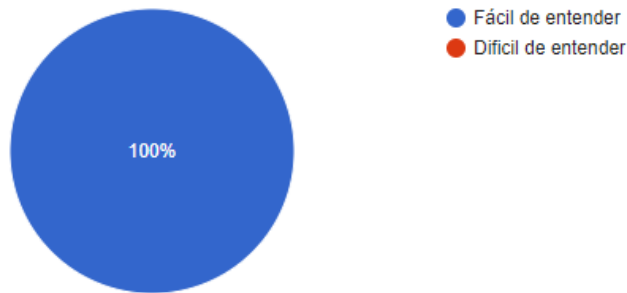


Figura 11. Resultados de la pregunta: ¿La interfaz fue?

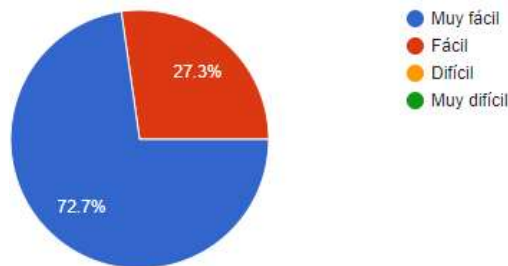


Figura 12. Resultados de la pregunta: ¿El registro lo consideras?

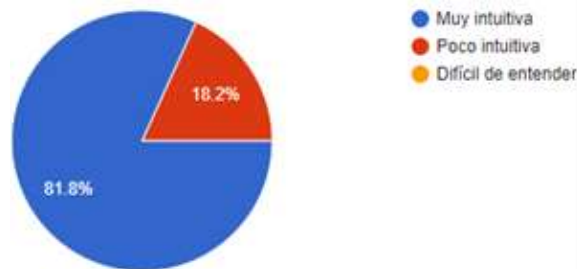


Figura 13. Resultados de la pregunta: ¿Cuál de las siguientes opciones relacionarías con el Catálogo de inmuebles?

CONCLUSIONES

El estado de contingencia en el que nos encontramos actualmente por la pandemia nos ha puesto frente a un reto tanto económico como social. Tras analizar la evidencia recabada de la plataforma

en su etapa prototipo, a una determinada cantidad de estudiantes de la BUAP, entre foráneos y residentes, sobresalen primordialmente las características de facilidad, usabilidad y confiabilidad del producto; concluyendo que se satisface la resolución de la problemática principal de este proyecto. Así mismo se observa que para nuestros usuarios las medidas de contingencia son parte importante en la elección de alquilar un bien inmueble, sin dejar a un lado el factor económico que es también un medio de determinación en la generación de un contrato.

Finalmente, nuestra aplicación fungirá como un intermediario entre los arrendadores y arrendatarios, brindando una mayor seguridad para los usuarios y co-ayudando a la prevención de contagios; de igual modo nuestra plataforma es considerada por los usuarios como una solución más eficaz para la promoción de inmuebles de menor publicidad, siendo una gran herramienta que aportará a la reactivación económica del estado.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Evans, "Perspectiva on the development of high-toughness ceramics", J. Am. Ceram. Soc., Vol. 73, 2, 1990, pp. 187-206.
2. T. Kreis, "Speckle Metrology," in Holographic Interferometry (Akademie Verlag Inc., New York, NY, 1996), Chapter 4, pp. 125-149.
3. De Pina, R. (2018). *Arrendamiento*. Mexico | Enciclopedia Jurídica Online. Recuperado el 8 de Junio de 2019 de <https://mexico.leyderecho.org/arrendamiento/>.
4. Ludwing, M. (2016, 18 Junio). *UWE*. UWE – UML-based Web Engineering. Recuperado el 10 de junio de 2019. <https://uwe.pst.ifi.lmu.de/>.
5. UNIÓN. (2018, 13 Marzo). *Registra Puebla récord de turismo en 2017*. EL UNIVERSAL UNIÓN. Recuperado el 8 de Junio de 2019 de <https://www.unionpuebla.mx/articulo/2018/03/13/turismo/registra-puebla-record-de-turismo-en-2017?fbclid=IwAR25SLy-pCE4Eu9GZekvo3M-jh-Y4Dm36iil30bkIPibCLBZcx8R5ax87msU>.
6. Zambrano, J. (2018, 29 Noviembre). *Alcanza Puebla cifra de 70 mil estudiantes foráneos*. MILENIO. Recuperado el 22 de Julio de 2021 de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/alcanza-puebla-cifra-70-mil-estudiantes-foraneos>.
7. López, V. (2021, 23 Febrero). *Alquiler de vivienda para estudiantes cayó 98% por pandemia*. MILENIO. Recuperado el 24 de Juio de 2021 de <https://www.milenio.com/politica/comunidad/alquiler-vivienda-estudiantes-cayo-98-pandemia-puebla>.
8. Vivanuncios, «*Vivanuncios: #1 en Bienes raíces en México | Anuncios clasificados*» [En línea]. Available: <https://www.vivanuncios.com.mx/>. [Último acceso: 29 enero 2019].
9. Segundamano.mx, «*Compra y venta, anuncios clasificados de segundamano gratis*» [En línea]. Available: <https://www.segundamano.mx/>. [Último acceso: 29 enero 2019].
10. Inmuebles24, «*Encuentra tu hogar. Inmuebles24*» [En línea]. Available: <https://www.inmuebles24.com/>. [Último acceso: 29 enero 2019].
11. S. J. Flores. (2021, 28 Julio). Respuestas encuesta sobre experiencia con la plataforma web BuildingRent para la reactivación económica post pandemia. Recuperado el 28 de Julio de <https://docs.google.com/forms/u/3/d/e/1FAIpQLScfhBd0zeqUTuuAAxFHIP4NJ1345L8cRh1ccouxSMvY46Ecuw/viewanalytics>.

DE FUENTES NO CONVENCIONALES A MATERIALES FUNCIONALES: SÍNTESIS DE ZEOLITAS TIPO LTA MEDIANTE TRATAMIENTO HIDROTHERMAL Y REACTIVO FUSIÓN.

P. Rodríguez-Santos^{1,2}, M. Cruz-Leal², R. Reséndiz-Badillo³, E. Coutino-Gonzalez^{2,*}.

¹Universidad Iberoamericana-León, ²Centro de Investigaciones en Óptica A.C., ³Universidad Tecnológica de San Juan del Río.
geraldine_0628@hotmail.com

RESUMEN

Este proyecto destaca la importancia de promover la valorización de residuos sólidos como materia prima útil para la producción de zeolitas sintéticas, con miras a sustituir materiales vírgenes y brindar valor agregado a desechos industriales.

Efectuar la síntesis de estos materiales con el uso de fuentes no convencionales resulta el inicio de una nueva generación de zeolitas que presentan propiedades fisicoquímicas superiores o igual a sus contrapartes industriales. La síntesis planteada muestra una nueva y revolucionaria forma de síntesis bajo los principios de química verde, con lo que se busca incentivar la protección y cuidado del medio ambiente y la salud pública.

INTRODUCCIÓN

Problemas ambientales como el cambio climático, la contaminación de aire y de los recursos hídricos, la erosión, la deforestación, el declive de la biodiversidad, entre otros, han avanzado de forma progresiva en los últimos años afectando la calidad de vida de los habitantes del planeta y la integridad de su patrimonio natural, lo cual nos ha llevado a la necesidad de promover acciones tendientes a preservar el medio ambiente. Gran parte de los problemas anteriormente mencionados son generados por procesos químicos, el uso indiscriminado de recursos naturales y el manejo inadecuado de residuos industriales, agrícolas y domésticos. Por consiguiente, ha surgido un conjunto de acciones encaminadas a reducir el deterioro ambiental, dentro de las cuales se considera la denominada "química verde". (1) Tal y como lo plantea el concepto de química verde, este proyecto contempla el diseño de productos, en este caso zeolitas sintéticas, mediante procesos que reduzcan la generación de sustancias peligrosas, maximicen la eficiencia en la implementación de recursos materiales y energéticos, así como la valorización de residuos. Todo esto con la intención de permitir a las empresas químicas mitigar los efectos ambientales asociados a su actividad, reduciendo el consumo de materiales e incrementando la participación de recursos renovables. Recientemente, se ha demostrado que la química verde puede utilizar materiales compatibles con el entorno, desarrollando procesos innovadores que reduzcan y/o eliminen la generación de sustancias peligrosas, residuos y tóxicos persistentes provenientes de diversas actividades industriales.

En este sentido, en este proyecto se ha diseñado una ruta de síntesis de zeolitas sintéticas, que contemplan los principios de química verde antes mencionados y además plantea su aplicación en áreas que promueven la remediación y cuidado ambiental, por ejemplo, purificación de biogás o adsorción de CO₂.

TEORÍA

Las zeolitas comprenden un grupo de aluminosilicatos cristalinos, con cationes alcalinos y alcalino-térreos con una orden tridimensional en donde predomina una estructura abierta que les aporta gran capacidad para incorporar y ceder cationes sin cambios importantes en su estructura cristalina. Constituyen el grupo mineral más variado y extenso de los que forman la corteza terrestre.

Una de las principales diferencias entre las zeolitas originadas de manera natural y las zeolitas sintéticas es que éstas son sintetizadas a partir de reactivos químicos consumiendo energía, mientras que las naturales se originan a partir de la deposición de cuerpos minerales de origen volcánico en lagos cuyas aguas tuvieran contenido alcalino. Otra diferencia importante es que las zeolitas sintéticas se descomponen en un medio ligeramente ácido, mientras que las zeolitas naturales tienen más resistencia a medios ácidos. (2). además, las zeolitas sintéticas tienen una alta pureza y un tamaño de poro más uniforme en comparación con las naturales.

Para la síntesis de zeolitas sintéticas se requieren precursores ricos en aluminio y silicio, la clasificación de estas zeolitas, está en función del contenido de estos elementos, encontrándose las

de relación baja ($Si/Al \approx 1$), relación intermedia ($Si/Al = 2 - 5$) y relación alta (Si/Al mayor o igual a 10). Estas pueden obtenerse a partir de disoluciones que contengan silicatos de sodio y aluminatos, con alto pH. Dichas soluciones se logran utilizando hidróxidos alcalinos, una base orgánica o ambas. El proceso de síntesis comienza con una copolimerización de los iones silicato y aluminato que dan lugar a un gel, el cual se calienta inmediatamente en un recipiente cerrado hasta alcanzar una temperatura de entre $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de dos días. Este proceso da lugar a la formación de una zeolita condensada. Condiciones como el pH de la disolución, temperatura, agitación y el tiempo que se haya mantenido la disolución en el recipiente, pueden modificar las características del producto obtenido. Otro factor importante a considerar la ruta de síntesis es que, al utilizar una base orgánica, se obtendrán zeolitas rica en silicio (alta relación Si/Al). (2)

Un ejemplo de zeolita sintética es la zeolita A (Linde Type A, código estructural de IZA: LTA) que es una de las más utilizadas en las aplicaciones de adsorción, de separación y de intercambio iónico. La zeolita LTA posee un sistema de poros tridimensionales que contiene cajas esféricas de gran tamaño (caja α : diámetro $\sim 11,4\text{ \AA}$). A estas cavidades se accede por 6 pequeñas ventanas de anillos de 8 miembros con un diámetro de $4,1\text{ \AA}$, dicha estructura puede observarse en la ilustración 1. (3)

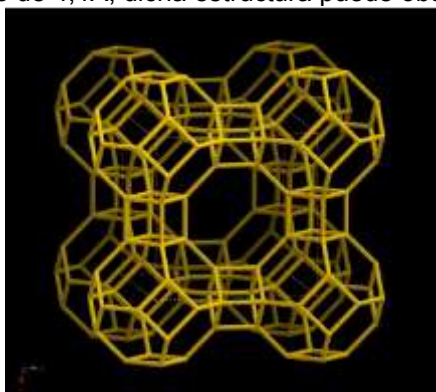


Ilustración 1: estructura de una zeolita tipo LTA.

PARTE EXPERIMENTAL

Para realizar síntesis de zeolitas tipo LTA a partir de fuentes no convencionales se inició triturando la materia prima que para este caso se empleó caolinita, chabasita y clinoptilolita en un polvo muy fino para posteriormente calcinarlos con la finalidad de eliminar cualquier tipo de materia orgánica presente en estos precursores.

Una vez que los materiales culminaron con el tratamiento térmico y se encontraban fríos se procedió a la fase de reactivo fusión, en donde primeramente fue necesario establecer la relación en gramos de materia prima con respecto a una fuente de cationes, para esta síntesis se utilizó hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de litio (Li), hidróxido de estroncio ($\text{Sr}(\text{OH})_2$), hidróxido de calcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), hidróxido de magnesio ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) e hidróxido de potasio (KOH). Posteriormente, tras haber pesado los precursores junto con la fuente de cationes, los reactivos fueron triturados en mortero para lograr una mezcla homogénea. Una vez que dichos reactivos se encontraban perfectamente mezclados fueron llevados al horno para realizar nuevamente un tratamiento térmico. Una vez concluida con la fase de reactivo fusión, la muestra fue colocada en agitación vigorosa con agua desionizada para proceder con la síntesis hidrotermal, la cual, consiste en depositar en medio acuoso los precursores para someterlos a temperaturas de $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo determinado.

Una vez transcurrido el tiempo de cristalización hidrotermal, las muestras fueron secadas y se trasvasaron a tubos falcon en donde se añadió más agua desionizada para realizar un lavado, utilizando una centrifuga. Una vez concluidos los lavados las muestras fueron extraídas de los tubos y se depositaron en crisoles para proceder con su secado y almacenaje en viales (ver ilustración 2 y 3).

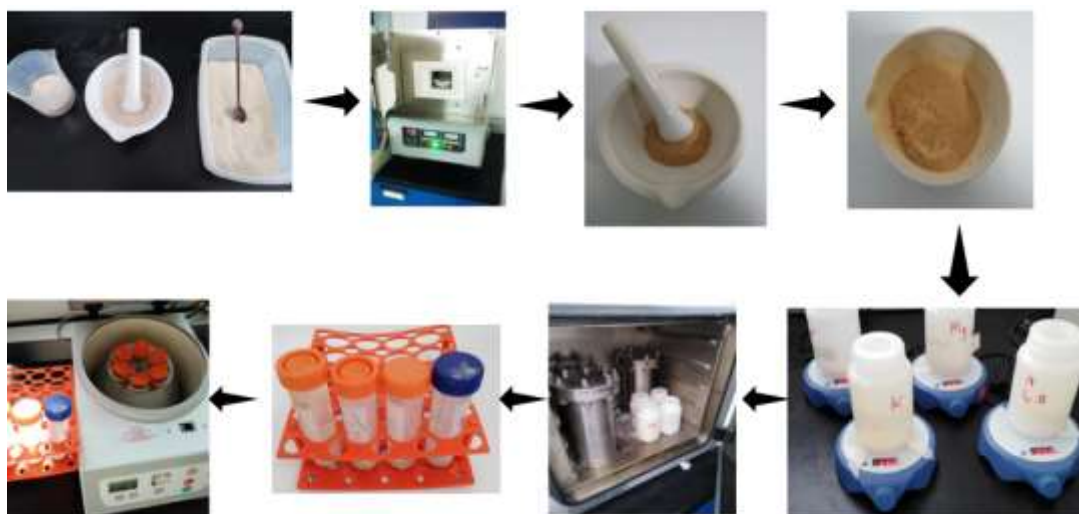


Ilustración 2: Ilustración gráfica de la metodología de síntesis de zeolitas sintéticas.



Ilustración 3: Etapa final de la experimentación, producto obtenido triturado y almacenado en viales.

RESULTADOS

Los materiales obtenidos fueron caracterizados a través de microscopía electrónica de barrido, (SEM marca JEOL modelo JSM7800F) para conocer su morfología y dimensiones, además mediante EDS se realizó el estudio de su composición. Adicionalmente, la cristalinidad del material fue analizada utilizando difracción de Rayos X (marca Bruker, modelo: D2 PHASER)

Los resultados de SEM (Ilustración 4) para la muestra sintetizada con la relación chabacita + NaOH (1:1.5) + NaAlO₂ [Relación 60%/40%] (ensayo b10) arrojaron una morfología aparentemente semi-cúbica, sugiriendo la formación de zeolita LTA. Los resultados obtenidos en el análisis elemental (EDS) indican que la muestra posee 62.13% atómico de O, 10.70% de Si, 12.19 de Al y 13.74 de Na, con una relación Si/Al de 0.844, otro indicador de la formación de LTA.

Por otra parte, los difractogramas para esta muestra indican una alta cristalinidad y picos definidos atribuidos a esta misma zeolita [PDF 980024901], además fue posible identificar picos similares a los del compuesto NaAlO₂. Cabe destacar, que a menores concentraciones de NaAlO₂ aparecen picos característicos de zeolita FAUX y FAUY.

Un comportamiento similar se aprecia en las muestras sintetizadas con los precursores de chabasita y caolinita en cuyo caso son evidentes a partir de las relaciones 60%/40% y 70%/30%.

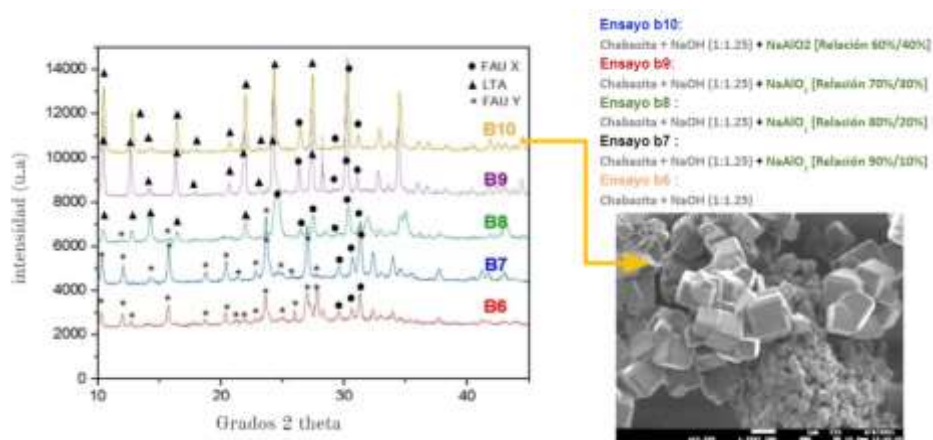


Ilustración 4: Resultados de DRX y SEM para la muestra chabasita + NaOH (1:1.5) + NaAlO₂.

Para el caso particular de la fuente de catión de LiOH, las estructuras obtenidas son de naturaleza cristalina debido a que el empaquetamiento molecular exhibe un patrón de repetición, en los patrones de difracción de rayos X fueron identificados los siguientes compuestos: óxido de litio, aluminato de litio, óxido de silicio y aluminato de sodio, lo que indica que la síntesis no se llevó a cabo en su totalidad.

En el caso del hidróxido de calcio (Ca(OH)₂) e hidróxido de magnesio (Mg(OH)₂), se observaron compuestos cristalinos cuando se utilizaron los precursores caolinita y chabasita. En cuanto a su morfología, para (Ca(OH)₂) se observaron cúmulos con poros en la superficie del material y para (Mg(OH)₂), se apreciaron morfologías tipo placas (Ilustración 5).

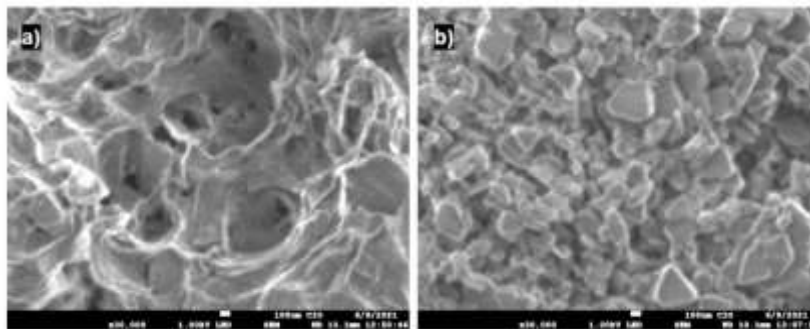


Ilustración 5 Micrografías de las muestras a) chabasita + (Ca(OH)₂) relación (1:1.5) y b) chabasita + (Mg(OH)₂) relación (1:1.5)

CONCLUSIONES

De los distintos precursores empleados, los resultados obtenidos de chabasita + NaOH + NaAlO₂ destaca la formación de estructuras cubicas muy definidas, morfología característica de LTA y FAUX. Además, se obtuvieron en su mayoría zeolitas de relación baja (Si/Al ≈ 1). A partir de estos resultados se concluye que los materiales sintetizados cumplen con los estándares básicos requeridos para una posible aplicación en el ámbito de purificación de biogás y absorción de CO₂.

Gracias a las propiedades observadas en los materiales tras haber realizado su caracterización, dentro de las perspectivas de aplicación que se tiene para estos materiales sintetizados se encuentra la formación de clústeres metálicos confinados dentro de zeolitas, ésta característica de los materiales ha demostrado propiedades altamente luminiscentes sumamente atractivas, lo cual, los convierte en la materia prima adecuada para la elaboración de fósforos para ser empleados en diodos emisores de luz (LEDs), lámparas fluorescentes y OLEDs híbridos.

Publicaciones que podemos encontrar hoy en día afirman que, dependiendo de la morfología de la zeolita, la presencia de iones específicos y la aplicación de un tratamiento térmico, es posible la síntesis de materiales altamente luminiscentes basados en el confinamiento de clústeres metálicos en zeolitas que presenten propiedades espectrales que van del azul al rojo.

Actualmente, no se ha desarrollado algún prototipo comercial, sin embargo, los avances en el campo de las zeolitas fusionadas con metales luminiscentes acompañado de los recientes avances tecnológicos en la optoelectrónica, podría acelerar la elaboración de estos dispositivos.

Gracias a esta ruta de síntesis y a los materiales descritos en este estudio, el futuro cercano podría ser testigo de la primera generación de dispositivos emisores de luz que utilicen fósforos de zeolitas, brindando una necesaria innovación en cuanto al reemplazo de fósforos convencionales en dispositivos emisores de luz.

REFERENCIAS

1. Nueva UM, Colombia G, Castro P, Olivero Verbel P, Tadeo J. *Química verde: un nuevo reto*. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 2011;21(2):169–82. Available from: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91123440009>
2. Cortés AC. *La importancia de las zeolitas* [Internet]. Available from: <http://www.bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volu->
3. Liu S, Valencia S, Joaquín V, Triguero M. *Síntesis de zeolitas de estructura LTA con distinta relación Si/Al y su aplicación como catalizadores en la reacción de metanol a olefinas (MTO)*. UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA INSTITUTO DE TECNOLOGÍA QUÍMICA.

CARACTERIZACIÓN DE LA BIOMELANINA: UNA BIOMOLÉCULA CON POTENCIALES APLICACIONES OPTOELECTRÓNICAS

Luis Angel Alarcón Barajas¹, Eden Morales Narvaez², Eduardo de Jesús Coutiño Gonzalez³

Centro de investigaciones en Óptica A.C.
luisangelab@cio.mx

RESUMEN

El aumento del uso de dispositivos electrónicos en la vida moderna ha derivado que su producción y los residuos que generan causen problemas de almacenamiento y contaminación en un futuro cercano. Por ello, actualmente, existe un auge en la investigación y desarrollo de biomateriales que sean una solución verde y factible con un igual o mejor desempeño que los materiales actuales con los que se desarrollan dichas tecnologías. Uno de los biomateriales a considerar es la melanina, conocida como la molécula que brinda color y protección a la piel ante la radiación solar, gracias a características tales como su maleabilidad, un amplio espectro de absorción, desde la luz ultravioleta llegando hasta los rayos X, ser un buen semiconductor amorfo que al estar en contacto con la luz solar presenta mayor conductividad y, además, su actividad re-dox lo hace un candidato potencial para su uso en sistemas de almacenamiento y obtención de energía. En el presente trabajo se caracterizaron dos muestras de melanina (líquida y en polvo cada una) con diferente concentración de hidróxido de sodio (NaOH), producida por la empresa Evogenia S.A. de C.V., las cuales fueron sometidas a tres métodos de espectroscopía (Raman, UV-Vis y FTIR), esto con el fin de conocer la pureza de la muestra, las características de los enlaces y, además, comparar estos espectros con los de otras melaninas. En la espectroscopia FTIR se mostró la facilidad de las muestras en formar enlaces por la presencia del grupo funcional O-H y que en las sólidas es más fácil obtener mediciones claras que en las líquidas ya que al diluirse en NaOH, se enmascaran los espectros. En UV-Vis, las muestras presentan una absorbancia de 1, pero con el tiempo hay un descenso considerable, esto es de tomar en cuenta, ya que se determina que, aunque las muestras presentan la misma concentración, una es un mejor filtro UV, siendo que es la que tiene mayor absorción hasta llegar aproximadamente a los 800 nm, donde las muestras decaen al 0. En lo que respecta a Raman, mostraron una conducta similar a los espectros de la melanina comercial, por consiguiente, el método de síntesis de esta muestra es viable, sin embargo, la molécula reacciona de mayor manera a la luz azul, demostrando su excelente absorción a la luz cercana al UV. Dado lo anterior, se demuestra su viabilidad en comparación con muestras comerciales y de otras encontradas en la literatura, igualmente podemos determinar posibles aplicaciones para dichas muestras, desde las actuales en productos estéticos como en medicina y en energía con el desarrollo de supercapacitores o celdas solares.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realizó una investigación para conocer las propiedades y características que tiene la biomolécula de la biomelanina, las cuales se pueden desarrollar en el ámbito de la optoelectrónica. El estudio de este tipo de materiales es de gran importancia para tecnologías que utilicen materiales orgánicos y amigables con el medio ambiente, siendo que tiene unas características interesantes, tales como su gran actividad re-dox, por consiguiente, su conductividad y la considerada para este trabajo; su amplio rango de absorción de radiación, el cual es impresionante en biomoléculas. Asimismo, también se abordan las técnicas de espectroscopia Raman, UV-VIS y FTIR, las que se usarán para determinar las propiedades de absorbancia y los componentes de las muestras.

En los resultados se muestran los espectros de las muestras de melanina en los tres métodos especificados, así como la explicación de las mediciones obtenidas.

TEORÍA

Melanina

Es el pigmento que da el color y brinda protección contra el efecto dañino de los rayos ultravioleta (UV) de la luz solar a la piel. Esta dispersa en los reinos animal y vegetal. Existen tres formas

reconocidas en las que se presenta el pigmento, pero para la realización del proyecto se utilizará la Eumelanina, la cual para simplificar denominaremos solo como biomelanina a partir de aquí. Esta biomolécula es un polímero oxidativo de tirosina, heterogéneo y compuesto por bloques de construcción de 5,6-dihidroxiindol (DHI) y ácido 5,6-dihidroxiindol carboxílico (DHICA), que coexisten en diferentes estados redox (R. Xu et al., 2019).

La biomelanina es una molécula muy versátil, con características tales como un amplio rango de absorción de radiación electromagnética que va desde la luz visible, pasando por la luz UV y llegando hasta los llamados rayos x (Morelos & Lagarda, 2007). También se ha reportado que tiene la capacidad de unir átomos de diferentes metales y también puede conducir electricidad siendo considerado como un semiconductor. También puede manipularse para formar películas delgadas realmente uniformes y adherentes, que es un requisito previo para aplicaciones en dispositivos electrónicos (Vahidzadeh et al., 2018); Aportan resistencia mecánica y pueden proteger a las proteínas de la degradación (Abdel-Naser et al., 2017). De igual manera, en la biomelanina, los restos hidroxilo, carboxilo, amina, quinona y semiquinona sirven como sitios potenciales para la acomodación de cationes metálicos, esto hace sinergia entre la actividad redox y la capacidad para unir cationes de forma reversible y constituye la base para el uso de la biomelanina en sistemas de almacenamiento de energía pseudocapacitivos (Kumar et al., 2016).

Debido a las características antes mencionadas y su bajo costo, la aplicación de biomelanina en dispositivos fotovoltaicos ha llamado la atención en los campos optoelectrónicos. También su estabilidad en agua, adhesión y conductividad electrónica iónica, lo convirtieron en un candidato para su uso como material de los dispositivos electrónicos como los diodos orgánicos de emisión de luz (OLED's). (Migliaccio y col. 2017).

Espectroscopia

La espectroscopia es una técnica de análisis que se basa en la absorción de radiación por parte de las moléculas (Liceo AGB, 2010). Se originó como el estudio de la interacción entre radiación y materia en función de la longitud de onda. Actualmente comprende el uso de los efectos de absorción, emisión o dispersión de radiación electromagnética hacia el material (Otero, 2016). La luz y radiación forman parte del Espectro Electromagnético. Este espectro se ha dividido en diferentes regiones, pero que no tienen fronteras rígidas entre regiones adyacentes. Se utilizan dos parámetros comunes para referirse a este: frecuencia y longitud de onda (Fontal, 2017). Las moléculas orgánicas absorben la radiación electromagnética en paquetes discretos de energía, o cuantos La absorción de energía provoca algún tipo de "movimiento" electrónico o mecánico en la molécula, proceso que se denomina excitación (Liceo AGB, 2010). Cuando la radiación continua pasa a través de un material transparente, una parte de la radiación puede ser absorbida. Si eso ocurre, la radiación residual, cuando pasa a través de un prisma, produce un espectro con huecos, llamado espectro de absorción (Pavia, Lampman, Kriz, & Vyvyan, 2013).

Espectroscopía Raman.

Es una técnica fotónica de alta resolución que proporciona en pocos segundos información química y estructural de casi cualquier material, permitiendo así su identificación. La radiación incidente interactúa con la materia y polariza los orbitales de las moléculas o átomos de la muestra, esta radiación crea un nuevo estado llamado estado virtual. Como este nivel de energía no es estable, se re-emite un fotón rápidamente.

En este proceso se presentan dos tipos de esparcimiento, esparcimiento elástico conocida como esparcimiento Rayleigh y esparcimiento inelástico conocido como esparcimiento Raman (Villanueva-Luna, 2013). En el esparcimiento Rayleigh la energía entra y al salir no se produce alteración alguna, el electrón excitado regresa al mismo orbital donde pertenecía. Sin embargo, en el esparcimiento Raman, el electrón permanecerá excitado, en un nivel superior al que pertenecía antes de ser excitado. En este caso, el proceso de esparcimiento induce movimiento molecular y, consecuentemente, se puede presentar un intercambio de energía de fotón a molécula o átomo y viceversa.

El análisis mediante espectroscopia Raman se basa en hacer incidir un haz de luz monocromática sobre una muestra cuyas características moleculares se desean determinar, y examinar la luz esparcida por dicha muestra. La mayor parte de la luz esparcida presenta la misma frecuencia que la luz incidente, pero una fracción muy pequeña presenta un cambio en frecuencia, resultado de la interacción de la luz con la materia (Villanueva-Luna, 2013). Esta técnica no es destructiva, ocupa

cantidades mínimas de las muestras y es sensible en los pequeños cambios que esta puede tener, sin embargo, los factores ambientales pueden estorbar en los resultados.

Espectroscopia UV-VIS

La espectrofotometría UV-visible es una técnica analítica que permite determinar la concentración de un compuesto en solución. Se basa en que las moléculas absorben las radiaciones electromagnéticas y a su vez que la cantidad de luz absorbida depende de forma lineal de la concentración. Para hacer este tipo de medidas se emplea un espectrofotómetro, en el que se puede seleccionar la longitud de onda de la luz que pasa por una solución y medir la cantidad de luz absorbida por la misma. Para que la radiación electromagnética incidente, interaccione con la materia tiene que tener una longitud de onda del mismo tamaño o menor que las dimensiones del cuerpo irradiado. Esta técnica nos permite obtener información de las transiciones electrónicas de las moléculas y su efecto sobre la materia.

Este método es posible gracias a la ley de Lambert-beer, el resumen de dos leyes que nos permiten relacionar la fracción de radiación absorbida con la concentración del analito y el espesor del medio. Se cumple para cualquier proceso de absorción en cualquier zona del espectro y se basa en que cada unidad de longitud a través de la cual pasa la radiación absorbe la misma fracción de radiación.

La medición con este método nos permite obtener información química de los cambios de energía en los fotoelectrones presentes en la muestra, tiene efectos de carga mínimos y es un procedimiento rápido, sin embargo, la información obtenida es información de superficie de la muestra.

Espectroscopia FTIR

La espectroscopia vibracional fue una de las primeras técnicas espectroscópicas que tuvo un uso extendido, en particular la espectroscopia infrarroja (IR) que recibe su nombre de la región del espectro electromagnético implicada. La región IR del espectro electromagnético se encuentra entre 12800 y los 10 cm^{-1} . Tanto desde el punto de vista de las aplicaciones como de los aparatos, se puede dividir en tres zonas: IR cercano (NIR): 12800-4000 cm^{-1} , IR medio: 4000-400 cm^{-1} ; IR lejano: 400-10 cm^{-1} .

La espectrometría IR es bastante útil para determinaciones cualitativas de compuestos orgánicos y para deducir estructuras moleculares a partir de sus grupos funcionales tanto de compuestos orgánicos como inorgánicos. En el análisis cualitativo la espectroscopia IR puede usarse para la identificación de sustancias puras o para la absorción, localización e identificación de impurezas. Para localizar un cambio en una muestra se hace una comparación en el espectro de las sustancias, una en la que se estudia y otra en la muestra de la sustancia pura. Las variaciones causan bandas de absorción adicionales que aparecen en el espectro.

Las moléculas se excitan a un estado de mayor energía cuando absorben la radiación IR. La absorción de la radiación infrarroja es un proceso cuantificado. Una molécula absorbe solo frecuencias seleccionadas de radiación infrarroja. La radiación en este rango de energía corresponde al rango que abarca las frecuencias vibratorias de estiramiento y flexión de los enlaces en la mayoría de las moléculas covalentes (Pavia et al., 2013). En este caso esta alteración guarda relación con cambios en el estado vibracional de las moléculas (Serrano, 2009). El espectro vibracional de una molécula se considera una propiedad física única y característica de una molécula. Así, entre otras aplicaciones, el espectro IR se puede usar como "huella dactilar" para identificar muestras desconocidas mediante la comparación con espectros de referencia (Serrano, 2009).

PARTE EXPERIMENTAL

Fueron facilitadas dos muestras de biomelanina con diferente concentración de hidróxido de sodio (NaOH), la figura 1a y 1b muestran estas dos concentraciones, se puede apreciar que la muestra 1 es biomelanina es más concentrada ya que su color es más oscuro que el de la muestra 2.



a) b)

Fig. 1. Muestras de biomelanina

A partir de ellas se realizaron otras 2 muestras, cada una con una concentración de 1M de NaOH, teniendo un resultado de esta concentración las muestras 3 y 4. Una vez teniendo las cuatro muestras (dos concentradas y dos diluidas), se procedió a medir las muestras en el laboratorio con cada uno de los equipos.

Espectroscopia FTIR

Las medidas de las muestras 1 y 2 de melanina fueron analizadas mediante el estudio de espectroscopia FTIR, primeramente, se llevó a cabo la calibración del equipo, la cual se realiza de manera automática al encenderlo y requiere de media hora en completar dicha tarea, durante la cual se preparan las muestras. El estudio se hace colocando una gota de la muestra en el lector, para las muestras líquidas y algunos granos para las muestras sólidas, estas se colocan en la base, donde se encuentra el láser.

Se coloca mediante una pipeta milimétrica la disolución de NaOH 2M en el lector, este nos servirá como Background (BKN), se realizaron 14 lecturas y en base a ellas el software del equipo realizaba las medidas que se esperan, este proceso dura alrededor de 2 minutos con cada muestra. Al finalizar con el BKN, se prosiguió con cada una de las muestras, el mismo procedimiento del BKN fue realizado para todas las muestras. Al finalizar las mediciones, el equipo generó un documento en formato de texto, el cual fue exportado en Excel, en este se mostraban los valores obtenidos, a estos datos se les aplicó una normalización que resulta de dividir todos los valores entre el valor más alto, acto seguido, los nuevos valores fueron graficados, los cuales se encuentran en los resultados en el apartado de FTIR.

Espectroscopia UV-VIS

En la obtención del espectro en UV-VIS, se requirió colocar cada una de las muestras tres veces, esto en la placa Costar 96 flat bottom, en la que se colocaron de la siguiente manera como muestra la figura 2.

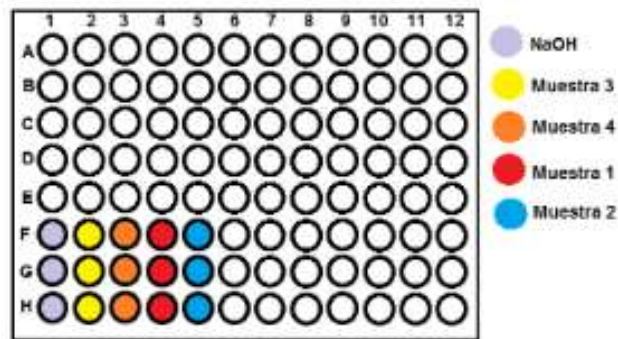


Fig. 2. Colocación de las muestras en la placa

En la figura anterior se puede observar que se colocaron tres veces cada muestra y el blanco como NaOH, la placa fue introducida en el espectroscopio. Acto seguido se programa el equipo para capturar la absorbancia de las muestras, empezando la medición en 250 nm. Terminándola al alcanzar los 900 nm., obteniendo una medición por cada nanómetro recorrido. Al obtener los datos se procedió a realizar las gráficas, para ello se utilizó la plataforma de Excel para controlar estos datos, se normalizaron y promediaron las 3 mediciones de cada muestra, obteniendo los datos que se observarán en el apartado de resultados.

Espectroscopia Raman

En cuanto al procedimiento realizado para la espectroscopia Raman se procedió a enrollar el portaobjetos en aluminio, ya que este material no genera respuesta a los estímulos del espectrómetro, en primera instancia se calibró el equipo mediante la medición de una placa de silicio (Figuras 3 y 4), se realizó con este material ya que es el que da una respuesta más limpia y es un estándar para saber que las mediciones son correctas.

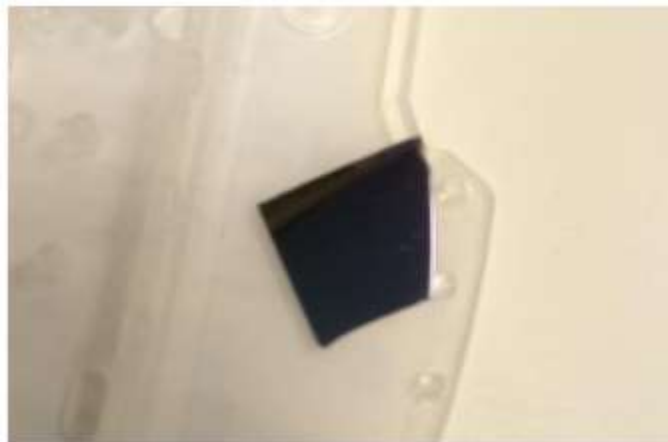


Fig. 3. Placa de silicio para calibrar.



Fig. 4. Espectroscopio Raman.

Al finalizar este procedimiento se usaron las muestras 1 y 2 en su forma sólida (Ilustración 5).



Fig. 5. Muestras sólidas de biomelanina.

Se procedió a colocar la muestra en el microscopio del espectroscopio como muestra la figura 6, en la pantalla y en el propio microscopio se tuvo que enfocar el objetivo, se configuró para que tuviera un rango entre 280 a 2026, con centro en 1200, 7 acumulaciones, tiempo de exposición de 2, la intensidad del rayo al 100% y usando el objetivo de 20x, todo lo anterior para las longitudes de onda en rojo, verde y azul.



Fig. 6. Microscopio del equipo.

RESULTADOS

Espectroscopia FTIR

Al obtener los resultados se realizó la siguiente gráfica, correspondiente a la Ilustración 7, la cual refiere al espectro de los compuestos de las muestras 1 y 2 en su forma sólida, se remarcan las longitudes de onda que corresponden a cada valle en la gráfica, lo que hizo más fácil la determinación de grupos funcionales, los cuales se muestran en la Ilustración 8, dónde se encierran en recuadros estos grupos.

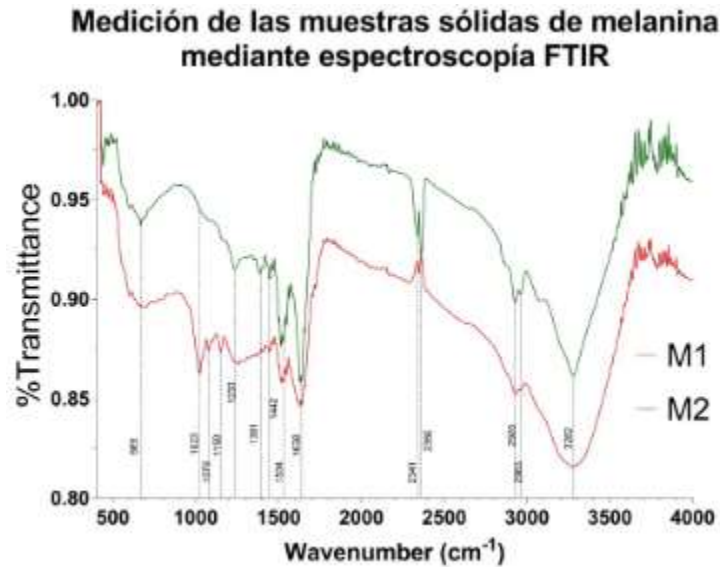


Fig. 7. Medición de muestras sólidas de biomelanina con longitudes de onda marcadas.

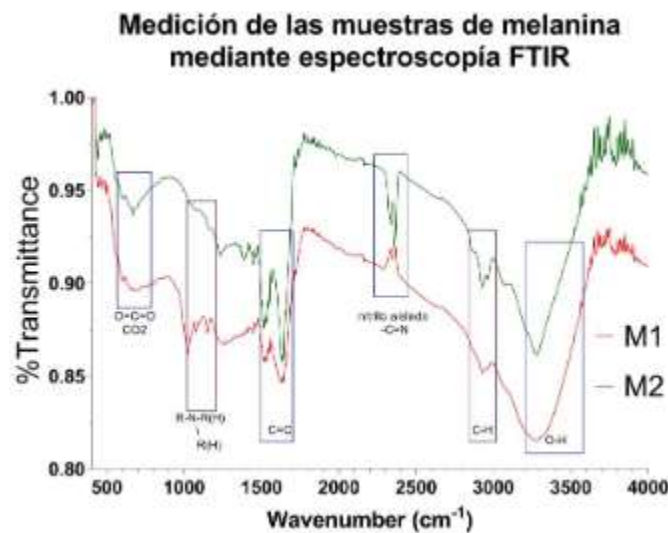


Fig. 8. Medición de muestras sólidas de biomelanina remarcando los grupos funcionales.

De lo anterior podemos obtener una tabla comparativa entre las dos muestras, obteniendo los siguientes datos:

Banda (cm ⁻¹)	Muestra 1	Muestra 2
669	Banda ancha a .9 Presencia de CO ₂	Banda angosta a .94 Presencia de CO ₂
1000-1200	Banda angosta en 1023 Estiramiento simétrico Presencia de radical amino	Presencia hasta 1233 Menor cantidad de radical amino
1500-1700	Presencia de doble enlace	Presencia de doble enlace
2300-2500	Banda angosta en 2360 a .91	Estiramiento simétrico Presencia de nitrilo aislado
2900-3000	Presencia de enlace simple	Presencia de enlace simple
3200-3500	Banda ancha Amplia presencia de O-H	Banda ancha Baja presencia de O-H

Tabla 1. Datos de resultados de espectros de muestras sólidas de biomelanina.

Asimismo, se obtuvieron los resultados para muestras líquidas de los compuestos 1 y 2, la Ilustración 9 remarca los números de onda que corresponden a cada valle en la gráfica, y la Ilustración 10 a la determinación de grupos funcionales, dónde se encierran en recuadros.

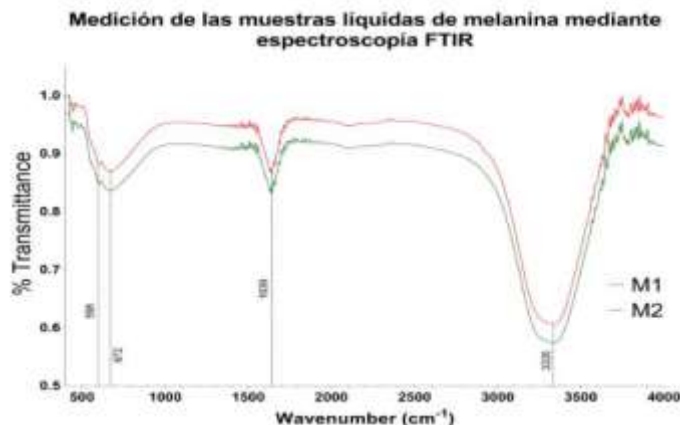


Fig. 9. Medidas de muestras líquidas de biomelanina

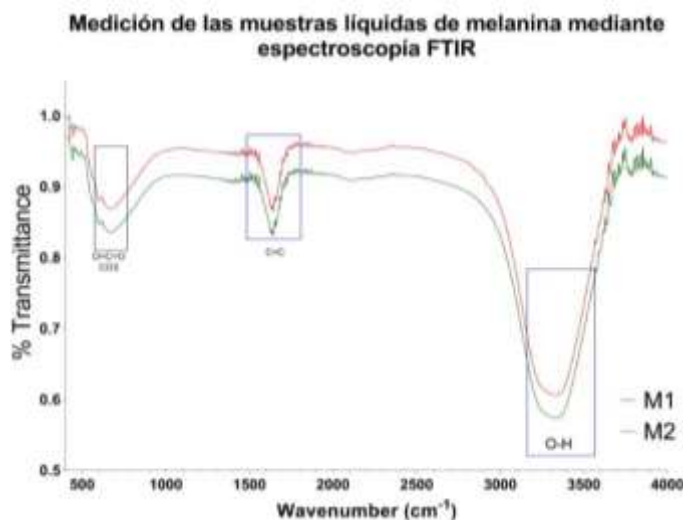


Fig. 10. Medición de muestras líquidas de biomelanina remarcando los grupos funcionales.

Con lo anterior se genera la tabla 2 con los datos obtenidos:

Banda (cm ⁻¹)	Muestra 1	Muestra 2
500-700	Banda ancha a .87 Presencia de CO ₂	Banda angosta a .84 Presencia de CO ₂
1639	Banda angosta a .87 Presencia de doble enlace	Banda angosta a .83 Presencia de doble enlace
3200-3500	Banda ancha Amplia presencia de O-H	Banda ancha Baja presencia de O-H

Se puede destacar la facilidad de todas las muestras de formar enlaces mediante su grupo funcional O-H, de igual manera podemos observar que la muestra 2 tiende a formar enlaces más fuertes que la muestra 1, esto es entendido por la amplitud de los valles que se generan en la medición, entre más grandes sean tienen más facilidad de generar enlaces. Otro detalle importante es el que no se muestren tantos grupos funcionales en las muestras líquidas tanto como en las sólidas, esto es debido a que en estas predominan los grupos OH, al estar diluidas en NaOH se enmascaran los espectros más débiles y no permite su medición adecuada.

Espectroscopia Raman

En cuanto a los espectros Raman, en la figura 11 se observan los datos obtenidos de las mediciones con el haz de luz azul para las muestras sólidas 1 y 2.

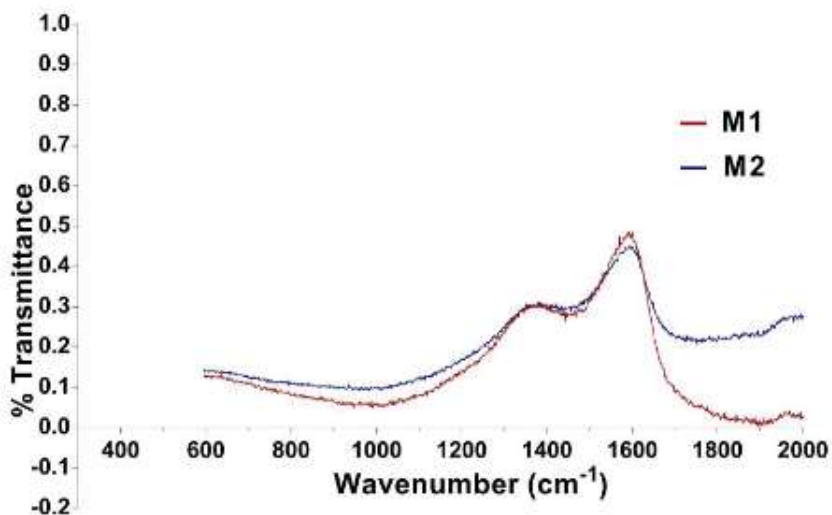


Fig. 11. Medición de Raman para muestras sólidas con haz azul.

De igual manera en las ilustraciones 12 y 13 se observan las medidas de las mismas muestras en con el haz verde y rojo respectivamente.

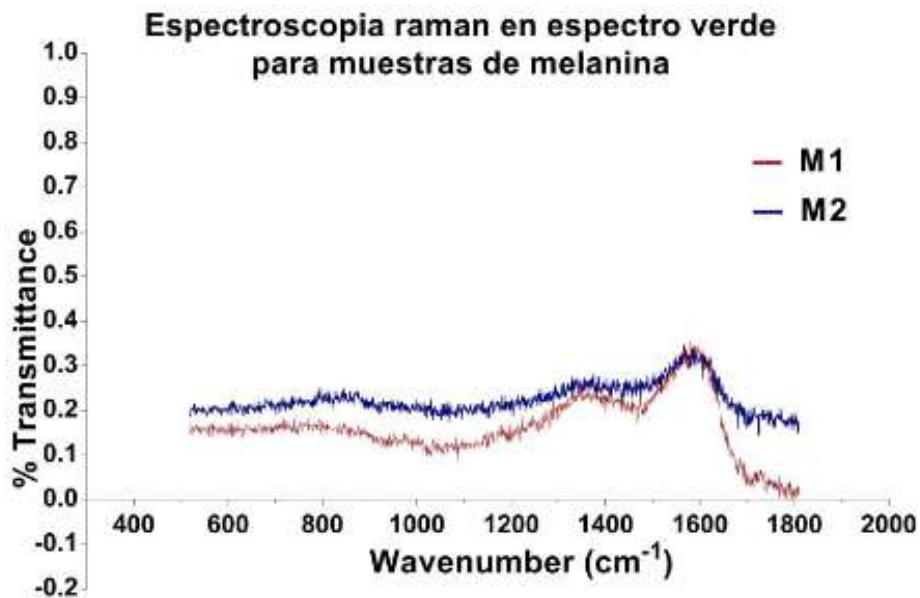


Fig. 12. Espectro Raman para muestras sólidas en luz verde.

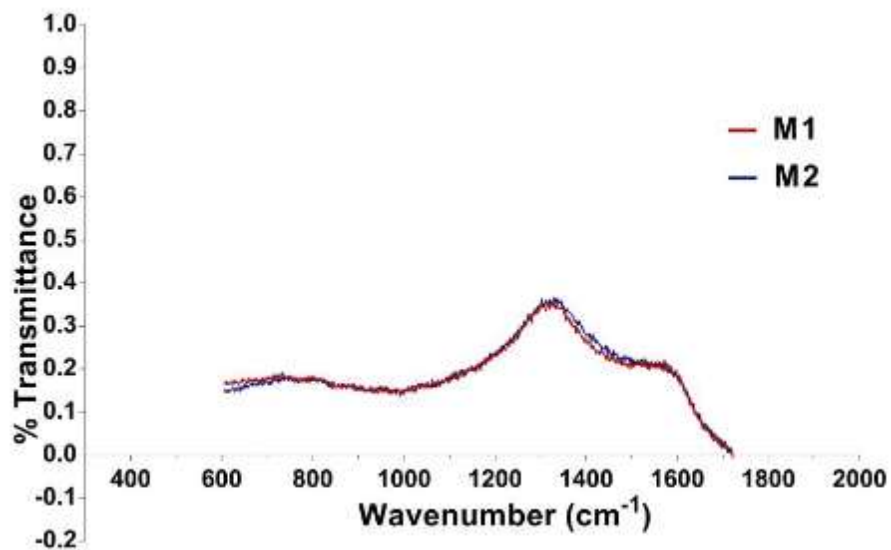


Fig. 13. Espectro Raman para muestras sólidas en luz roja.

De igual manera se adjuntan las mismas mediciones, pero separadas por muestras 1 y 2 en las ilustraciones 14 y 15 respectivamente, en la que se pueden comparar las medidas obtenidas de cada haz.

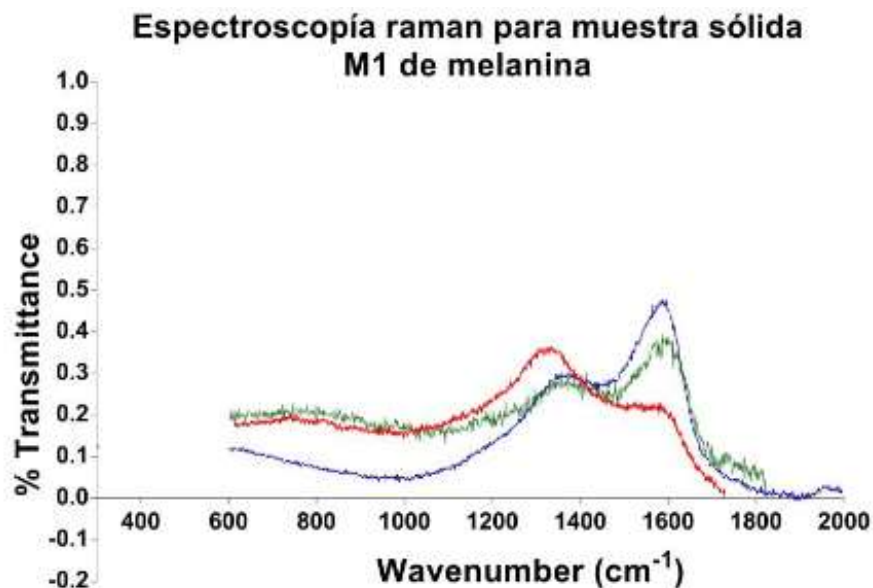


Fig. 14. Espectros Raman para la muestra 1 para cada haz de luz.

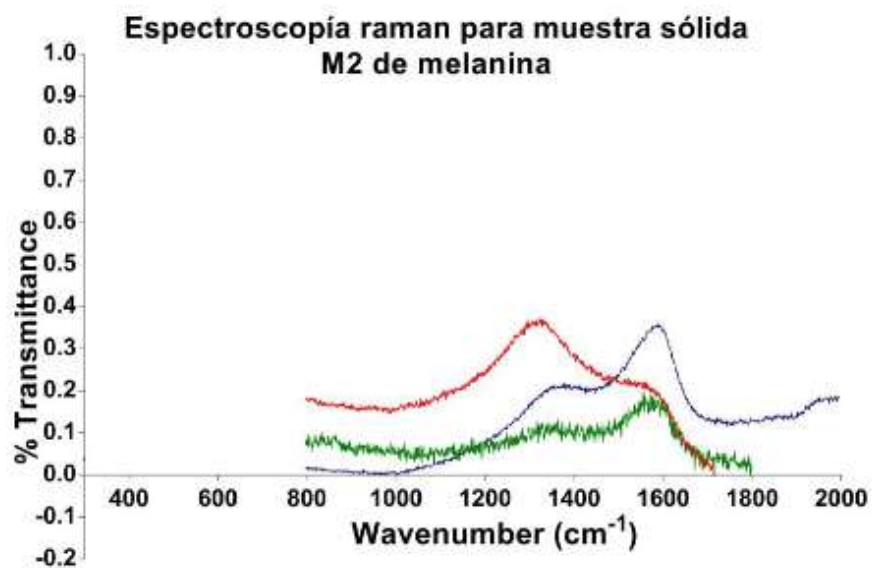


Fig. 15. Espectros Raman para la muestra 2 para cada haz de luz.

En las medidas realizadas por espectroscopia Raman, comparándolas con la teoría citada, es visible que cuenta con propiedades muy similares a distintos métodos de extracción, por consiguiente, el método de sintetización de esta muestra es viable, de igual manera podemos observar que la molécula reacciona de mayor manera a la luz azul, demostrando su excelente absorción a la luz cercana al UV, en cuanto a la luz roja sucede que podemos ver que las crestas que se muestran en los rayos verde y azul se invierten.

Espectroscopia UV-VIS

En cuanto a la espectroscopia UV-VIS se normalizaron las medidas y se obtuvo la figura 25, la cual muestra la absorbancia que tienen las 4 muestras, las 2 originales y las 2 diluidas 10 veces.

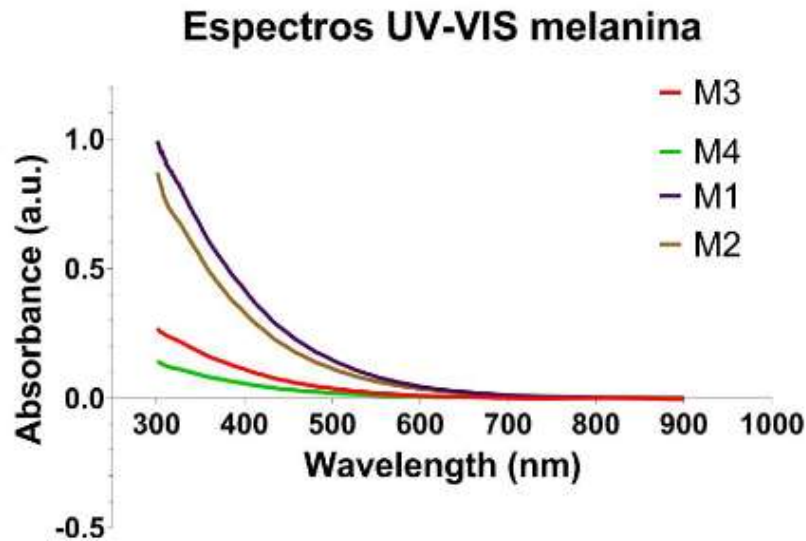


Fig. 16. Medición de muestras líquidas de melanina por espectroscopia UV-VIS

Adicionalmente, se separaron las 2 muestras diluidas en la figura 17, las cuales presentaban menor absorbancia.

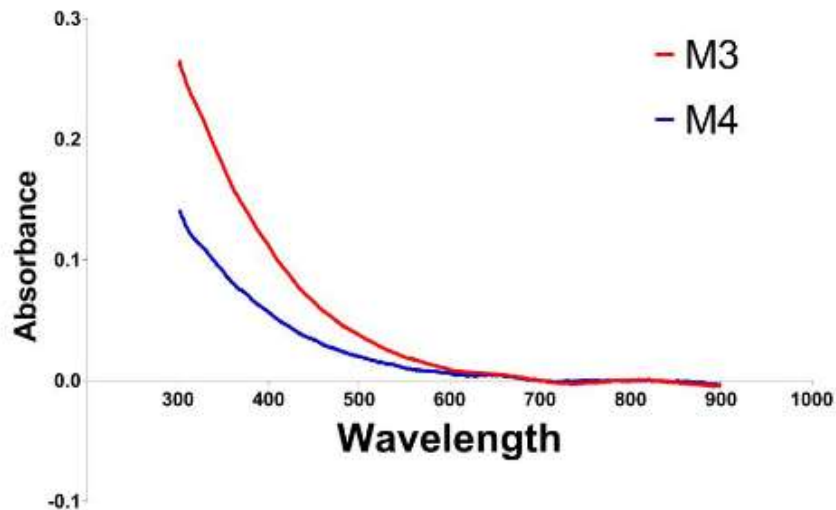


Fig. 17. Medición de muestras líquidas diluidas de melanina por espectroscopia UV-VIS

Se determina que las muestras 1 y 2 presentan total absorbancia, al diluirlas estas terminan bajando hasta .3 y .18, esto es de tomar en cuenta, ya que se determina que, aunque las muestras presentan la misma concentración, la muestra 1 es un mejor filtro UV, siendo que es la que tiene mayor absorción hasta llegar aproximadamente a los 800 nm, donde todas las muestras decaen al 0.

CONCLUSIONES

Las características físicas que presenta la biomelanina la hacen una molécula que se debe de tomar muy en cuenta al trabajar con productos o equipos que se relacionen la luz. En la actualidad se utiliza para fines cosméticos, tales como cremas y protectores solares porque, como ya se demostró, es capaz de absorber grandes cantidades de radiación UV, sin embargo, para fines tecnológicos puede contribuir en gran medida en avances que mejoren los productos actuales en este ámbito, tales como las celdas solares o la ceración de OLED's también siendo un producto biodegradable,

lo que la hace una sustituto ideal y verde a los productos derivados del plástico que se comercian actualmente. En contraste podemos determinar cuánto nivel de absorción de luz necesitamos fácilmente gracias al utilizar diferentes concentraciones de la biomolécula, esto siendo de gran utilidad cuando no se requieren de grandes porcentajes de absorción, con la fabricación de transistores capaces de leer estos datos se abre un campo de aplicación enorme.

De igual manera, el uso de las técnicas espectroscópicas utilizadas como medio de estudio para su caracterización genera que no se haya tenido que modificar la composición de las muestras, aportando una mejor lectura y velocidad en la obtención de datos útiles.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abdel-Naser, M. B., Krueger-Krasagakis, S., & Krasagakis, K. (2017). Melanin. *Hyperpigmentation*, 29(II), 12–18. <https://doi.org/10.1201/9781315162478>
2. Arenas Iván, & López José. (2004). *Espectrometría De Absorción*.
3. Clingingsmith, T. W. (1984). Series flow tandem fan: A high-speed V/STOL propulsion concept. *SAE Technical Papers*, 1–8. <https://doi.org/10.4271/841496>
4. De Jaen, V. (2015). Introducción a La Bioquímica: Bioelementos y Biomoléculas. 1–11.
5. ESPECTROSCOPIAS INFRARROJA Y RAMAN José Luis Pérez , Rogelio Murillo y Raúl Gómez. (2011).
6. Fontal, B. (2017). El Espectro Electromagnético y sus Química. (August). Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Bernardo_Fontal2/publication/228871821_El_Espectro_Electromagnetico_y_sus_Aplicaciones/links/59946c10aca272ec9087f8bb/El-Espectro-Electromagnetico-y-sus-Aplicaciones.pdf
7. Irimia-Vladu, M., Głowacki, E. D., Voss, G., Bauer, S., & Sariciftci, N. S. (2012). Green and biodegradable electronics. *Materials Today*, 15(7–8), 340–346. [https://doi.org/10.1016/S1369-7021\(12\)70139-6](https://doi.org/10.1016/S1369-7021(12)70139-6)
8. Jose Pérez, Rogelio Murillo, R. G. (2004). INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CELAYA Estudio paramétrico para la producción de melanina en *Escherichia coli* recombinante.
9. Liceo AGB. (2010). Espectroscopía Y Estructura. 43. Retrieved from <http://www.liceoagb.es/quimiorg/docencia/textos/TEMA5.pdf>
10. Menter, J. M. (2016). Melanin from a physicochemical point of view. (March). <https://doi.org/10.1002/pi.5194>
11. Merino, Jesús, Noriega, M. (2006). Biomoléculas. *Proteínas. Fisiología General*, 2, 1–7.
12. Morelos, A. D. E. C. D. E., & Lagarda, G. G. (2007). La melanina : un pigmento con múltiples aplicaciones L. 2007.
13. Moreno Salazar, S. F., & Biomoléculas, B. (2006). *Temas Selectos de Bioquímica General*. 6–27.
14. Otero, J. (2016). Espectroscopía Raman : Fundamento y aplicaciones Espectroscopía Raman : Fundamento y aplicaciones Trabajo de la asignatura “ Caracterización de nuevos Autores : Vanessa Gutierrez
15. Cano. (August 2015). <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5015.5362>
16. Pavia, D. L., Lampman, G. M., Kriz, G. S., & Vyvyan, J. R. (2013). INTRODUCTION TO SPECTROSCOPY.
17. Pueyo, P. (1996). Capítulo 1: Fundamentos de espectroscopía Raman. *Fundamentos Da Espectroscopía Raman e No Infravermelho*, 10–34.
18. Serrano, J. L. (2009). Espectroscopía infrarroja 1-Fundamentos. *Instrumentacion y Métodos de Análisis Químico*, 35.
19. Skoog, Leary, D. A., & James, H. F. (1998). ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN EN EL INFRARROJO. 409–461. Retrieved from <http://www.aist.go.jp>
20. Vahidzadeh, E., Kalra, A. P., & Shankar, K. (2018). Melanin-based electronics: From proton conductors to photovoltaics and beyond. *Biosensors and Bioelectronics*, 122(July), 127–139. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.026>
21. Villanueva-Luna, A. E. (2013). Espectroscopia Raman en fluidos biológicos extracelulares. 39–46.

CONTROL DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN JAULA DE ARDILLA MEDIANTE INSTRUMENTACIÓN VIRTUAL, ARDUINO Y VLT SIEMENS

Tizoc López López, Alberto Gutiérrez Martínez, Marcela Torres Chagolla, Luis Jonathan Elguero Olivo

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

tizoc.lopez@umich.mx

RESUMEN

A través de la historia el ser humano ha sabido adaptarse a diferentes actividades propias de su naturaleza que influyen en el desarrollo de su entorno más cercano, muchas de las actividades mencionadas han requerido de la creación de artefactos que van desde simples herramientas hasta complejos sistemas de control, entre ellos se puede ejemplificar la formidable creación de la máquina de vapor de *James Watt* [1] quien revolucionó la industria, desde entonces se mantiene una búsqueda por diseñar, construir y controlar las mejores máquinas que faciliten el trabajo físico del ser humano; entre las máquinas de mayor utilidad en la industria, se encuentran las máquinas de inducción de corriente alterna patentadas por *Nikola Tesla* [2]. Actualmente los motores de corriente alterna son parte esencial de los procesos industriales a nivel mundial, de ahí la importancia de realizar un control adecuado para dichos motores, en el presente trabajo se propone una técnica diferente de control para un MIJA, para lo cual se opta por utilizar el lenguaje de programación gráfica Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (*LabVIEW*), el cual es totalmente compatible con la tarjeta de adquisición de datos Arduino Mega 2560, cabe mencionar que de las múltiples entradas y salidas con que cuenta dicha tarjeta, se utiliza una salida de modulación por ancho de pulso (PWM) que a su vez es posible interconectar con el variador de frecuencia *Siemens Micromaster 440* para así tener un control con mandos virtuales desde la plataforma *LabVIEW* y no tradicionalmente desde el BOP de forma local del variador de frecuencia o mediante el alambrado de un potenciómetro. La técnica propuesta ha resultado totalmente funcional y permite controlar de manera eficiente al MIJA, además de proporcionar un ambiente más amigable para el operador, así como dar pie a la creación de una base de datos de las variables presentes en el sistema de control y que pueden ser censadas y resguardadas para un posible análisis de disturbios o simplemente con fines estadísticos de operación para posibles investigaciones futuras.

INTRODUCCIÓN

Actualmente es indispensable el uso de máquinas eléctricas que faciliten las actividades y procesos de interés del ser humano, algunas de esas máquinas son los motores eléctricos, de los cuales existen variantes dependiendo de la aplicación requerida. En la presente propuesta se utiliza un Motor de Inducción Jaula de Ardilla (MIJA), el cual es de las principales máquinas eléctricas presentes en infinidad de procesos y aplicaciones.

Para poder controlar la velocidad de un MIJA existen diferentes métodos, entre los cuales se encuentran: arranque a plena tensión, arranque a tensión reducida mediante resistencias, arranque mediante controles SCR's, control por variadores de frecuencia (VLT), etc. A pesar de la existencias de diferentes maneras de controlar la velocidad del MIJA, se carece de un control eficiente que además permita el monitoreo en tiempo real de dicho motor, para ello, se propone el uso de tarjetas de adquisición de datos Arduino y el software *LabVIEW*, con el cual se pueden obtener las características de control, monitoreo y resguardo de las variables de interés en tiempo real.

TEORÍA

Los motores de corriente alterna requieren un control eficiente que permita realizar una acción con precisión milimétrica, para ello, es necesario aprovechar la tecnología existente y conocer los principios de funcionamiento, así como la metodología que garantiza un resultado óptimo en el desarrollo de equipos y mecanismos que facilitan las maniobras en procesos y actividades cotidianas y especiales.

Para lograr lo anterior, se utilizan las bondades de una computadora personal con el software de programación gráfica *LabVIEW*. El aporte esencial de la presente propuesta radica en el

aprovechamiento de la técnica de la Modulación por Ancho de Pulso (PWM) [3], con el cual se logra controlar de manera externa al VLT quien finalmente alimenta al MIJA con los parámetros de velocidad establecidos desde la pantalla principal del software LabVIEW. En la Figura 1.0, se muestra el esquema general del sistema de control propuesto.



Figura 1.0 Esquema general del sistema propuesto.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 2.0, se aprecian los diferentes elementos que conforman el sistema propuesto: VLT Siemens Micromaster 440, MIJA, laptop y tarjeta Arduino Mega 2560. Además de los elementos principales, se pueden observar otros elementos auxiliares como son: fuente de CD, fuente trifásica de potencia y tacómetro.

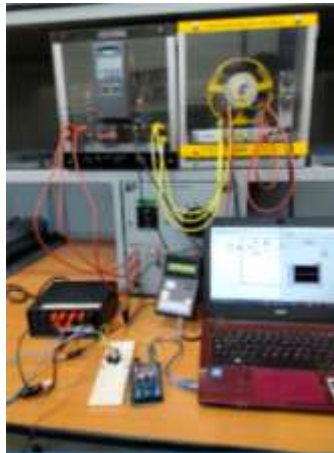


Figura 2.0 Esquema físico del sistema propuesto.

El software utilizado es el lenguaje de programación gráfica LabVIEW versión 2017, de la empresa NATIONAL INSTRUMENTS, Figura 3.0, el cual es compatible con la tarjeta Arduino Mega 2560.



Figura 3.0 Versión de software LabVIEW 2017.

La programación en el software LabVIEW se realiza mediante un archivo con extensión .vi, conformado por dos ventanas, en la Figura 4.0, se muestra la ventana que contiene los elementos

del diagrama de bloques, el cual aloja principalmente un rectángulo en color gris que representa un ciclo *while* mediante el que se asegura la ejecución continua del programa hasta que una condición de paro se encuentre presente.

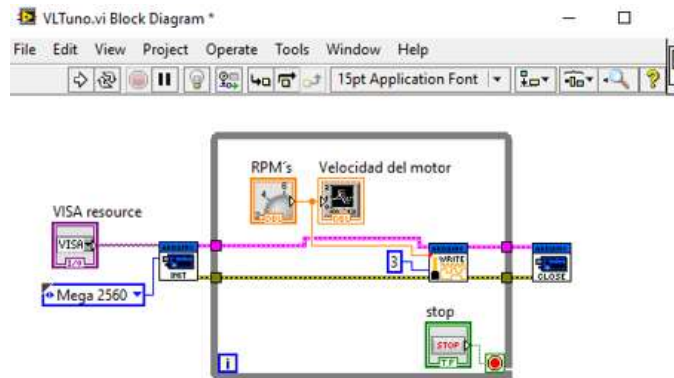


Figura 4.0 Diagrama de bloques del sistema de control en LabVIEW.

En color azul se tienen bloques para realizar funciones con la tarjeta Arduino, entre ellos se encuentra un bloque *init* y otro *close*, con dichos elementos se logra la comunicación con la tarjeta Mega 2560 mediante el puerto USB de la computadora. También se aprecia un bloque *WRITE* cuyo objetivo es enviar una señal PWM en el pin 3 de la tarjeta Arduino con el que se controla la salida de corriente del VLT. En color morado se tiene el bloque *VISA resource* el cual sirve para saber el COM que la computadora asigna de manera automática a la tarjeta Arduino. En color verde, se tiene un bloque de tipo *booleano*, cuyo objetivo es poder interrumpir el programa cuando lo requiera el usuario. Finalmente se aprecia un rectángulo con borde azul, representativo del tipo de tarjeta, en este caso se selecciona el modelo Mega 2560.

En la otra ventana de LabVIEW (Panel frontal), Figura 5.0, se aprecia el aspecto de los controles, así como del comportamiento de la señal en un monitor virtual, con el cual se indica la velocidad del MIJA, también se aprecia el *VISA resource* para ver la asignación del COM para la tarjeta. En la parte superior izquierda de la ventana, se observan dos flechas que sirven para activar y darle continuidad al programa.

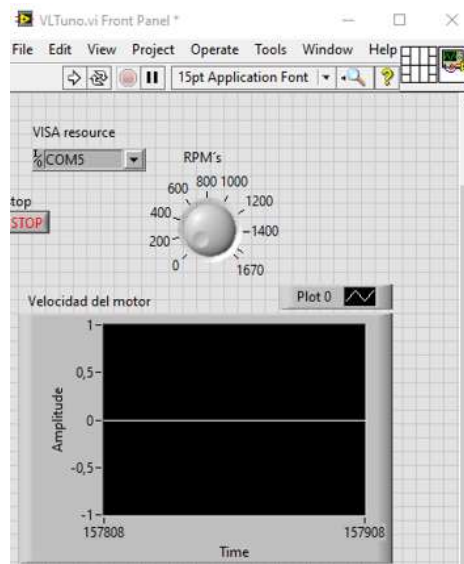


Figura 5.0 Panel frontal del sistema de monitoreo en LabVIEW.

En la figura anterior, se aprecia el sistema desactivado, por lo cual, el indicador de RPM's se encuentra en cero. Cabe mencionar que el botón STOP representa el bloque booleano para detener la adquisición de datos sin desactivar el programa.

RESULTADOS

Luego de realizar la programación adecuada y la interconexión de manera física, se inicia con las diferentes pruebas para observar y analizar los resultados para diferentes velocidades.

Al activar el programa, Figura 6.0, se puede observar que las flechas de activación cambian a un color negro intenso y el botón de apagado se torna en color rojo. Así, se inicia de manera automática la adquisición de datos y se pueden apreciar los cambios de velocidad del MIJA a través del indicador gráfico colocado en el panel frontal.

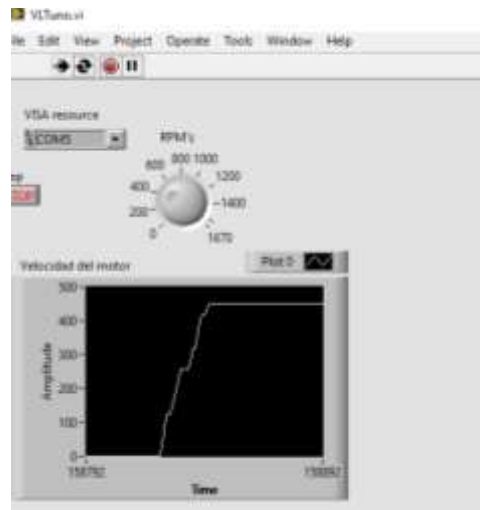


Figura 6.0 Panel frontal del sistema de monitoreo con aumento de velocidad en LabVIEW.

En la Figura 7.0 se observa el cambio de RPM's a una velocidad menor, se aprecia un descenso de 450 RPM's a 0 RPM's.

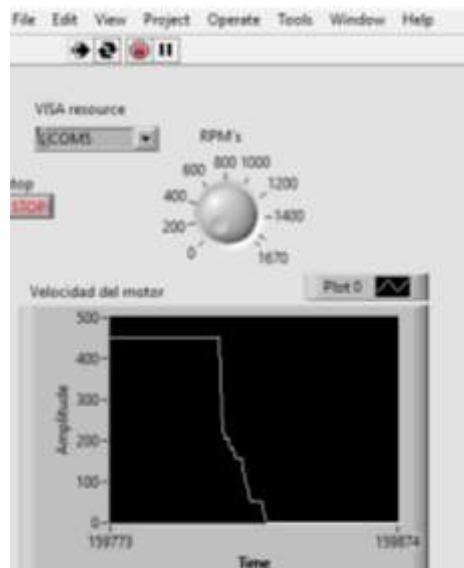


Figura 7.0 Panel frontal del sistema de monitoreo con reducción de velocidad en LabVIEW.

Al someter el sistema a cambios bruscos de velocidad se puede apreciar que responde adecuadamente, por lo cual, se puede observar en la Figura 8.0 una gráfica con altibajos en el número de RPM's del MIJA.

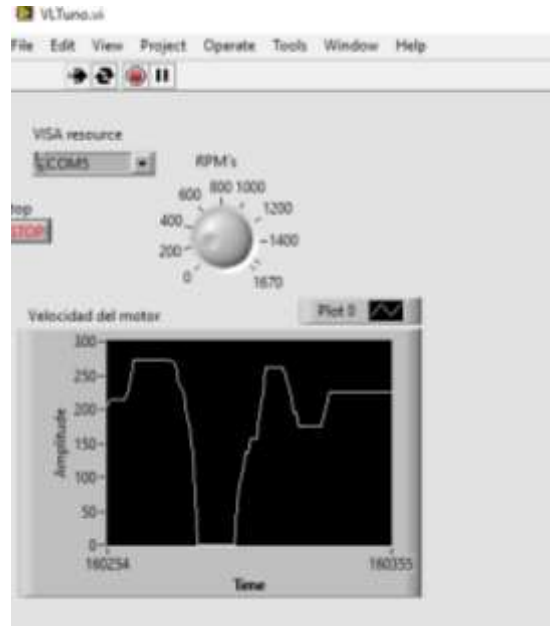


Figura 8.0 Panel frontal del sistema de monitoreo con variación de velocidad en LabVIEW.

Otra prueba radica en aumentar de manera súbita la velocidad, realizar una variación y dejar de variar para saber cómo se estabiliza el sistema, dicha prueba se aprecia en la Figura 9.0, en la cual se nota una estabilidad en las RPM's luego de variar la velocidad.

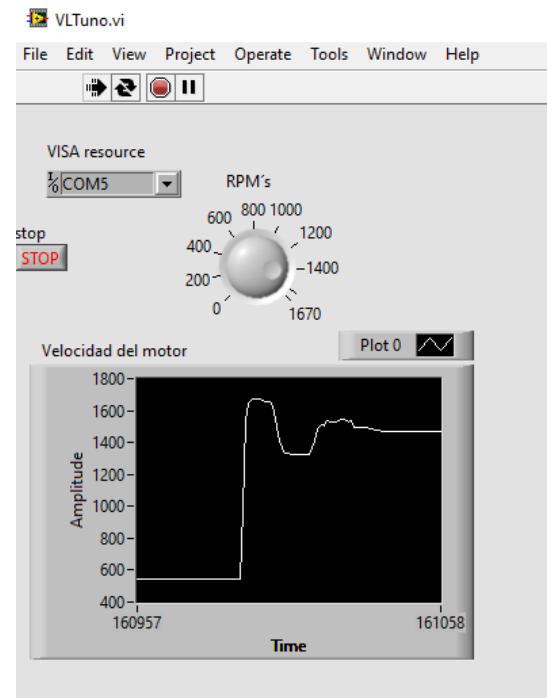


Figura 9.0 Panel frontal del sistema de monitoreo con aumento y variación de velocidad en LabVIEW.

CONCLUSIONES

El sistema propuesto muestra resultados eficientes, ya que es capaz de proveer un control adecuado y diferente del MIJA, además presenta ventajas sobre otros sistemas de control que carecen de monitoreo virtual en tiempo real, a diferencia del software LabVIEW que ofrece un monitoreo estéticamente superior a otras plataformas, también se aprovecha la compatibilidad del software con la tarjeta Arduino Mega 2560, de la cual se corroboró una adecuada salida PWM con características viables para alimentar la entrada al VLT Siemens Micromaster 440 quien finalmente realiza la inyección de corriente al MIJA. Dicho trabajo permite realizar un control en lazo abierto de manera óptima y abre la posibilidad de controlar el motor mediante un circuito de lazo cerrado simplemente retroalimentando la señal de salida.

BIBLIOGRAFÍA

1. K. Ogata, "Ingeniería de control moderna", Quinta edición, Pearson, 2010, pp. 1-4.
2. C. M. Jarvis, "Nikola Tesla and the induction motor," in *Electronics and Power*, vol. 15, no. 12, pp. 436-440, December 1969, doi: 10.1049/ep.1969.0438.
3. M. H. Rashid, "Electrónica de potencia", Segunda Edición, Capítulo 5, pp 172-173.

PLAN DE CAPACITACIÓN DE PERSONAL DE LA EMPRESA AXALTA, PARA EL MANEJO DE SUBSTANCIAS PELIGROSAS

Diana Leticia Rangel Gómez, José Guadalupe Hernández Mosqueda, Oscar Daniel Gutiérrez Valencia, María del Carmen Chacón Olivares

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
mariadelcarmen.co@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Axalta es una firma de pintura automotriz, 150 años de experiencia la respaldan colocándola como una de las empresas líder a nivel bajo en el mercado de las pinturas y recubrimientos de este ramo. A través de la observación en la investigación de campo efectuada en la empresa se identificó con la metodología 5W2H, la existencia de una problemática dentro del área de almacén en relación al manejo y almacenamiento de las sustancias peligrosas, siendo la poca capacitación del personal la principal causa de ello establecida por medio de un diagrama de Ishikawa, derivando esto en faltas graves a la norma de seguridad correspondiente tales como la omisión del equipo de seguridad, y la falta de conocimiento para la clasificación de las sustancias consideradas peligrosas, aunado a la falta de hojas de datos, falta de simbología y el manejo inadecuado de las sustancias.

Mediante un análisis de las condiciones laborales en las que estaban inmersos los encomendados del almacén se determinó que la implementación de un plan de capacitación basado en la NOM-018-STPS-2015 sería una forma de dar solución al problema que se tenía en el almacén para con esto evitar accidentes en relación al derrame o fuga, intoxicación de quien manipula, daños físicos a la infraestructura, daños físicos al personal y no menos importante daños ecológicos al tratarse de sustancias que son altamente tóxicas en caso de ser expuestas al ambiente. Con lo anterior se delimito el alcance que tendría la propuesta de mejora abarcando únicamente dos elementos clave que son el personal y el área de almacén.

Se realizó en primera instancia una investigación documental en la cual se obtuvo información en relación con el correcto manejo de las sustancias peligrosas que fue de ayuda para la estructura del orden en el cual se conformó el plan de capacitación y a la par de esto se elaboró de un manual de capacitación, con el objetivo de disminuir en un 60 % la problemática detectada.

Por último, con los elementos y datos obtenidos se propuso un cronograma acorde a una capacitación exprés donde los temas fueron basados principalmente en lo que dicta la Norma Oficial Mexicana y se resaltaron acciones que los empleados están facultados a realizar para el almacenamiento o en caso de un accidente derivado de manejo inadecuado de las sustancias peligrosas.

A través de la realización del presente proyecto se determinó la importancia del correcto manejo de materiales y sustancias peligrosas en las PyMES, (Pequeñas y medianas Empresas) que impacte en sus procesos además de contribuir con la presente propuesta que sirva de guía en organizaciones similares.

INTRODUCCIÓN

La investigación “es un proceso que, mediante la aplicación del método científico, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir y aplicar el conocimiento” (Tamayo, 2003). Lo cual ha permitido explicar fenómenos naturales, mejorar la calidad de vida humana, así como facilitar u optimizar procesos en la industria o cualquier otro campo.

Al realizar una investigación requiere de la aplicación de cierta metodología, lo cual permitirá su correcto desarrollo, por lo que es importante seguir un protocolo de investigación, “también denominado proyecto de investigación, el cual tiene por objetivo describir de la manera más adecuada el proceso de investigación que se tiene pensado ejecutar describiendo de manera sistemática los elementos a desarrollar para generar un texto académico y/o científico” (Baldín, D Muñoz Hinojosa, & R De Rungs Brown, 2013). El protocolo de investigación tiene por objetivo ser un plan de acción, el cual pretende brindar al investigador un método sistemático de trabajo, este debe incluir el marco teórico, la justificación, los objetivos de estudio, la metodología, así como los

apartados de forma ordenada que incluirá el trabajo de investigación, además del cronograma de trabajo y el presupuesto que se es necesario para el desarrollo de la investigación a realizar.

A continuación, se muestra el Plan de capacitación de personal que surge como respuesta a la problemática del mal manejo de sustancias peligrosas de la empresa Axalta. Dicho proyecto de investigación comienza con la teoría que permitió obtener la problemática principal mediante el diagrama de Ishikawa, así como la determinación de los objetivos, para dar paso a la parte experimental del proyecto y finalmente se presentan las conclusiones obtenidas del desarrollo de la investigación.

TEORÍA

“Son almacenes exclusivos para el producto terminado y su función es de regulador. Es normalmente, el almacén de mayor valor económico de todos los existentes, por lo que el primer objetivo es el de mantener el índice de rotación lo más alto posible”. Tornero, (2017, pg. 40).

Por su parte Velázquez, E. (2012). Menciona “El almacén de productos terminados está destinado para alojar productos que serán suministrados o entregados a los clientes”. Al analizar el contexto del almacén de Axalta se determina con base a lo anterior que este es un almacén de producto terminado, mismo que al funcionar como un nodo de distribución no tiene contacto con áreas como producción, envasado, calidad entre otras.

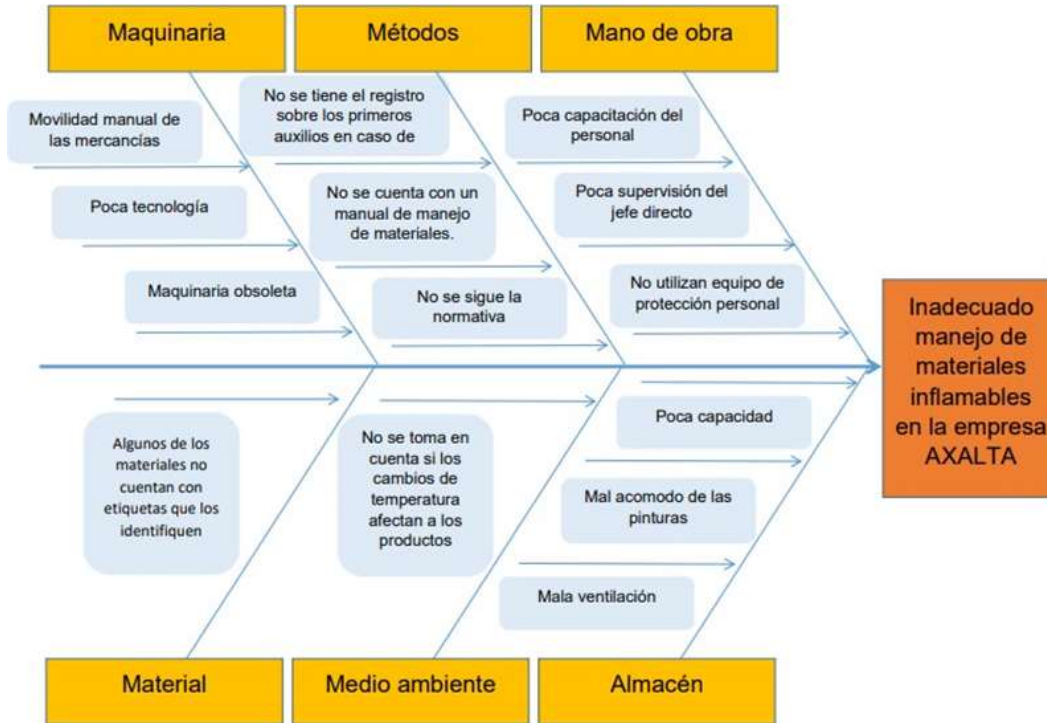
Los productos listos para su posterior distribución que ahí yacen son de uso industrial y requiere de lineamientos sujetos a la norma oficial que rija su manejo y almacenamiento considerando las propiedades fisicoquímicas de estos.

Según la Secretaría de Trabajo y Previsión Social, (2019) define El manejo de materiales es “la acción de levantar, bajar, jalar, empujar, trasladar, transportar y/o estibar materiales, de manera manual o con la ayuda de maquinaria” con el objetivo de colocar los materiales en el área asignada de acuerdo con su clasificación. Por su parte Ballou, (2004). Menciona que “El manejo de materiales dentro de un sistema de almacenamiento y manejo se representa por tres actividades principales: carga y descarga, traslado hacia y desde el almacenamiento, y surtido del pedido”. Siendo entonces estas actividades mencionadas las que engloba el manejo de las sustancias es necesario analizar con reglas y fundamentos las acciones correctas que debe efectuar el encomendado para con lo productos con el fin de cuidar la integridad de los envases, la infraestructura y la suya misma.

Tras el conocimiento las sustancias que se manejan en el almacén basado en la tipología de los productos se determina que existe un peligro latente por la diversidad de químicos que las diferentes sustancias almacenadas contiene considerándose por ello material peligroso, que según Jiménez (2017) define “Son aquellos bienes o productos que pueden poner en riesgo la salud de las personas o su seguridad, o pueden poner en riesgo la propiedad o el medio ambiente”.

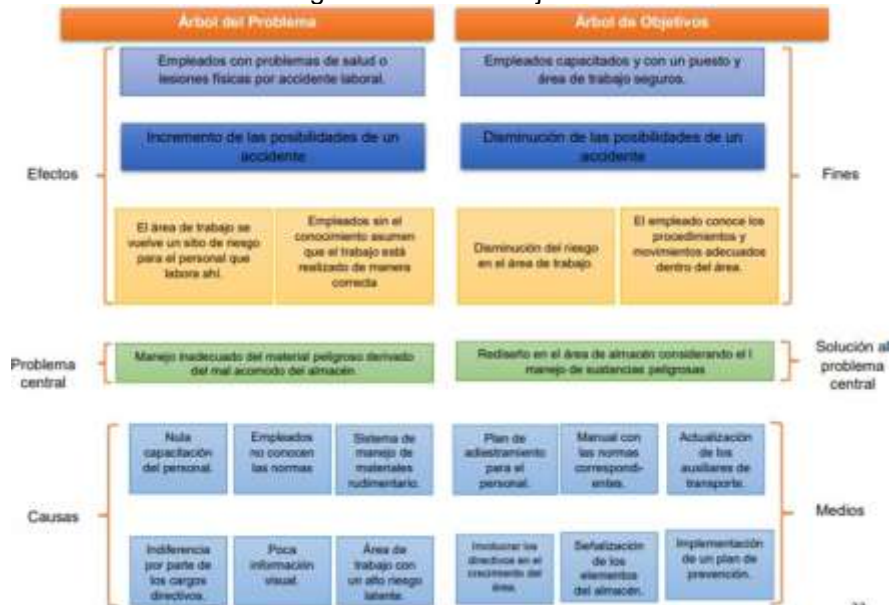
La empresa Axalta no contaba con un correcto manejo de este tipo de sustancias, lo cual se traduce como el aumento de riesgos para los trabajadores que laboran dentro de la empresa. Mediante el diagrama de Ishikawa se identificó que una de las causas de la problemática está en la mano de obra, provocado por una mala capacitación, y poco uso del equipo de protección personal dentro del almacén, como se muestra a continuación:

Figura 1: Diagrama de Ishikawa de Axalta Irapuato.



Para determinar los objetivos del protocolo de investigación se optó por realizar una metodología SMART mediante un árbol de objetivos que fue de ayuda para representar de manera gráfica los elementos que giran en torno al tema de estudio, seguido de ello identificar cada uno de los factores clave que son base del problema central y finalmente hacer mención de los medios posibles que se tienen para hacer frente a cada una de las causas del problema en cuestión. A continuación, se presenta el gráfico elaborado para la identificación del problema y objetivos:

Figura 2: Árbol de objetivos



A través de esta metodología se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

1. Desarrollar e implementar un plan de capacitación en el área de almacén considerando el manejo de sustancias peligrosas, basada en las técnicas de administración y control de almacenes para mejorar la rotación de inventarios y disminuir los riesgos existentes en un 20%.

Objetivos específicos

1. Identificar el 60% de las áreas de oportunidad del almacén de la empresa Axalta con base en la información recabada.
2. Determinar en un 80% las condiciones del almacén de la empresa Axalta de acuerdo con la normativa.
3. Analizar el nivel de capacitación actual del personal, disminuyendo los reprocesos en un 25%.

PARTE EXPERIMENTAL

Se llevo a cabo una investigación de campo en la cual se pudo recolectar información del funcionamiento interno de la empresa, y se pudo constatar que el personal no se encontraba capacitado respecto al manejo de las sustancias peligrosas, llevamos a campo entrevistas con el personal y encuestas en la cual se pudo analizar el poco conocimiento de lo peligroso que era manipular sustancias inflamables, además en ese momento no se utilizaba ningún tipo de equipo de protección personal. El marco metodológico que se siguió fue el siguiente:



Figura 3: Marco metodológico de la investigación

La propuesta del Plan de capacitación a través de un manual de capacitación sustentando en la NOM-018-STPS-2015 busca proporcionar una metodología que permita al responsable de capacitación llevar a cabo esta tarea de manera sistematizada. El manual de capacitación es una de las respuestas a el problema que se encuentran diagnosticado previo a su elaboración son la base para orientar acciones posteriores.

RESULTADOS

Se creó una propuesta de un plan de capacitación de personal que emerge a la par de un manual de manejo de sustancias peligrosas con especificaciones extraídas de la NOM-018-STPS-2015 cuya característica principal es la fácil lectura para los operadores de almacén ya que se emplea de manera sintetizada las acciones que están en su alcance para llevar a cabo la protección de la infraestructura, el medio ambiente y la vida salud de quienes ahí laboran. Es mismo se implementará dentro de la organización para disminuir el riesgo que existe actualmente.



Figura 4: Manual de capacitación para el trabajo.

La propuesta del uso del manual de capacitación para el área de almacén de la empresa de pinturas Axalta es el punto de partida para mejorar la manera en que se manejan los materiales peligrosos ofreciendo ventajas, tales como: un mejor como reducir los riesgos ocasionados por el inadecuado acomodo y manejo de los productos, cumplimiento y seguimiento de las distintas normativas que marcan las distintas recomendaciones.

Dentro del manual se menciona la importancia de que todas las sustancias peligrosas, sean identificadas para una mejor visualización, así como de la correcta realización de una hoja de datos de seguridad.

5 identificación visual

Identificación visual

Para visualizar las sustancias peligrosas de entre el resto de productos con los que se pueden almacenar es necesario que esta contenga información que ayuden al encomendado de almacén a identificarlo y proceder según la información contenida. La hoja de datos es una herramienta que apoya al encargado de la sustancia pues en ella se contienen datos de su correcta manipulación.

Indicaciones generales para preparar una hoja de datos de seguridad (HDS).

- Estar en idioma español.
- Ser clara y concisa.
- Usar simbología de la norma correspondiente (NOM-018-STPS-2015).
- Fecha de emisión.
- Los números y cantidades deben estar expresadas en el sistema internacional.
- Evitar el uso de expresiones vagas y equívocas.
- Estar enumerada en todas sus páginas.
- Nombre de la sustancia química peligrosa.
- Otros medios de identificación.
- Uso recomendado de la sustancia.
- Restricciones de uso.
- Datos del proveedor o fabricante.
- Número de teléfono en caso de emergencia.
- Datos de los servicios de información para casos de emergencia.

Figura 5: Identificación visual.

En la propuesta se añaden las consideraciones que se deben de tomar respecto a la identificación de peligro de las sustancias químicas peligrosas que los empleados deben de tomar en consideración al momento de manejar alguna de las sustancias que puedan dañar su integridad.

Identificación del peligro

Clasificación de las sustancias químicas peligrosas.

- ✓ De acuerdo con sus peligros físicos.
- ✓ Indicar clase y categoría.
- ✓ Verificar si pertenece a más de una clasificación.

Elementos de señalización.

- ✓ Pictograma de señalización o símbolo de peligro.
- ✓ Identificación de la palabra Advertencia.
- ✓ Código de identificación H.
- ✓ Código de identificación P.

Otros peligros.

- ✓ Peligros adicionales que no conducen a una clasificación pero que de igual manera representan un peligro al estar en contacto con otras sustancias.

Figura 6: identificación de peligro.

Las precauciones que se recomienda seguir dentro del manual son las siguientes:

Precauciones que se deben de tomar	Manejar de forma segura la sustancia.
	Evitar el manejo simultaneo de sustancias químicas peligrosas o mezclas cuando estasean incompatibles.
	Considerar nuevos riesgos derivados de laalteración de la sustancia química o mezcla.
	Evitar derrames en el ambiente de la sustancia peligrosa.

Figura 7: Recomendaciones que se deben de tomar.

Además, se proponen algunas acciones que Axalta debe de llevar a cabo para reducir en un 20% los riesgos existentes son:

Precauciones personales.	Utilizar el equipo de protección personal adecuado. Eliminar las fuentes de combustión. Protocolo de la evacuación de la zona de riesgo.
Precauciones relativas al medio ambiente.	Aplicar medidas destinadas al medio de ambiente. Mantener la fuga alejada del drenaje. Resguardar los objetos que estuvieron en contacto con la fuga provocada por el accidente.
Limpieza del derrame ofuga.	Cierre de ductos del drenaje. Instalar revestimiento para la zona contaminada. Colocación de muros para detener el flujo líquido.

Figura 8: Acciones que se deben de tomar.

CONCLUSIONES

Mediante el protocolo de investigación enfocado en la organización se pudo identificar de manera puntual una solución a medida aplicable al problema detectado en el área de trabajo de almacén donde el análisis de los diferentes factores que intervienen en las labores fue determinante para considerar a elección que el plan de capacitación aunado al manual de ser aplicados serán un punto de conversión para que las operaciones internas no sean un riesgo para la integridad física de los trabajadores.

Podemos concluir que mediante la investigación realizada uno de los problemas del manejo de las sustancias peligrosas de la empresa Axalta fue la poca capacitación del personal, por lo cual se propuso un plan de capacitación de personal que posteriormente se implementará para analizar el impacto y alcance que se tendrá dentro del almacén e inclusive en otras áreas de la empresa.

Con este se buscará disminuir en un porcentaje considerable el numero de accidentes potenciales que pueden ocurrir dentro de la empresa Axalta.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ballou, R. H. (2004). *Logística Administración de la cadena de suministro*. México: PEARSON EDUCACIÓN.
2. De trabajo, p. E. L. C. Norma oficial mexicana nom-018-stps-2015, sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Al margen un sello con el escudo nacional, que dice: estados unidos mexicanos. -secretaría del trabajo y previsión social.
3. Emergencias, S. N. (2020). Tipos de sustancias peligrosas. Gub.uy, 3.

4. Gonzales, D. B. (2007). Manejo de Materiales y Residuos peligrosos . México: INECC.
5. De la Federación, D. O. (2015). Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas. peligrosas en los centros de trabajo. México. Fecha de publicación.
6. Jiménez, M. Á. (2017). *Diseño y Organización del Almacén*. Antequera, Málaga: Iceditorial.
7. Prida, J. A. (2015). NORMA Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015, Sistema armonizado la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. México: Diario Oficial de la Federación .
8. Tamayo, M. T. (2003). El proceso de la investigación Científica (Cuarta edición ed.). (G. N. Editores, Ed.) Mexico, D. F.: Limusa, S. A. de C. V.
9. Tornero, I. A. (09 de 2017). Diseño de almacén para el lanzamiento de un nuevo producto en el entorno de la industria aeronáutica. Madrid, España.
10. Velázquez, E. V. (2012). *Canales de distribución y logística* (1ra Edición ed.). Estado de México.: RED TERCER MILENIO S.C.

CARCASA Y ESTRUCTURA DE SOPORTE PARA PROTOTIPO RECOLECTOR DE DESECHOS SÓLIDOS EN CUERPOS DE AGUA

Tomás Ramos Santos¹, Benjamín Hernández Briones², Luis Antonio Bonilla Jiménez²

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez
tomsoc_2@hotmail.com

RESUMEN

La contaminación de los cuerpos de agua se da principalmente por el arrojamiento de desechos sólidos, estos en su mayoría se encuentran flotando sobre el agua y dañan los ecosistemas afectando a la flora, fauna y sobre todo a la salud de las personas generando intoxicaciones y enfermedades infecciosas, motivo por el cual debemos mantener siempre limpios los cuerpos de agua buscando alternativas para su limpieza y desinfección.

Derivado del problema al que nos enfrentamos hoy en día con más frecuencia han surgido organismos que realizan campañas de limpieza de cuerpos de agua y que año con año se reúnen para llevar a cabo esta iniciativa mundial, esta actividad es vital para crear conciencia del cuidado del medio ambiente y sobre todo de los cuerpos de agua. Como lo hemos observado en las campañas de limpieza se requiere de mucho tiempo y cantidad de personas para lograr reducir los desechos sólidos de los cuerpos de agua, así como hacerlo más a menudo para que se vuelva un hábito.

El proyecto desarrollado tiene como finalidad aportar de manera significativa a la limpieza de los cuerpos de agua creando un prototipo el cual ayude a realizar las tareas de recolección de desechos sólidos de manera más eficiente resaltando el menor tiempo para realizar la actividad. Es por ello que se presenta la manera de como a partir de un diseño anteriormente trabajado llevar a la parte física el prototipo en el cual se demuestra el material adecuado para fabricarlo que de acuerdo a pruebas se definió que el material correcto es la fibra de vidrio por las ventajas que presenta con respecto a otros materiales como la versatilidad. La fibra de vidrio es el material compuesto de filamentos de vidrio que puede adoptar diversas formas como mallas y tejidos. Es un material muy ligero, resistente y es aislante térmico. Se utiliza en aplicaciones que involucran la construcción, la impermeabilización, la creación de partes de piezas rígidas y muchas más aplicaciones.

Para obtener las características necesarias del prototipo donde la principal es poder flotar en el agua se demuestra paso a paso el procedimiento para la fabricación respetando la arquitectura y forma, que de acuerdo al diseño previo se determinó tener la apariencia de una tortuga marina; así como usar correctamente el material que es la fibra de vidrio, la resina y aditivo con los porcentajes adecuados para una buena consistencia y fácil manejo de la materia prima.

Siguiendo las indicaciones adecuadas en el uso de la materia prima se consiguió un buen prototipo que en base a pruebas se demuestra su flotabilidad en el agua que es la principal característica para poder realizar la recolección de desechos sólidos logrando un rápido traslado y reduciendo los tiempos en la limpieza de cuerpos de agua.

Hoy en día para poder generar conciencia ambiental es necesario crear alternativas para combatir, solucionar y ganar pequeñas batallas ante los problemas ambientales que el mismo ser humano ha provocado. Este prototipo recolector de desechos sólidos en cuerpos de agua se le dio una apariencia de animal acuático (tortuga marina), para despertar esa conciencia en las presentes y futuras generaciones sobre nuestra realidad ambiental que está dañando el hogar en el que vivimos afectando nuestra calidad de vida.

INTRODUCCIÓN

El tema de los residuos sólidos urbanos, no es nuevo pues nace de las actividades que realizamos nosotros como seres humanos. La influencia del hombre sobre el equilibrio ecológico desde su aparición en la tierra, es por esto que se realizan estudios y desarrollo de nuevas alternativas de manejo de los desperdicios y que son de mucha importancia hoy en día para tratar de disminuir en algo la problemática de los residuos. Una manera de aportar al cuidado del medio ambiente es con la limpieza de cuerpos de agua de manera eficiente con la ayuda de un prototipo recolector de estos desechos sólidos que a diario generamos y la mayoría termina en los cuerpos de agua.

A nivel mundial se produce entre 8000 y 10000 millones de toneladas de desechos de todo tipo, según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

El proceso de desarrollo urbano implica crecimiento poblacional, lo que implica cambios en patrones de consumo e incremento, siendo estos los principales factores que explican el aumento en la generación de residuos y con ello la contaminación.

La estrategia de diseño que se utilizó antes de tomar una decisión para la creación del prototipo recolector de basura en cuerpos de agua, fueron los aspectos donde se incluyen su forma o arquitectura, su eficiencia y duración. Dentro del ámbito arquitectónico y de forma se creó un diseño o boceto con el concepto de un recipiente hueco con la forma de tortuga marina para tener flotabilidad y poder trasladarse sobre el agua, por ejemplo, como si fuese un barco creando la acción de recoger la basura pero manipulado a distancia. El reto principal para la fabricación fue la elección del material adecuado para cubrir con las características del prototipo y este fue la fibra de vidrio por las ventajas que tiene sobre otros materiales.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño base para la fabricación de carcasa

Para poder llevar a cabo la fabricación del prototipo recolector de desechos sólidos, se diseñó previamente en el programa Blender 2.81 la forma y apariencia del prototipo.

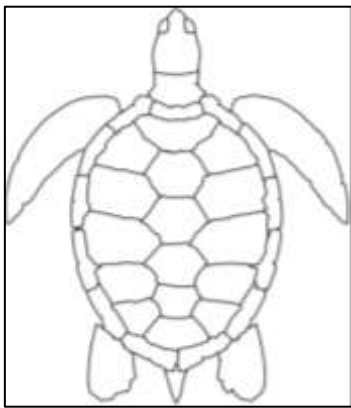


Figura 1. Diseño tortuga marina

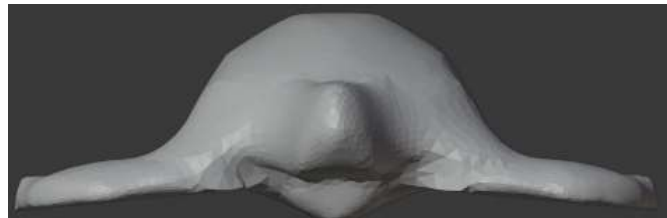


Figura 2. Vista frontal

Se tomó como referencia para el diseño de prototipo de la tortuga marina las medidas del caparazón de 35 centímetros de largo y 30 centímetros de ancho. Con estas dimensiones se realizó el acabado en las figuras que tiene el caparazón en forma de hexágonos y posteriormente se procedió a realizar sus respectivas piezas, como son: patas traseras y patas delanteras.

Molde de fabricación.

Una vez que se obtuvo el diseño del prototipo, se procedió a conseguir el molde para la fabricación del caparazón de la tortuga marina, para esto nos apoyamos de un objeto que tuviera una apariencia cercana a la carcasa de la tortuga, se consiguió un caparazón de armadillo el cual por las dimensiones apropiadas nos facilitó la tarea de crear el molde.



Figura 3. Caparazón de amarillo

Teniendo el molde de caparazón similar al de la tortuga marina, el siguiente paso es buscar el material más apropiado para fabricar la tortuga, el material debe de cumplir ciertas características en cuestión de dureza, buena estabilidad y resistencia hidrodinámica logrando así un prototipo con los requerimientos adecuados.

Para este caso se buscaron materiales que cumplieran con las características deseadas. La fibra de vidrio debido a que es el material que cumple más con las características que estamos buscando, y que mediante pruebas se sabe que este material tiene un buen comportamiento al utilizarlo para fabricar piezas que pueden flotar en el agua fue el indicado para el prototipo.

Ventajas que ofrece la fibra de vidrio	
Versatilidad	Con este material se pueden fabricar todo tipo de piezas.
Resistencia química	La fibra de vidrio es un material de una gran resistencia tanto mecánica como a la corrosión.
Peso ligero	Es muy fácil de manipular y además permite reducir el peso de las estructuras de apoyo.
Bajo mantenimiento	No requieren de ningún tipo de mantenimiento especial, incluso después de muchos años en aplicaciones externas.

Tabla 1. Características de la fibra de vidrio

Preparación del material para fabricar carcaza

1. Como inicio se cubre de papel el molde a utilizar dando forma y apariencia al caparazón de la tortuga.



Figura 4. Corte de papel y fibra de vidrio



Figura 5. Caparazón cubierto de papel

2. Se prepara la mezcla resina de fibra de vidrio con el catalizador. En un recipiente se le agrega cinco mililitros de resina y tres gotas de catalizador, una vez teniendo en cuenta estos datos, se procede a realizar la mezcla de las dos sustancias hasta que cambie de color.



Figura 6. Vaciado de resina



Figura 7. Agregado de catalizador

3. Aplicar la mezcla con la ayuda de una brocha en el molde, teniendo en cuenta de que el objeto debe de quedar bien húmedo y cubierto.



Figura 8. Aplicación de mezcla a caparazón



Figura 9. Colocación capa de fibra de vidrio

4. Se espera un tiempo para que seque y se procede a cortar los excesos de la fibra de vidrio llegando al tamaño ideal.



Figura 10. Primera capa fibra de vidrio



Figura 11. Segunda capa fibra de vidrio

5. Repetir el mismo proceso, pero ahora se debe de aplicar sobre las capas. Se debe aplicar algo de fuerza para que quede bien estático y firme dejándolo secar por un tiempo.



Figura 12. Caparazón de tortuga marina con tres capas de fibra de vidrio.

RESULTADOS

Uno de los factores importantes a conseguir al momento de fabricar la carcasa del prototipo recolector de desechos sólidos en cuerpos de agua fue conseguir un material que tenga las características mínimas y necesarias para permitir la flotabilidad, ligereza, resistencia, durabilidad y sobre todo económico para poder determinar las ventajas con respecto a otros prototipos.

La fibra de vidrio es muy versátil para trabajarlo y con esto se logró obtener un prototipo con una excelente apariencia y forma a una tortuga marina, que en su interior cuenta con el espacio suficiente para poder colocar en un futuro los sistemas de transmisión de movimiento y control para su correcta manipulación.



Figura 13. Carcasa de tortuga marina

CONCLUSIONES

Para poder fabricar el prototipo de la tortuga marina la parte importante e indispensable fue contar con el diseño y molde con la forma parecida al cuerpo de la tortuga. Posterior a esto el saber utilizar y manejar de manera adecuada la fibra de vidrio ayudó a que se consiguiera una buena apariencia del prototipo.

Este prototipo sirvió de gran ayuda para poder realizar las pruebas de flotabilidad, traslado y recolección de desechos sólidos buscando mejoras al prototipo agregando dispositivos para su control a distancia.

Es vital mencionar que con el proyecto se busca despertar la conciencia hacia el medio en los jóvenes y niños que son nuestras generaciones futuras para el cuidado del ambiente.

BIBLIOGRAFÍA

1. El gran libro de Autodesk Inventor. Páginas: 478 Edición: 1, ISBN: 9788426726704
2. Montes, L. (28 de Octubre. de 2019). businessinsider. Obtenido de businessinsider: s/robot-recoge-100000-kilos-plasticos-rios-contaminados-518695
3. ALOU, N. (5. de Marzo. de 2019.). LA VANGUARDIA. Obtenido de LA VANGUARDIA.: <https://www.lavanguardia.com/natural/tu-huella/20190305/46858043706/wasteshark-dron-acuatico-recoge-basura-marina-tecnologia-contaminacion-agua.html>
4. Barba, M. (15 de Julio de 2018). Blogthinkbig. Obtenido de Blogthinkbig: <https://blogthinkbig.com/plastico-marino-robot-nina-12-anos>
5. "Estadísticas del Agua en México", edición 2018, pp. 58-65

TÉCNICAS DE CORRIMIENTO DE FASE POR POLARIZACIÓN EN INTERFEROMETRÍA ELECTRÓNICA DE MOTEADO

German Reséndiz López¹, Luis Enrique San Agustín San Agustín¹, Gisela Yamín Gómez Mohedano², Gustavo Adolfo Gómez Mendez¹, Amalia Martínez García³, Luis García Lechuga¹, Juan Manuel Islas Islas¹ y Noel Ivan Toto Arellano¹

¹Cuerpo Académico de Ingeniería Ciencias e Innovación Tecnológica, Universidad Tecnológica de Tulancingo, Hgo,43645. ²Universidad Politécnica de Tulancingo, Centro de Investigaciones en Óptica, A. C
gresendizl@utectulancingo.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo, se presenta la implementación de un sistema para el estudio de superficies difusas usando un interferómetro con sensibilidad fuera de plano, aplicando la técnica de corrimiento de fase por polarización, para la obtención del campo de desplazamiento de muestras estáticas. La medición del campo de desplazamiento es importante en mecánica experimental para la evaluación de las propiedades mecánicas de materiales y puede tener aplicaciones en el sector productivo para el control de calidad. En nuestro reporte para obtener la fase óptica se usó la técnica de corrimiento de fase por etapas usando polarización, obteniendo dos patrones, capturados en dos tomas de la cámara, a partir del conocimiento de la fase óptica se calculó el campo de desplazamiento para una probeta de aluminio.

INTRODUCCIÓN

A los patrones de moteado se les denomina actualmente como “speckle” o moteado y se puede definir como “la distribución aleatoria de intensidad luminosa que se forma cuando la luz coherente se refleja en una superficie ópticamente rugosa o se propaga a través de un medio difusor”, entendiéndose como superficies rugosas a aquellas cuyas variaciones de altura a escala microscópica son del orden de la longitud de onda de la luz o mayores. El efecto speckle se observa en fenómenos como radioastronomía, radar de apertura sintética, difusión de rayos X, difusión de electrones, sonar, microscopía acústica, entre otros [1-5]. Los puntos de una superficie ópticamente rugosa iluminada con luz coherente pueden ser considerados como focos emisores de ondas coherentes entre sí, de cuya superposición resulta la onda luminosa difundida. Dado el carácter aleatorio de la distribución de altura de las superficies rugosas, las amplitudes y las fases iniciales de estas ondas elementales toman valores distribuidos también aleatoriamente; a medida que se propagan a través del espacio, interfieren entre sí dando lugar al patrón de intensidad y fase aleatoriamente distribuida que denominamos patrón de speckle, ver Fig. 1.



Figura1. Patrón de moteado (speckle).

INTERFEROMETRÍA ELECTRÓNICA DE MOTEADO

Para explotar la sensibilidad de la fase del speckle es necesario convertir sus cambios en variaciones de la intensidad, y ello se consigue haciendo interferir el patrón original bien con un haz de referencia uniforme o bien con otro patrón de speckle, obtenidos con la misma fuente de luz. Prácticamente todos los interferómetros clásicos tales como el Michelson, Mach-Zehnder, Fizeau, entre otros, han sido o pueden ser adaptados para trabajar con patrones de speckle. De la superposición coherente de dos campos luminosos perfectamente monocromáticos, de la misma longitud de onda y

polarizados linealmente según la misma dirección (ya sean uniformes o patrones de speckle) resulta un tercer campo que viene dado por la suma o resta de las de los campos interferentes en cada instante y punto del espacio, dado por la ecuación (1) [5-7].

$$(I - I') = +2\sqrt{I_{ob}I_{ref}} [\cos(\psi) - \cos(\psi + \Delta\phi)]$$

$$(I - I') = 4\sqrt{I_{ob}I_{ref}} \sin\left(\psi + \frac{\Delta\phi}{2}\right) \sin\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) \quad (1)$$

Donde I_{ob} es la intensidad del haz objeto y I_{ref} es la intensidad del haz de referencia. I e I' son las intensidades antes y después de una deformación inducida en el objeto, siendo $\Delta\phi$ la variación de fase asociada al haz de objeto. Las intensidades anteriores son sumadas o restadas digitalmente para obtener una nueva distribución. Cuando las intensidades son sumadas aparece un término adicional de fondo en la distribución de intensidades que disminuye la visibilidad del patrón de interferencia, por lo que en muchos casos se prefiere usar la distribución que se obtiene al restar las intensidades como se muestra en la ecuación (1), donde además se ha supuesto que la deformación cambia la fase, pero no la amplitud, es decir $I'_{ob} = I_{ob}$. Aquí la raíz cuadrada describe la iluminación del fondo. El primer término seno da el ruido del speckle que varía aleatoriamente de pixel a pixel. Este ruido es modulado por el seno de la mitad de la diferencia de fase inducida por la deformación, esta modulación de baja frecuencia de la alta frecuencia del ruido de moteado es reconocido como el patrón de interferencia. En la Fig. (2) se muestra la distribución de que se obtiene al restar las intensidades [8-11].

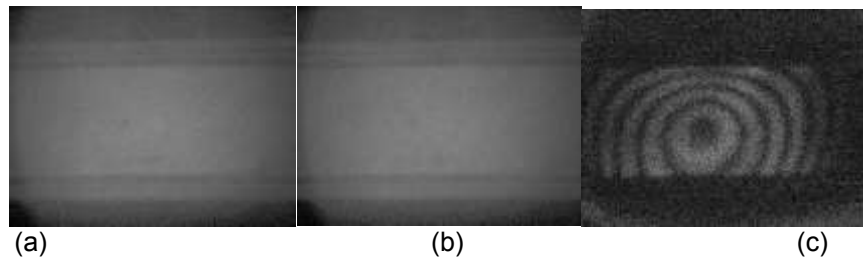


Figura 2. (a) Imagen de referencia I . (b) Imagen después de la deformación I' . (c) Correlación de patrones de moteado para la obtención de interferencia.

MEDICIÓN DE DESPLAZAMIENTO FUERA DE PLANO

La sensibilidad a los desplazamientos normales del objeto según la dirección de observación se obtiene haciendo que las direcciones de iluminación y observación sean paralelas entre sí. habitualmente son además normales a la superficie del objeto. Se emplea un solo haz de iluminación (el haz del objeto) y un haz de referencia que puede ser uniforme o bien con speckle. La diferencia fundamental entre emplear un haz de referencia uniforme o uno con speckle estriba en las propiedades estadísticas del interferograma resultante. Para el caso de sensibilidad fuera de plano debemos considerar iluminación colimada y calcular la diferencia de camino óptico de acuerdo a la geometría de la configuración; se calcula la diferencia de camino óptico introducido por un desplazamiento del objeto. Si consideramos un punto P y la posición de un punto de la superficie antes del desplazamiento y P' la posición del mismo punto después del desplazamiento [5,10]. El ángulo de iluminación es representado como θ , por lo que la diferencia de fase asociada puede ser expresada como:

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} [w(1 + \cos\theta) + u \sin\theta] \quad (2)$$

Si θ es menor de 5° , es decir aproximación para ángulos muy pequeños, podemos realizar la siguiente aproximación: $\cos(\theta) \approx 1$ y $\sin(\theta) \approx 0$, de esta forma la ecuación (2) se puede aproximar a [11-12]:

$$\Delta\phi = 4\pi \frac{w}{\lambda} \quad (3)$$

CORRIMIENTO DE FASE POR POLARIZACIÓN

Para el alcance de este proyecto se considera que el grado de polarización generado por la superficie rugosa es mínimo y no cambia los estados de polarización [12-13], experimentalmente esto se logra colocando el polarizador entre el objeto difuso y la cámara CCD. Considerando lo anterior, si los dos haces reflejados por la superficie rugosa tienen polarizaciones circulares con giros opuesto, se puede demostrar que el patrón de interferencia resultante es:

$$I(x, y) = A + B \cos[2\Psi - \Delta\phi(x, y)] \quad (4)$$

La ecuación (4) muestra que se pueden generar corrimientos de fase $\xi=2\Psi$ cambiando el ángulo del polarizador. En este caso en particular, se obtendrán dos patrones con corrimientos relativos dados por $2\Psi_1$ y $2\Psi_2$, por lo que en general la ecuación (5) para los dos patrones se puede expresar como [13-16]:

$$I_1 = \|\vec{J}_{\Psi_1}\| = a + b + 2\sqrt{ab} \cos[2\Psi_1 - \Delta\phi] \quad (4.25.a)$$

$$I_2 = \|\vec{J}_{\Psi_2}\| = a + b + 2\sqrt{ab} \cos[2\Psi_2 - \Delta\phi] \quad (4.25.b), \quad (5)$$

Para este caso general a y b representan la intensidad del objeto y del haz de referencia respectivamente, y como ya se mencionó $\Delta\phi$ es la diferencia de fase entre el objeto y el haz de referencia, $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$. El término $2\Psi_i$ está asociado con el corrimiento de fase (ξ), el cual se genera girando el eje de transmisión del polarizador lineal un ángulo Ψ .

ALGORITMO PARA LA RECUPERACIÓN DE LA FASE ÓPTICA

En la sección anterior se mostró la forma en que se generan corrimientos de fase en los patrones usando filtros polarizadores lineales. Los patrones muestran pequeñas variaciones en la amplitud dependiendo del grado de polarización de los frentes de onda que interfieren, de acuerdo a las referencias [16-21]. Los corrimientos de fase usados en este trabajo fueron para los ángulos del polarizador Ψ , de 0° y 5° ya que estos generan una intensidad comparable en el patrón de interferencia, ya que es una condición esencial para la implementación del algoritmo de dos pasos. Considerando esto, es necesario colocar un polarizador lineal en un ángulo: $\Psi_1=0^\circ$ para capturar el primer interferograma, y en: $\Psi_2=5^\circ$ para capturar el segundo, generando los respectivos cambios de fase (ξ) de 0° y 10° . Debido al paso no uniforme, la fase resultante puede tener pequeños saltos, sin embargo, esto puede solucionarse aplicando un estimador de corrimiento de fase entre los interferogramas [18-21], para conocer el paso exacto. Un estimador supone que la amplitud y la intensidad de fondo son constantes; por lo tanto, los patrones deben ser pre-procesados para poder calcular la fase [16-21]. En este trabajo, el estimador reportado por Vargas et al en [20] se utiliza para obtener la fase. Entonces, la fase óptica se obtiene a partir de:

$$\Delta\phi \cong \arctan(-\tilde{I}_1/\tilde{I}_2), \quad (6)$$

Donde \tilde{I}_1 e \tilde{I}_2 son los patrones de interferencia normalizados. Para el desenvolvimiento de la fase, se implementó una aproximación recursiva [18-20]. Podemos calcular el desplazamiento fuera de plano w , como:

$$w = \frac{\Delta\phi}{e_z} \quad (7)$$

Con e_z el vector de desplazamiento fuera de plano.

MEDICIÓN DEL CAMPO DE DESPLAZAMIENTO MEDIANTE TÉCNICAS DE CORRIMIENTOS DE FASE POR POLARIZACIÓN

Se realizó el diseño y montaje experimental de un sistema ESPI fuera de plano, y se generaron corrimientos de fase operando un polarizador lineal, con el cálculo de la fase óptica se pudo medir la componente $w(x,y)$ del vector de desplazamiento. En este experimento el objeto de prueba

corresponde a una probeta de aluminio, la cual fue sometida a un esfuerzo mecánico axial. En la Fig. 3 se muestra el sistema, en el sistema mostrado se ha incorporado las componentes de polarización que corresponden a un polarizador lineal a 45° en el haz incidente P_{45° , en cual se divide por el BS_1 , en el haz que iluminara al objeto (Haz A) y el haz que servirá como referencia (Haz B). En la trayectoria del haz objeto A, se coloca el sistema P_A-Q_A como se muestra en el diagrama para generar un estado de polarización circular a izquierda. En la trayectoria del haz de referencia, se coloca el sistema P_B-Q_B como se muestra en el diagrama para generar un estado de polarización circular a derecha, de esta forma los haces que emergen del divisor de haz BS_2 tienen polarizaciones circulares cruzadas. Dadas las propiedades de polarización de los haces que interfieren, en esta etapa no se puede observar un patrón de franjas, para obtener el patrón de franjas, se debe colocar un polarizador lineal P_0 , de esta forma, girando el polarizador se introducirá un corrimiento de fase, observando patrones de franjas con corrimientos de fase deseados. En la Fig. 3 el sistema de detección o captura de las imágenes está representado por la lente zoom (L_0) y la cámara CMOS.

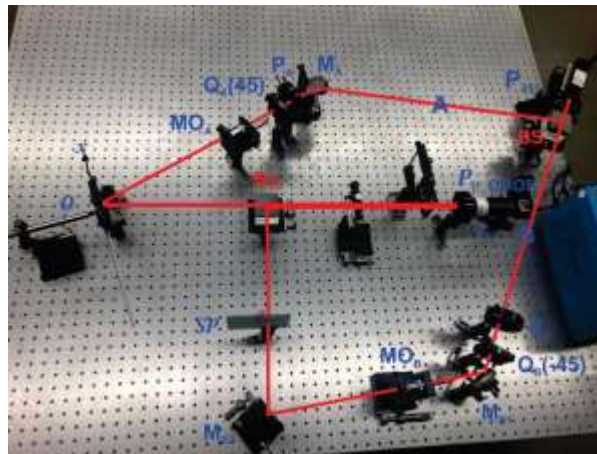


Figura 3. Interferómetro basado en la técnica de interferometría electrónica de moteado empleando la técnica de corrimiento de fase por polarización.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El láser usado en el experimento tiene una longitud de onda $\lambda=632$ nm, los objetivos de microscopio usados para expandir los haces (**MO**) tienen una magnificación de 40X. En la trayectoria del Haz **B** se colocó la componente **SP** para compensar los efectos de dispersión; la cámara CMO, tiene una resolución de 2056×1542 píxeles, (tamaño del pixel: $3.45 \mu\text{m} \times 3.45 \mu\text{m}$). En el trabajo reportado no se puede conocer el esfuerzo mecánico o la carga axial aplicada sobre la probeta, ya que no se cuenta con un medidor de fuerza, la fuerza sobre la probeta fue generada con un tornillo de desplazamiento. En la Fig. 4 se muestran los patrones experimentales obtenidos con el sistema desarrollado, en 4(a) se muestran los patrones de speckle antes de la deformación para los ángulos del polarizador de 0° y 5° , tomados en dos etapas o tomas de la cámara, el recuadro blanco representa el área de interés para la cual se recuperará la fase óptica. En la Fig. 4(b) se muestran los patrones de speckle después de generar una carga sobre la probeta, para los ángulos del polarizador de 0° y 5° , tomados en dos etapas. En la Fig. 4(c) se muestran los Patrones de interferencia que resultan de la resta de los dos estados mostrados en 4(a) y 4(b), antes y después de aplicar la carga. Se puede observar que se tienen cambios en el contraste de las franjas debido a los cambios en los estados de polarización, sin embargo, al momento de procesar las franjas se normalizaron, ello permite usar en este caso el algoritmo de dos. Experimentalmente, las variaciones de contraste se pueden minimizar ajustando los polarizadores P_A y P_B .

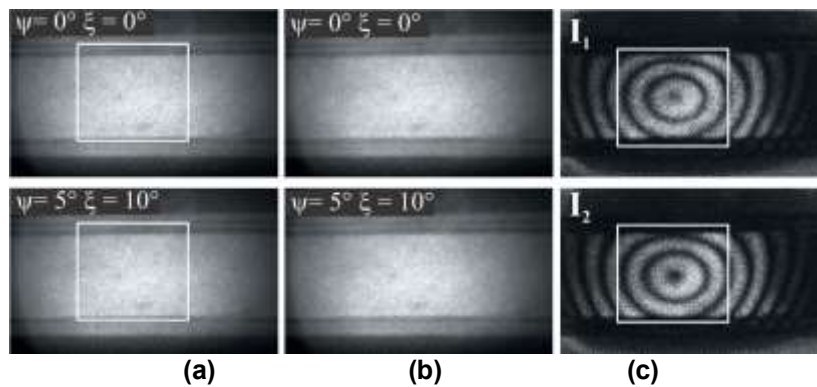


Figura 4. Resultados experimentales. (a) Patrón de referencia antes de la carga. (b) Patrón después de la carga. (c) Patrones de speckle.

En la Fig.5, se presenta los resultados procesados a partir de los dos interferogramas con corrimientos relativos de 10° . La Fig. 5(a) muestra la fase envuelta, en 5(b) se muestra la fase desenvuelta. La componentes fuera de plano $w(x,y)$, del vector de desplazamiento, calculado a partir de la fase óptica con la ecuación (7), se muestran en 5(c) y 5(d) los cuales representan el mapa de desplazamiento en 2D y 3D respectivamente.

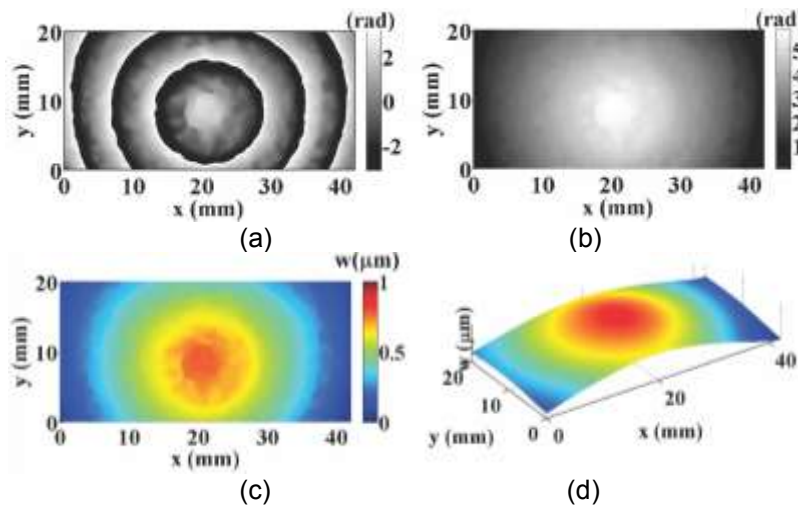


Figura 5. Resultados experimentales. (a) Fase envuelta. (b) Fase desenvuelta [rad]. (c) Campo de desplazamiento fuera de plano en 2D. (d) Campo de desplazamiento fuera de plano en 3D.

CONCLUSIONES

En este trabajo, se implementó un sistema ESPI con sensibilidad fuera de plano para la obtención del campo de desplazamiento de muestras estáticas. Para obtener la fase óptica se usó la técnica de corrimiento de fase por etapas usando polarización con dos patrones, se calculó el campo de desplazamiento para una probeta de aluminio. En esta etapa de la investigación debido a que se hacen corrimientos de fase por etapas, solo se pueden estudiar muestras estáticas, sin embargo, como trabajo a futuro, se pretende adaptar el sistema para generar dos interferogramas de forma simultánea y poder realizar estudios de eventos dinámicos.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de este trabajo que forma parte del proyecto titulado "Estudio de las propiedades físicas de estructuras y microestructuras dinámicas de fase usando propiedades de polarización con

interferometría de corrimiento de fase simultaneo” (A1-S-20925) aprobado bajo la Convocatoria de Investigación Científica Básica 2017-2018 del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación.

Este trabajo este dedicado a la Memoria del Dr. Gustavo Rodríguez Zurita.

Este trabajo este dedicado a la Memoria del Dr. Gustavo Rodríguez Zurita



El Dr. Gustavo Rodríguez Zurita, se nos adelantó el 21 de abril de 2020 y subió a tomar su lugar entre las estrellas.

Él Zura nos enseñó que,
“Si podemos hacer algo bueno por los demás, tenemos la obligación de hacerlo”

No nos alcanzará la vida para lamentar su pérdida, pero seguiremos trabajando arduamente en Su memoria por “*el bien de todos*”.

Siempre vivirás en nosotros.

REFERENCIAS

1. J. K. Gåsvik, Optical Metrology, John Wiley & Sons., Third Edition, 2002.
2. R. J. Collier, C. B. Burckhardt and L. H. Lin, Optical Holography. London: Academic Press, INC., 1971.
3. M. Anguiano-Morales, A. Martínez, G. Garnica, J.A. Rayas, F. Mendoza Santoyo, Micro- and macro deformation measurement by extension of correlation technique, *Optik* 122(18), 2011, pp. 1642-1645.
4. H. J. Puga, R. Rodríguez-Vera, A. Martínez, General model to predict and correct errors in phase map interpretation and measurement from out-of-plane ESPI interferometers, *Optics and Lasers Technology*, 34(1), 2002, pp. 81-92.
5. A. Martínez, R. Rodríguez-Vera, J. A. Rayas, H. J. Puga, Fracture detection by moiré interferometry and ESPI techniques, *Optics and Lasers in Engineering*, 39, No. 5-6, 2003, pp. 525-536.
6. UAM. Óptica: Principio de Huygens-Fresnel. Abril 12, 2016, de mediawiki Sitio web (2015): http://luz.izt.uam.mx/mediawiki/index.php/Optica:_Principio_de_Huygens-Fresnel.
7. G. L. Cloud, Light and Interference, en *Optical Methods of Engineering Analysis*, Cambridge: Cambridge University, 1995, pp. 29-31.
8. M. Born and E.Wolf, Principles of Optics Electromagnetic Teory of Propagation, Interference and Diffraction of Light, Cambridge University Press, 7th edition, 1999.
9. G. L. Cloud, Laser Speckle and combinations of speckle Fields en *Optical Methods of Engineering Analysis Cambridge: Cambridge University*, 1995, pp. 395-399.
10. A. M. Fernandez Doval, Una aproximación sistemática a la holografía-TV y desarrollo de nuevas técnicas para la cuantificación y el análisis de magnitudes dinámicas con periodicidad temporal. Vigo: Universidad de Vigo Departamento de Física Aplicada, 1997.
11. R. Rodríguez-Vera, J. A. Rayas, Amalia Martínez, A. Dávila, Algunas aplicaciones industriales de la interferometría electrónica de patrones de moteado. Simposio de Metrología, Centro Nacional de Metrología: Santiago de Qro., 2001, pp. D3-6 a D3-11.
12. J. Puga Soberanes, Algunos Avances en el estudio de una interface ESPI-FEM para análisis de estructuras mecánicas. León, Gto: Centro de Investigaciones en Óptica, 2002.

13. Gustavo A. Gómez-Méndez, Gustavo Rodríguez-Zurita, Amalia Martínez-García, Yukitoshi Otani, David I. Serrano-García, Luis García-Lechuga, and Noel Ivan Toto-Arellano, "Phase stepping through polarizing modulation in electronic speckle pattern interferometry," *Appl. Opt.* 59, 2020, pp. 6005-6011.
14. Noel-Ivan Toto-Arellano, Gustavo A. Gómez-Méndez, Amalia Martínez-García, Yukitoshi Otani, David I. Serrano-García, Juan Antonio Rayas, Gustavo Rodríguez-Zurita, and Luis García-Lechuga, "Dynamic parallel phase-shifting electronic speckle pattern interferometer," *Appl. Opt.* 59, 2020, pp. 8160-8166.
15. H. Z. Hu, Polarization heterodyne interferometry using a simple rotating analyzer. 1: Theory and error analysis, *Applied Optics*, 22(13), 1983, pp. 2052-2056.
16. M. N. Morris, J. Millerd, N. Brock, J. Hayes, and B. Saif, Dynamic Phase-Shifting Electronic Speckle Pattern Interferometer, *Proc. SPIE*, 2005, pp. 5869, 58691B-1.
17. D. I. Serrano-García, N.I. Toto-Arellano, A. Martínez García, J.A. Rayas Álvarez, A. Téllez-Quifones, G. Rodríguez-Zurita, Simultaneous phase-shifting cyclic interferometer for generation of lateral and radial shear, *Rev. Mex. Fís.* 57, 2011, pp. 0255.
18. N. Egidi and P. Mañoni, "A comparative study of two fast unwrapping algorithms". *Appl. Math. Comp.* 148, 2004, pp. 599-629.
19. A. Baldi, F. Bertolino and F. Ginesu. "On the performance of some unwrapping algorithms". *Opt. Laser Eng.* 37, 2002, pp. 313-330.
20. . M. Servin, J. C. Estrada, and J. A. Quiroga, "The general theory of phase shifting algorithms," *Optics Express*, Vol. 17, 2009, pp. 21867-21881.
21. . J. Vargas, J. A. Quiroga, C. O. S. Sorzano, J. C. Estrada, and J. M. Carazo, "Two-step demodulation based on the Gram-Schmidt orthonormalization method," *Optics Letter*, Vol. 37, No. 3, 2012, pp. 443-445.
22. M. Servin, J. A. Quiroga, and J. M. Padilla, *Fringe Pattern Analysis for Optical Metrology* (Wiley-VCH, Ed.) 2014.

GENERACIÓN DE N-INTERFEROGRAMAS SIMULTÁNEOS CON UN INTERFERÓMETRO DE REJILLA BASADO EN COMPONENTES RECICLADAS

A. Monzalvo Hernández¹, I. Santos Retama¹, R. M. Muñoz Rivera², G. Reséndiz López¹, G. Y. Gómez Mohedano², J. M. Islas Islas¹, A. Quiroz Rodríguez³ y Noel Ivan Toto-Arellano¹

¹Cuerpo Académico de Ingeniería Ciencias e Innovación Tecnológica, Universidad Tecnológica de Tulancingo, Hgo, 43645. ²Universidad Politécnica de Tulancingo, ³Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez.
angelmonzalvo@utectulancingo.edu.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta un sistema interferométrico de corrimiento de fase acoplado a un interferómetro de rejilla, que genera corrimientos de fase simultáneos usando polarización. El sistema base es un interferómetro de Michelson acoplado a un Sistema 4F con rejilla de difracción. Con el Sistema desarrollado se pueden obtener 9 réplicas con intensidades comparables en una sola toma de la cámara, lo que permite extraer fase de distribuciones de fase estáticas y variables en el tiempo. Como este sistema se basa en modulación de polarización, está limitado a muestras no birrefringentes y/o que no cambien el estado de polarización del sistema. La novedad del sistema presentado consiste en que se implementó usando óptica recuperada de componentes electrónicas recicladas obtenidas de lectores de DVD de computadoras en desuso. Las componentes ópticas recuperadas son, divisores cúbicos, rejillas de difracción, lentes, estas componentes se han caracterizado midiendo su transmitancia, reflectividad, eficiencia de transmisión de las rejillas, para verificar que son viables para usarse para mediciones interferométricas dinámicas usando n-interferogramas simultáneos. Se reporta el uso de cuatro interferogramas capturados simultáneamente. El procesamiento de los interferogramas se realiza usando los métodos convencionales para extracción de la fase óptica con algoritmos de cuatro pasos. Se muestran los resultados obtenidos para objetos de fase estáticos y dinámicos.

INTRODUCCIÓN

Las técnicas ópticas no invasivas permiten realizar mediciones de alta precisión de diversos tipos de muestras y de diversas escalas sin contacto [1-8], lo cual es muy útil en diversas áreas de manufactura [7], biomédicas [8] y de investigación [9]. La mayoría de estos sistemas de medición están basados en el procesamiento de la fase óptica, la necesidad de medir la fase óptica con precisión ha permitido el desarrollo de diversas técnicas de medición [10-11], usando un interferograma o una serie de interferogramas con corrimientos de fase conocidos, técnicas de Fourier, algoritmos genéticos entre otros [12-14], el cálculo de la fase óptica permite conocer parámetros físicos de la muestra bajo estudio [15-16]. En este trabajo se ha optado por usar técnicas de corrimiento de fase simultáneo para recuperar la fase óptica, debido a que permiten recuperar la fase usando cámaras convencionales y un número de franjas bajo [17-22]. Algunos autores han reportado sistemas de mediciones dinámicas de objetos de fase usando elementos difractivos [23-24], máscaras pixeladas [7,25-26] o sistemas interferométricos acoplados, que generan n-corrimientos de fase independientes a partir de los cuales se puede calcular la fase óptica [25-26], estos sistemas permiten analizar en etapas o tiempo real las variaciones de objetos de fase [27-34], sin embargo la mayoría de elementos ópticos usados en todos los casos, pudieran ser incosteables para algunos laboratorios, por tal motivo es necesario desarrollar un sistema de bajo costo que pueda realizar mediciones dinámicas de fase con una precisión comparable a los sistemas que usan óptica manufacturada [34-40]. Actualmente la electrónica en desuso es una fuente gratuita de componentes ópticas, con calidad suficiente para realizar investigación de algunas muestras transparentes de interés. En este trabajo se presenta un sistema interferométrico de corrimiento de fase simultáneo basado en polarización y elementos difractivos que se han extraído de las componentes de computadoras en desuso. Para la implementación del sistema que se presenta se han usado divisores cúbicos de 3x3mm, y rejillas de 3mm de diámetro extraídas de los lectores de DVD, en todos los casos las componentes se caracterizaron midiendo, eficiencia de difracción, transmitancia, reflectividad, entre otros parámetros; el sistema completo se probó usando una

iluminación laser convencional. Los resultados experimentales muestran que las componentes ópticas recuperadas pueden ser usadas para análisis de micro-objetos de fase.

RECUPERACIÓN DE ÓPTICA DE COMPONENTES ELECTRÓNICAS

La interferometría permite realizar mediciones de alta precisión de una gran variedad de muestras y de diversas escalas sin contacto [1-8], por ello es necesario reducir los costos de los sistemas interferométricos implementados para este fin. Revisando las componentes electrónicas de computadoras en desuso, se pudieron recuperar, rejillas de difracción (1), rejillas (2), divisores (3), divisores cúbicos (4)-(5) espejos como se muestra en la figura 1. Las rejillas 2D usadas en el arreglo se implementaron con dos rejillas con sus ejes de transmisión ortogonales, estas rejillas fueron recuperadas de lectores de DVD.

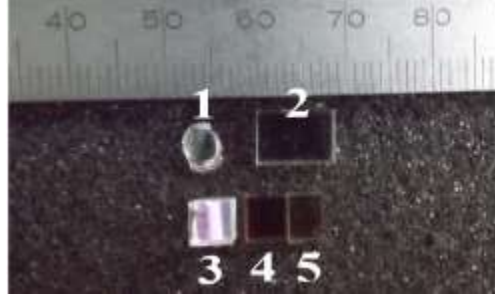


Fig. 1. Componentes ópticas recuperadas. 1: rejillas. 2: Divisor. 3: Divisor cubico. 4-5: Espejos.

SISTEMA DE CORRIMIENTO DE FASE SIMULTÁNEA

El sistema de detección de fase consiste en un interferómetro de Michelson polarizado [24] que genera la superposición de los haces A_{obj} y B_{ref} con polarizaciones circulares con giros opuestos, es decir

$$A_{obj} = \bar{J}_L e^{i\phi_{obj}(x,y)} \quad B_{ref} = \bar{J}_R e^{i\phi(x,y)_{ref}} \quad (1)$$

donde \bar{J}_L tiene polarización circular a izquierda y \bar{J}_R polarización circular a derechas, $\phi(x,y)_{obj}$ y $\phi(x,y)_{ref}$ es el objeto y la fase de referencia respectivamente. Al superponerse los haces de la ecuación (1), y pasar por un polarizador lineal $\bar{P}(\psi)$, colocado a un ángulo ψ [8-9], se obtiene la intensidad del patrón base,

$$I(x,y) = \left| \bar{P}(\psi) [A_{obj} + B_{ref}] \right|^2 \\ = a^2 + b^2 + ab \cos[2\psi_i - \Delta\phi(x,y)] \quad (2)$$

Donde $\Delta\phi(x,y)$ es la diferencia de fase, a^2, b^2 las cuales corresponden a la iluminación de fondo y el término de modulación. La ecuación (2) muestra que se tiene un corrimiento de fase el cual es el doble del ángulo (ψ) del polarizador [41].

REPLICACIÓN DE LOS PATRONES CON REJILLAS EN DOS DIMENSIONES (2D)

Las rejillas recuperadas, son rejillas de transmisión que pueden modelarse en una dimensión como,

$$R(\mu) = \text{Re ct} \left[\frac{\mu}{a_1} \right] \otimes \sum_{n=-N}^N \delta \left[\frac{\mu - n \cdot d}{a_1} \right], \quad (3)$$

donde d es el periodo de la rejillas, a_1 es el ancho de la banda clara de las rejillas (que es igual al ancho de las bandas oscuras), $\delta(\mu)$ denota la función delta de Dirac delta, y \otimes es el símbolo de la convolución. $\mu = u / \lambda f$ es la frecuencia de la coordenada escalada a la longitud de onda λ y a la longitud focal F . La coordenada de frecuencia es u , entonces la transformada de Fourier de la ecuación (3) con $N \rightarrow \infty$ esta dada por

$$\begin{aligned}\tilde{G}(x) &= \frac{a_1}{d} \text{sinc}(a_1 x) \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(x - \frac{n}{d}\right) \\ &= \frac{a_1}{d} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot \delta\left(x - \frac{n}{d}\right),\end{aligned}\quad (4)$$

donde C_n son los coeficientes complejos enésimos de Fourier. Si generalizamos en caso unidimensional a dos dimensiones, se puede considerar usando dos rejillas con sus ejes de transmisión ortogonales, es decir

$$\begin{aligned}G(\mu, \nu) &= G(\mu) \cdot G(\nu) \\ &= \sum_{n=-N}^N \text{rect}\left[\frac{\mu - n \cdot d_\mu}{a_{w\mu}}\right] \cdot \sum_{l=-L}^L \text{rect}\left[\frac{\nu - l \cdot d_\nu}{a_{w\nu}}\right],\end{aligned}\quad (5)$$

donde N, L son el número de componentes de la rejilla, d_μ, d_ν son los respectivos periodos a lo largo de las direcciones “ μ ” y “ ν ”, y a_μ, a_ν son los anchos de las rejillas en las direcciones ortogonales. Si las rejillas tienen el mismo periodo en ambas direcciones; entonces, $d_\mu = d_\nu = d$, y de la misma forma $a_\mu = a_\nu = a_w$. Donde la respectiva transformada de Fourier es:

$$\begin{aligned}\tilde{G}(x, y) &= \tilde{G}(x) \cdot \tilde{G}(y) \\ &= \frac{a_w^2}{d^2} \sum_{n=-N}^N \text{sinc}\left(\frac{a_w}{d} \cdot x\right) \cdot \delta\left(x - \frac{n}{d}\right) \sum_{l=-L}^L \text{sinc}\left(\frac{a_w}{d} \cdot y\right) \cdot \delta\left(y - \frac{l}{d}\right) \\ &= \frac{a_w^2}{d^2} \sum_{n=-N}^N C_{xn} \cdot \delta\left(x - \frac{n}{d}\right) \sum_{l=-L}^L C_{yl} \cdot \delta\left(y - \frac{l}{d}\right)\end{aligned}\quad (6)$$

SISTEMA 4F ACOPLADO

A la salida del interferómetro de Michelson se acopla un sistema 4F con rejilla-2D, con lo cual se generan réplicas del patrón incidente centradas y moduladas alrededor de cada orden de difracción de la rejilla; los corrimientos de fase se pueden generar colocando sobre cada replica un polarizador lineal al ángulo ψ . Considerando la ecuación (2) y (6), las réplicas $I'(x, y)$ del patrón incidente en el plano imagen del sistema estarían dadas por:

$$I'(x, y) = I(x, y) * |\tilde{G}(x, y)|^2, \quad (7)$$

Se puede demostrar que la ecuación (7) se puede modelar de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}I'(x, y) &= \sum_{n=-N}^N \sum_{l=-L}^L C_{yl}^2 \cdot C_{xn}^2 \cdot I\left(x - \frac{n}{d}, y - \frac{l}{d}\right) \\ &= \sum_{n=-N}^N \sum_{l=-L}^L C_{yl}^2 \cdot C_{xn}^2 \cdot \{a^2 + b^2 + ab \cos[2\psi - \phi(x', y')]\}\end{aligned}\quad (8)$$

ALGORITMO PARA LA RECUPERACIÓN DE LA FASE ÓPTICA

En secciones previas se mostró que las rejillas generan réplicas de los patrones de interferencia. En esta investigación solo usaremos cuatro replicas para usar el algoritmo de 4-pasos de fase, considerando esto, sobre cada replica se necesita colocar un polarizador al ángulo,

$\psi_1 = 0^\circ$ $\psi_2 = 45^\circ$ $\psi_3 = 90^\circ$ $\psi_4 = 135^\circ$ lo cual genera los corrimientos de fase (ξ) de $0^\circ, 90^\circ, 180^\circ$ y 270° [41]. Esto nos permite obtener cuatro interferogramas simultáneos dados por [42-43]:

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= A^2 + B^2 + AB \cos[\phi(x, y)] \\ I_2(x, y) &= A^2 + B^2 + AB \sin[\phi(x, y)] \\ I_3(x, y) &= A^2 + B^2 - AB \cos[\phi(x, y)] \\ I_4(x, y) &= A^2 + B^2 - AB \sin[\phi(x, y)] \end{aligned} \quad (9)$$

A partir de la ecuación (9) podemos obtener la fase óptica a partir de:

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left[\frac{I_2 - I_4}{I_1 - I_3} \right] \quad (10)$$

Esta fase está envuelta entre $[-\pi, \pi]$ debido a la función arco-tangente por lo que se requiere un proceso de desenvolvimiento conocido [43].

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El sistema experimental implementado se muestra en la Fig. 3, un haz láser con una longitud de onda de 530nm incide sobre un polarizador lineal con su eje de transmisión a 45° respecto al eje, lo cual genera un haz incidente polarizado a 45° el cual es filtrado y colimado para generar un frente de onda plano. Para el análisis de las muestras y debido a la escala de las componentes recuperadas se ha usado una lente de 3mm como objetivo para analizar muestras microscópicas.

El sistema microscópico se acopla al interferómetro de Michelson (MI) para generar el patrón polarizado. En el interferómetro de Michelson en el haz A_{obj} y el haz B_{ref} se ha colocado un polarizador lineal a 0 y 90° respectivamente, debido a esto en la salida del MI se tiene un patrón con polarizaciones lineales ortogonales, a continuación, se coloca una placa retardadora de cuarto de onda para generar polarizaciones circulares con giros opuestos [41]. En la salida del MI se acopla un sistema 4F con rejilla 2D en el plano de Fourier para generar réplicas del patrón incidente.

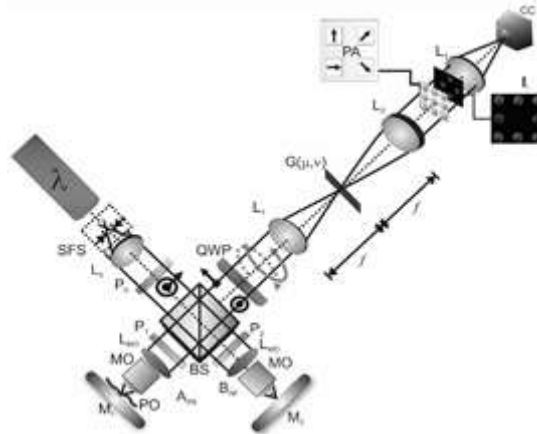


Figura 2. Arreglo experimental. Componentes manufacturadas: SFS: Sistema de filtrado espacial. MO: Objetivo de microscopio. QWP: Placa retardadora de cuarto de onda. L3. Lente zoom. CMOS Cámara. Componentes recicladas: L0: Lentes colimadoras. Pi: Polarizadores lineales. Mi: Espejos. LMO: Lentes colimadoras. BS: Divisor. $G(\mu, \nu)$: rejilla-2D. L1, L2. Lentes del sistema 4f. PA: Arreglo de polarizadores.

RESULTADOS EXPERIMENTALES

El sistema implementado usó un láser operando a 635 nm y una cámara CMOS con una resolución de 2048×1536 píxeles. Para corregir los errores que se pudieran generar por los elementos difractivos, posterior a su captura cada interferograma fue filtrado con un filtro pasa bajas. Para generar los corrimientos independientes, se implementó un arreglo de cuatro polarizadores

colocados en una mascarilla rectangular. En la Fig.3 se muestran los resultados para un frente de onda plano con uso para probar el sistema, en la Fig. 3(a) y 3(b) se muestran los 4 patrones simultáneos obtenidos, en la Fig. 3(c) el mapa de fase envuelta recuperado, se puede notar en la fase óptica recuperada que el frente de onda presenta una pequeña inclinación. En la Fig. 3(d) se ha calculado la diferencia de camino óptico (OPD), la cual se muestra codificada en falso color para mostrar las variaciones de la muestra. Para mostrar las ventajas del sistema implementado probamos un objeto transparente con variaciones temporales, la muestra consistió de la llama de una vela. En la Fig. 4 se muestra una secuencia de frames representativos del mapa de fase con variaciones dinámicas generadas por el calor de la flama de una vela. En las tres imágenes es posible ver la evolución temporal del mapa de fase. Estos resultados muestran que los objetos de fase dinámica se pueden analizar con el sistema óptico propuesto.

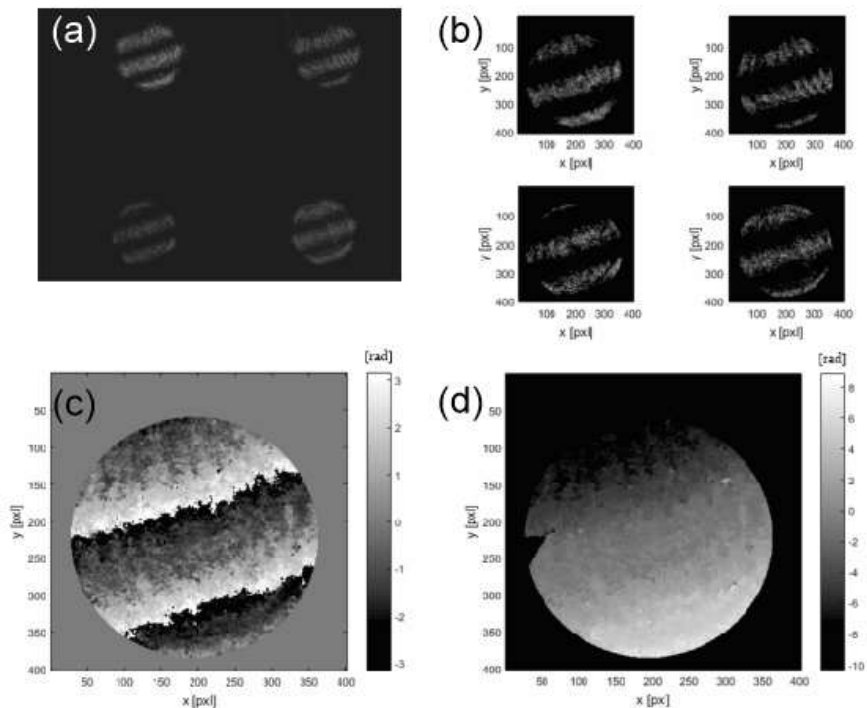


Fig. 3. Frente de onda plano. (a)-(b) Cuatro interferogramas simultáneos. (c) Fase envuelta. (d) OPD. escala 3mm x 3mm.

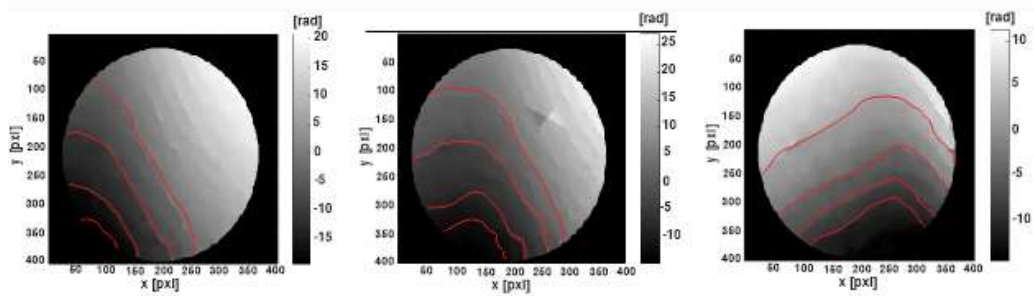


Fig. 4. Evento dinámico. Frames representativos. Escala de 3mm x 3mm.

CONCLUSIONES

Hemos presentado un sistema interferométrico de bajo costo que permite medir los mapas de fase de muestras transparentes estáticas y dinámicas, el sistema usa una rejilla 2D para generar cuatro réplicas del interferograma. Cabe señalar que los elementos utilizados son económicos y de fácil

acceso, por lo que el sistema presentado se puede implementar fácilmente para diversas aplicaciones en interferometría de desplazamiento de fase de polarización de un solo disparo lo que permite la obtención de medidas dinámicas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por su apoyo para la realización de este trabajo que forma parte del proyecto titulado “Estudio de las propiedades físicas de estructuras y microestructuras dinámicas de fase usando propiedades de polarización con interferometría de corrimiento de fase simultáneo” (A1-S-20925) aprobado bajo la Convocatoria de Investigación Científica Básica 2017-2018 del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación.

Este trabajo este dedicado a la Memoria del Dr. Gustavo Rodríguez Zurita

Este trabajo este dedicado a la Memoria del Dr. Gustavo Rodríguez Zurita



El Dr. Gustavo Rodríguez Zurita, se nos adelantó el 21 de abril de 2020 y subió a tomar su lugar entre las estrellas.

Él Zura nos enseñó que,
“Si podemos hacer algo bueno por los demás, tenemos la obligación de hacerlo”

No nos alcanzará la vida para lamentar su pérdida, pero seguiremos trabajando arduamente en Su memoria por “*el bien de todos*”.

Siempre vivirás en nosotros.

REFERENCIAS

1. Wyant, J.C., “Use of an ac Heterodyne Lateral Shear Interferometer with Real-Time Wavefront Correction Systems,” Appl. Opt., 14,1975, pp. 2622.
2. Hardy J., J. Feinleib, and J.C. Wyant, “Real time phase correction of optical imaging systems,” OSA Topical Meeting on Opt. Propagation through Turbulence, Boulder, Colorado, 1974.
3. Crane R., “Interference Phase Measurement,” Appl.Opt.8, 1969, pp.538.
4. Bruning, J. H., D. R. Herriott, J. E. Gallagher, D. P. Rosenfeld, A. D. White, and D. J. Brangaccio, “Digital Wavefront Measuring Interferometer for Testing Optical Surfaces and Lenses,” Appl. Opt., 13, 1974, pp. 2693.
5. Bruning, J. H., “Fringe Scanning Interferometers,” in Optical Shop Testing, D. Malacara, Ed., Wiley, New York, 1978.
6. Morris M. N., Millerd J., Brock N., Hayes J., and Saif B., “Dynamic Phase-Shifting Electronic Speckle Pattern Interferometer,” Proc. SPIE, 5869, 2005, pp. 58691B-1.
7. 18) Wyant J. C., Dynamic Interferometry, Optics & Photonics News, 14(4), 2003, pp. 36-41.
8. Toto-Arellano N.I., 4D measurements of biological and synthetic structures using a dynamic interferometer, J. Mod. Opt., 2017, pp. 1–10.
9. Noel-IvanToto-Arellano, David I. Serrano-García, GustavoRodríguez-Zurita, Areli Montes Pérez, Geliztle Parra-Escamilla, Temporal measurements of transparent samples with four simultaneous interferograms by using a Mach–Zehnder Interferometer, Opt. Commun. 429, 2018, pp. 80-87
10. Malacara D., “Optical Shop Testing,” 3rd Edition, (New York: Wiley, 2007).
11. Hariharan P., “Basics of Interferometry,” (Elsevier Inc. 2007).

12. Malacara D., Servin M., Malacara Z., "Phase Detection Algorithms in interferogram Analysis for Optical Testing," Wiley, New York, 2005.
13. Ghiglia C. and Pritt M. D., Chapter .4 in "Two-Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms, and Software" (New York: John Wiley and Sons, 1998).
14. Servin M., Estrada J. C. and Quiroga J. A., "The general theory of phase shifting algorithms," Optics Express, 17, 2009, pp. 21867-21881.
15. Flores Muñoz V. H., Toto Arellano N.-I., Serrano García D. I., Martínez García A., Rodríguez Zurita G., and García Lechuga L., Measurement of mean thickness of transparent samples using simultaneous phase shifting interferometry with four interferograms, Appl. Opt. 55, 2016, pp. 4047-4051
16. Serrano-García D. I., Toto-Arellano N.-I., Martínez-García A. and Rodríguez Zurita G., Radial slope measurement of dynamic transparent samples, J. Opt. 14(4), 2012, pp. 045706.
17. Millerd J. E. and Wyant J. C., Simultaneous phase-shifting Fizeau interferometer, U.S. Patent 7,057,738 B2, 2006.
18. Barrientos-García B., Moore A. J., Pérez-López C., Wang L., and Tschudi T., "Transient Deformation Measurement with Electronic Speckle Pattern Interferometry by Use of a Holographic Optical Element for Spatial Phase Stepping," Appl. Opt. 38(28), 1999, pp. 5944-5947.
19. Barrientos-García B., Moore A. J., Pérez-López C., Wang L., and Tschudi T., "Spatial Phase-Stepped Interferometry Using a Holographic Optical Element," Opt. Eng. 38(12), 1999, pp. 2069-2074.
20. Koliopoulos C. L., "Simultaneous phase-shift interferometer," Proc. SPIE 1531, Advanced Optical Manufacturing and Testing II (1992).
21. Shock I., Barbul A., Girshovitz P., Nevo U., Korenstein R., and Shakeda N. T., "Optical phase nanoscopy in red blood cells using low-coherence spectroscopy, Journal of Biomedical Optics," 17(10), 2012, pp. 101509.
22. Pham H., Ding H., Sobh N., Do M., Patel S., and Popescu G., "Off-axis quantitative phase imaging processing using CUDA: toward real-time applications," Biomed. Opt. Express 2(7), 2011, pp. 1781-1793.
23. Rodríguez-Zurita G., Meneses-Fabian C., Toto-Arellano N. I., Vázquez-Castillo J. F., and Robledo-Sánchez C., "One-shot phase-shifting phase-grating interferometry with modulation of polarization: case of four interferograms," Opt. Express 16, 2008, pp. 7806-7817.
24. Toto-Arellano N. I., Rodríguez-Zurita G., Meneses-Fabian C., and Vázquez-Castillo J. F., "Phase shifts in the Fourier spectra of phase gratings and phase grids: an application for one-shot phase-shifting interferometry," Opt. Express 16, 2008, pp.19330-19341.
25. M. N., Millerd J., Brock N., Hayes J., and Saif B., "Dynamic Phase-Shifting Electronic Speckle Pattern Interferometer," Proc. SPIE, 5869, 2005, pp. 58691B-1.
26. Millerd J. E., Brock N., Hayes J., North-Morris M., Novak M., and Wyant J., "Pixelated phase-mask dynamic interferometer," Proc. SPIE, 5531, 2004, pp. 304-314.
27. Toto-Arellano N. I., Serrano-García D. I., Martínez-García A., Rodríguez Zurita G., and Montes-Pérez A., "4D profile of phase objects through the use of a simultaneous phase shifting quasi-common path interferometer," Journal of Optics, 13(11), 2011, pp. 115502.
28. Toto-Arellano N. I., Serrano-García D. I., Rodríguez-Zurita G., "Optical path difference measurements with a two-step parallel phase shifting interferometer based on a modified Michelson configuration," Optical Engineering, 56(9), 2017, pp 094107.
29. Junwei Min, Baoli Yao, Peng Gao, Rongli Guo, Juanjuan Zheng, and Tong Ye, "Parallel phase-shifting interferometry based on michelson-like architecture," Applied Optics 49, 2010, pp. 6612-6616.
30. Okoomian H. J., "A two-beam polarization technique to measure optical phase," Appl. Opt. 8(11), 1969, pp. 2363-2365.
31. Abdelsalam D. G., Baoli Yao, Peng Gao, Junwei Min, and Rongli Guo, "Single-shot parallel four-step phase shifting using on-axis Fizeau interferometry," Appl. Opt. 51, 2012, pp. 4891-4895.
32. Awatsuji Y., Sasada M. and Kubota T., "Parallel quasi-phase-shifting digital holography," Appl. Phys. Lett. 85, 2004, pp.1069-1071.

33. Awatsuji Y., Tahara T., Kaneko A., Koyama T., Nishio K., Ura S., Kubota T., and Matoba O., "Parallel two-step phase-shifting digital holography," *Applied Optics* 47, 2008, pp. D183-D189.
34. Whang A. J., Chung C., Accurate interference pattern analysis module of automatic measurement system, *Optica Applicata*, 33(4), 2003, pp. 627-634
35. Kowalik W. W., Garncarz B. E. and Kasprzak H. T., Corneal topography measurement by means of radial shearing interference: part III—measurements errors, *Optik*, 114, 2003, pp. 199–206.
36. Liu D., Yang Y., Wang L. and Zhuo Y., Real-time diagnosis of transient pulse laser with high repetition by radial shearing interferometer, *Appl. Opt.* 46, 2007, pp. 8305-14.
37. Kumar Y. P., Negi S. S., Kamath M. P., Chatterjee S., Sharma S. D., and Joshi A. S., Interferometric focal length measurement of positive and negative lenses using a lateral-shearing cyclic path optical configuration setup and polarization phase-shifting interferometry, *Appl. Opt.* 56, 2017, pp. 8414-8419.
38. Koliopoulos C. L., Simultaneous phase-shift interferometer, *Proc. SPIE* 1531, *Advanced Optical Manufacturing and Testing II* (1992).
39. Shock I., Barbul A., Girshovitz P., Nevo U., Korenstein R., and Shakeda N. T., Optical phase nanoscopy in red blood cells using low-coherence spectroscopy, *Journal of Biomedical Optics* 17(10), 2012, pp. 101509.
40. Pham H., Ding H., Sobh N., Do M., Patel S., and Popescu G., Off-axis quantitative phase imaging processing using CUDA: toward real-time applications, *Biomed. Opt. Express* 2(7), 2011, pp. 1781-1793.
41. Kothiyal M. P., Delisle C., "Rotating analyzer heterodyne interferometer: error sources," *Appl. Opt.* 24, 1985, pp. 2288-2290.
42. Kerr D., Kaufmann G. H., Galizzi G. E., "Unwrapping of interferometric phase-fringe maps by the discrete cosine transform," *Applied optics*, 35(5), 1996, pp. 810-816.
43. Ghiglia D. C., Romero L. A., "Robust two-dimensional weighted and unweighted phase unwrapping that uses fast transforms and iterative methods," *JOSA A*, 11(1), 1994, pp. 107-117.

ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE CORTOCIRCUITO DE SISTEMAS DE POTENCIA CONSIDERANDO CAMBIOS EN LA TOPOLOGÍA DE LA RED

José Miguel García Guzmán, Ulises Galeana Padilla, Juan Pablo Razón González, Miroslava Cano Lara

Tecnológico Nacional de México Campus Irapuato
jose.gg@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

En este trabajo se presenta un análisis de la capacidad de cortocircuito (CCC) de sistemas de potencia cuando se realizan cambios en la topología de la red. Los cambios en la topología de la red se pueden presentar al hacer modificaciones en la estructura del sistema de potencia, tales como aumento o disminución de la carga, ocurrencia de fallas y compensación reactiva de líneas de transmisión, por mencionar algunas. Por otro lado, la CCC se obtiene de los estudios de cortocircuito y sirve para dimensionar el tamaño y robustez eléctrica de los equipos primarios de las subestaciones de potencia. El valor de la CCC nodal depende de la impedancia equivalente de Thevenin vista desde cada subestación, la cual está relacionada directamente con la topología de la red, ya que cualquier cambio en la topología provoca un cambio en la impedancia de Thevenin, de modo que la CCC es función de la topología del sistema de potencia. En muchos estudios, se analiza la compensación reactiva de las líneas mediante diferentes metodologías con el objeto de aumentar su capacidad de transmisión, pero en la mayoría no se presta atención en el efecto que se tiene en la CCC del sistema. Por esta razón, en el presente trabajo se realiza la compensación reactiva serie en las líneas de transmisión para cambiar la topología de la red y analizar cómo afectan tales cambios a la impedancia equivalente de Thevenin y, por consiguiente, al valor de la CCC. Para realizar el análisis se implementa un algoritmo computacional basado en el análisis sistemático de fallas usando la matriz de impedancia de bus, el cual permite obtener la impedancia de Thevenin vista desde cada subestación del sistema de potencia. Los resultados de este trabajo se obtienen mediante diversos casos de estudio, los cuales se llevan a cabo para determinar si los cambios en la topología de la red resultan perjudiciales o benéficos para el valor de la CCC. Los resultados muestran que con los cambios en la topología de la red se presenta un cambio considerable en la impedancia equivalente de Thevenin y en la CCC, de modo que cuando se realiza la compensación reactiva serie se disminuye la impedancia de Thevenin y se aumenta la CCC. De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que, con la compensación en serie de las líneas de transmisión se incrementa la CCC de las subestaciones del sistema de potencia, sobre todo en las subestaciones cercanas a la línea compensada, lo que requiere de un redimensionamiento de los equipos primarios y de la infraestructura de las subestaciones eléctricas del sistema.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo las compañías suministradoras de energía deben garantizar la operación de los sistemas de potencia, considerando aspectos como la seguridad, economía y el impacto ambiental. De estos, la seguridad es una característica fundamental en la operación confiable de los sistemas de potencia, ya que la red debe ser capaz de continuar operando bajo condiciones de falla y con la mínima o nula pérdida de carga [1, 2].

Con el fin de garantizar la operación segura de los sistemas de potencia bajo la ocurrencia de una falla, las compañías suministradoras de energía aumentan la capacidad instalada de generación y transmisión, sin embargo, esto no garantiza al cien por ciento la operación segura del sistema y resulta muy costoso. Por esta razón, es necesario efectuar una evaluación detallada de la seguridad del sistema que permita manejar de manera adecuada las posibles fallas, sus consecuencias y acciones remediales [2, 3, 4].

El manejo adecuado de las fallas en la red consiste en aislar, de forma adecuada y rápida, la zona donde se presentó la falla del resto del sistema de potencia, esto con la finalidad de evitar disparos innecesarios de los dispositivos de protección. Para esto, se requiere realizar un estudio de cortocircuito y un estudio de coordinación que permita disponer de un esquema de protección eléctrica que garantice la seguridad y confiabilidad del sistema de potencia [5]. En los estudios de

cortocircuito se determinan diversos parámetros, tales como la corriente de cortocircuito en el punto de falla, la corriente de falla en las líneas de transmisión, la magnitud de tensión nodal durante la falla y la capacidad de cortocircuito [6, 7].

El análisis de la capacidad de cortocircuito y los estudios de prefalla son necesarios para seleccionar los interruptores, relevadores de protección, sus tiempos de disparo y para dimensionar el tamaño y robustez eléctrica de los equipos primarios de las subestaciones de potencia [5, 6]. La CCC sufre cambios de forma considerable cuando se presentan modificaciones en la topología de la red; entre estas modificaciones se pueden mencionar las siguientes: incremento de la capacidad y tipo de generación, aumento de la demanda de energía y cambios en la infraestructura de la red de transmisión [8]. Los cambios en la infraestructura de la red de transmisión se deben principalmente a la construcción de nuevas líneas, instalación de dispositivos flexibles de transmisión o aumento de la capacidad de transmisión de las líneas. En los sistemas de potencia es común realizar la compensación reactiva serie de las líneas para aumentar su capacidad de transmisión, evitando la costosa inversión que representa la construcción de líneas nuevas, sin embargo, cuando se realiza este tipo de compensación son muy pocos los documentos de la literatura abierta donde se reporta el efecto que se tiene en la capacidad y nivel de cortocircuito, lo que afecta directamente a la seguridad y confiabilidad del sistema de potencia [9].

La compensación serie de las líneas de transmisión causa cambios en la topología de la red y por consecuencia provoca variaciones en la capacidad de cortocircuito y en el nivel de falla del sistema, de modo que el esquema de protección y la robustez eléctrica de los equipos primarios de las subestaciones de potencia podrían resultar incapaces y obsoletos para proteger al sistema de potencia [10]. Por esta razón y en el contexto antes mencionado, en el presente trabajo se realiza un análisis de la capacidad de cortocircuito que permita llevar a cabo el redimensionamiento de los interruptores y equipos primarios de las subestaciones de potencia, a fin de garantizar la operación segura y confiable del sistema de potencia.

TEORÍA

La topología del sistema de potencia depende de la forma en que se conectan entre sí los generadores, transformadores, cargas y líneas de transmisión; y puede ser representada mediante la matriz de impedancia de bus [6]. La topología del sistema cambia principalmente debido a cambios en las líneas de transmisión, lo que a su vez provoca variaciones en la capacidad de cortocircuito. El modelado de las líneas de transmisión y la forma en que se calcula la CCC se presentan enseguida.

Modelado de las líneas de transmisión y matriz de impedancia de bus

Las líneas de transmisión son representadas por el modelo equivalente π mostrado en la Figura 1, donde los términos I_j y E_j son los fasores de corriente inyectada y voltaje en los nodos j ($j=k,m$), respectivamente. R y L son la resistencia e inductancia serie de la línea, y B_c es la susceptancia en paralelo [11].

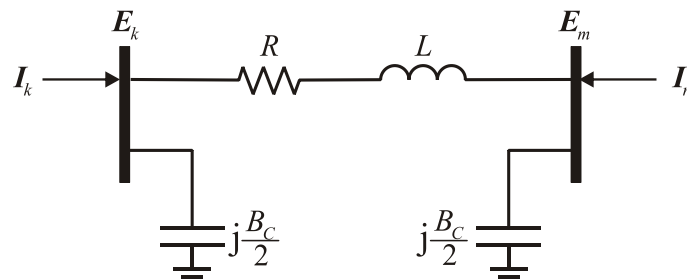


Figura 1. Circuito equivalente π de la línea de transmisión.

La matriz de impedancia de bus, Ecuación (1), es una matriz cuadrada de tamaño $n \times n$, que representa la topología de la red y se forma por las impedancias equivalentes del sistema de potencia [6, 7].

$$Z_{bus} = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1k} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{k1} & \dots & Z_{kk} & \dots & Z_{kn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nk} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

En esta matriz, la diagonal contiene la impedancia de Thevenin vista desde cada subestación del sistema de potencia y se utiliza para calcular el nivel de cortocircuito y la CCC. Los subíndices k y n representan, en forma respectiva, el nodo en el que ocurre la falla y el número de buses o subestaciones eléctricas del sistema de potencia.

Capacidad de cortocircuito

La capacidad de cortocircuito en un bus es una medida común de su robustez eléctrica y se define como el producto entre la magnitud de tensión nominal en el bus fallado y la corriente de falla. La capacidad de cortocircuito en el bus es utilizada para determinar el tamaño de la barra del bus y la capacidad interruptiva de los interruptores de potencia. Basado en la definición anterior, la CCC en el bus k es dada por [6, 12],

$$CCC = \sqrt{3} V_{Lk} I_{Fk} \times 10^{-3} \text{ MVA} \quad (2)$$

Donde el voltaje línea a línea V_{Lk} es expresado en kV y la corriente de falla simétrica I_{Fk} se expresa en Amperes. La corriente de falla simétrica en por unidad se calcula como sigue,

$$I_{Fk,pu} = \frac{V_k}{X_{kk}} \quad (3)$$

En la Ecuación (3), V_k es el voltaje de prefalla y X_{kk} es la reactancia en por unidad vista desde el bus donde se presenta la falla. La resistencia del sistema es despreciada y solo se considera la reactancia inductiva del sistema. Esto proporciona una impedancia menor en el sistema y una corriente de falla máxima que ayuda a aumentar la seguridad del sistema. La corriente de falla en Amperes es,

$$I_{Fk} = I_{Fk,pu} I_B = \frac{V_k}{X_{kk}} \frac{S_B \times 10^3}{\sqrt{3} V_B} \quad (4)$$

Sustituyendo (4) en (1) y considerando que el voltaje base es igual al voltaje nominal $V_B = V_{Lk}$, entonces la expresión para la capacidad de cortocircuito es,

$$SCC = \frac{V_k S_B}{X_{kk}} \quad (5)$$

Normalmente se considera que el voltaje de prefalla es igual a 1 pu, de modo que la Ecuación (5) se reescribe como,

$$SCC = \frac{S_B}{X_{kk}} \quad (6)$$

La Ecuación (6) es la formula aproximada que normalmente se utiliza para determinar la capacidad de cortocircuito en un nodo k del sistema de potencia. Se debe mencionar que S_B es la potencia base del sistema considerada para ser igual a 100 MVA y X_{kk} es el valor de la reactancia de la matriz de impedancia de bus en la posición (k,k) , es decir, $X_{kk} = X_{bus}(k,k)$.

CASOS DE ESTUDIO

En esta sección se presentan diversos casos de estudio con el sistema de potencia de prueba de 9 nodos [13]. Para llevar a cabo estos casos de estudio se obtiene la parte imaginaria de la matriz de impedancia de bus para obtener lo que los autores denominan como matriz de reactancia de bus. Esta matriz se obtiene antes y después de la compensación de las líneas de transmisión con la finalidad de visualizar los cambios en la topología de la red, y en consecuencia las variaciones en la capacidad de cortocircuito.

El sistema de potencia de 9 nodos consta de 6 líneas de transmisión, 3 transformadores y 3 generadores. Con el fin de visualizar el efecto que tienen los cambios en la topología de la red, se selecciona la línea 6-9, conectada al nodo 6 de carga, para ser compensada en forma reactiva, ya que esta línea de transmisión es estratégica para la seguridad del sistema. En los casos de estudio primero se compensa la línea de transmisión 6-9 con bancos de capacitores en serie y posteriormente con bancos de reactores en serie. La reactancia de la línea de transmisión 6-9 sin compensación es igual a $X_{6-9}=0.17$ pu, cuando se lleva a cabo la compensación de bancos de capacitores la reactancia serie de la línea disminuye a $X_{6-9}=0.017$ pu, mientras que cuando se compensa la línea con reactores en serie la reactancia aumenta a $X_{6-9}=0.27$ pu. Una comparación de los resultados obtenidos de la capacidad de cortocircuito con los cambios en la topología de la red se muestra en la Tabla 1, mientras que en la Figura 2 se muestra un perfil de la CCC cuando se presentan dichos cambios en la topología de la red causados por la compensación de la línea de transmisión 6-9.

Tabla 1. Comparación de resultados de la CCC con cambios en la topología de la red.

Línea compensada entre los nodos 9-6			
Nodo	$X_{6-9}=0.17$	$X_{6-9}=0.017$	$X_{6-9}=0.27$
1	783.26	834.16	765.76
2	590.12	590.57	589.96
3	797.7	843.66	781.75
4	726.68	802	701.99
5	587.35	604.7	581.1
6	595.14	785.19	545.67
7	648.16	648.87	647.9
8	619.97	630.59	616.09
9	747.31	817.02	724.17

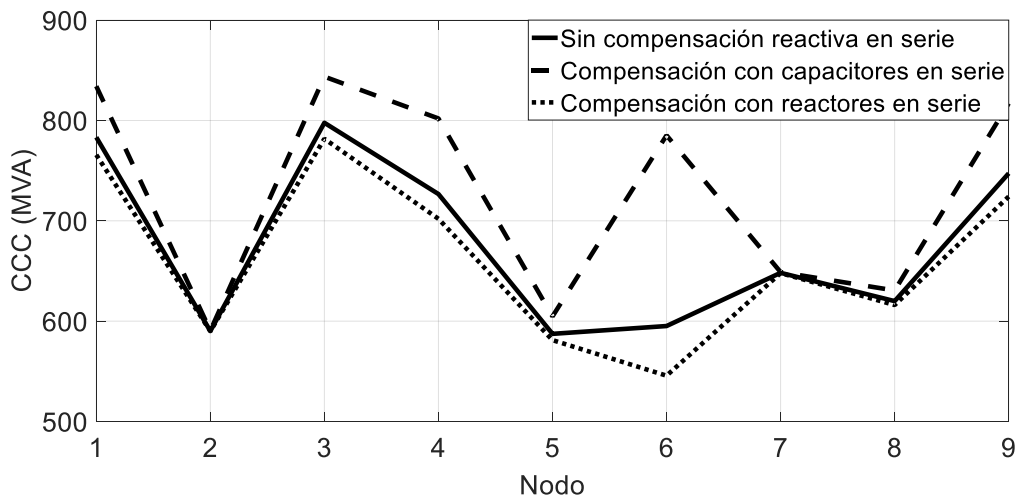


Figura 2. Perfil de CCC con los cambios en la topología de la red.

En la tabla y la figura anteriores, es posible observar que cuando se compensa la línea de transmisión con bancos de capacitores en serie se presenta un incremento de la capacidad de cortocircuito en todas las subestaciones del sistema, en especial en las subestaciones que están eléctricamente más cercanas a la línea compensada. Esto es debido a que con los bancos de capacitores se presenta una reducción de la reactancia efectiva de la línea, lo que trae consigo una disminución de los valores de la diagonal de la matriz de reactancia de bus (reactancia equivalente de Thevenin), y por consecuencia un incremento en la CCC del sistema. Por otro lado, cuando se lleva a cabo la

compensación de la línea de transmisión con reactores en serie ocurre una disminución de la CCC debido al incremento de la reactancia efectiva de la línea de transmisión, que causa un aumento de la reactancia equivalente de Thevenin en cada subestación del sistema.

Los cambios en la topología de la red también provocan cambios en parámetros importantes asociados con la seguridad del sistema de potencia, tales los voltajes de falla y las corrientes de falla en las líneas de transmisión y en las subestaciones eléctricas, tal como se muestra en las Figuras 3 y 4. En estas figuras se observa que la corriente de falla en las líneas de transmisión se incrementa cuando se realiza la compensación con capacitores en serie, mientras que con reactores en serie ocurre lo contrario. Algo similar ocurre con el perfil de magnitud de voltaje nodal que se presenta durante la falla, cuando se realiza la compensación con capacitores y reactores en serie el voltaje disminuye y aumenta, respectivamente.

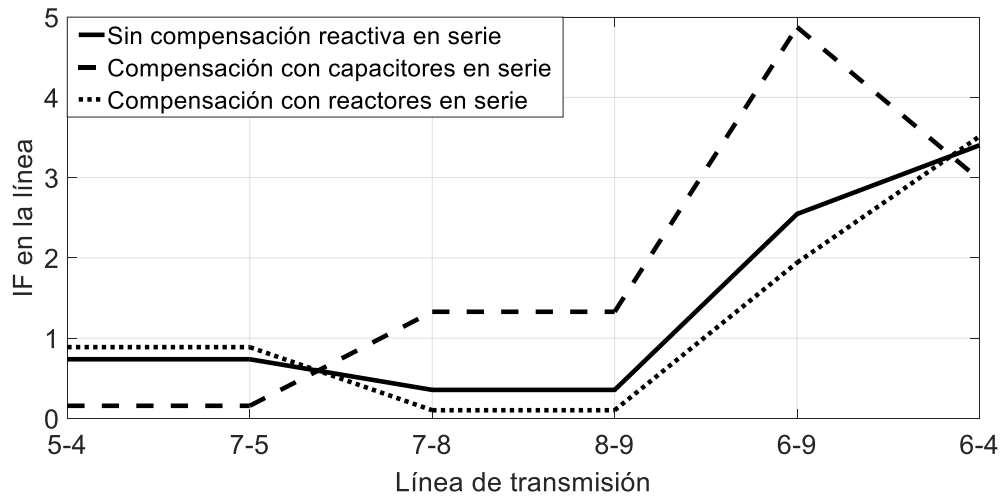


Figura 3. Corriente de falla en las líneas de transmisión con cambios en la topología de la red.

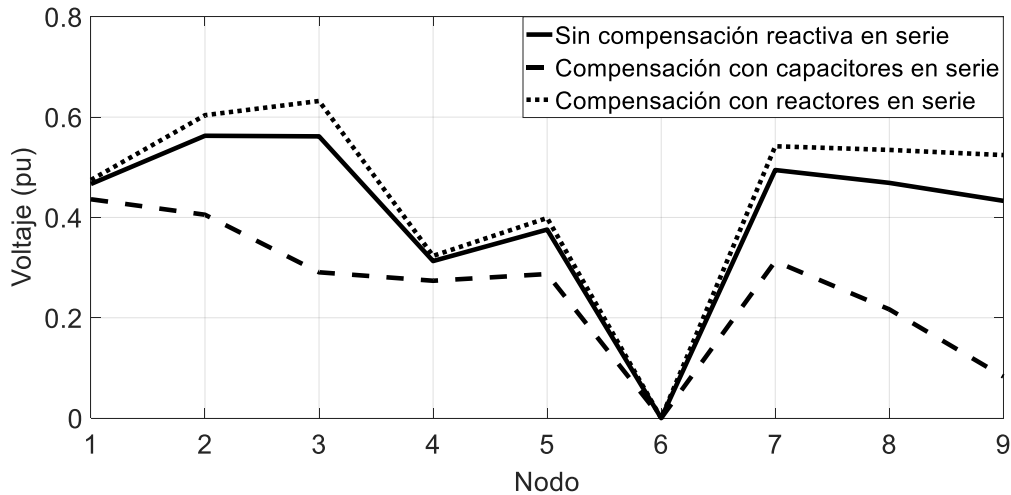


Figura 4. Perfiles de voltaje de falla con cambios en la topología de la red.

Se debe mencionar que, de manera práctica, la compensación con capacitores en serie se realiza para aumentar la capacidad de transmisión de la línea, sin embargo, en este trabajo se realiza la compensación con reactores solo con la finalidad de visualizar su efecto en el valor de la capacidad de cortocircuito en el sistema de potencia. También se debe mencionar que el valor del banco de capacitores y reactores, utilizados en la compensación, se escogió de tal manera que solo disminuyera o aumentara la reactancia serie de la línea, de modo que no fue calculado para obtener un valor específico de la reactancia X_{6-9} .

CONCLUSIONES

Un análisis de la capacidad de cortocircuito (CCC) de sistemas de potencia cuando se realizan cambios en la topología de la red se ha presentado. Diversos casos de estudio utilizando un sistema de potencia de prueba fueron llevados a cabo para visualizar el impacto que tienen los cambios en la topología de la red en la CCC. Los resultados obtenidos mediante los casos de estudio muestran que con la compensación en serie de las líneas de transmisión se incrementa la CCC de las subestaciones del sistema de potencia, sobre todo en las subestaciones cercanas a la línea compensada. Con el aumento de la capacidad de cortocircuito en todas las subestaciones del sistema se requiere de un redimensionamiento de los equipos primarios de cada subestación, así una reconfiguración y acondicionamiento de la infraestructura de las subestaciones eléctricas del sistema, esto con la finalidad de garantizar una operación segura y confiable del sistema de potencia ante la ocurrencia de una falla. Además, los cambios en la topología de la red también provocan cambios importantes en parámetros tales como la corriente de falla en las líneas y subestaciones eléctricas, así como variaciones en las magnitudes de los voltajes nodal que se presentan durante la falla. La compensación en serie con capacitores provoca incrementos de las corrientes de falla y decrementos en los perfiles de voltajes de falla, mientras que la compensación con reactores causa el efecto opuesto.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. K. Roy, "Contingency Analysis in Power Systems", Thesis of Master Engineering in Power Systems and Electric Devices, Thapar University, Patiala, India, 2011.
2. D. P. Kothari and I. J. Nagrath, "Modern Power System Analysis", New Delhi, India, Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2011.
3. T. E. DyLiacco, "The Adaptive Reliability Control System", in *IEEE Trans on PAS*, Vol. PAS-86, May 1967, pp. 517-531.
4. B. Scott, O. Alsac and A. J. Monticelli, "Security Analysis and Optimization", in *Proc. IEEE*, Vol. 75, No. 12, Dec. 1987, pp. 1623-1644.
5. S. Katyara, L. Staszewski, H. A. Musavi and F. Soomoro, "Short Circuit Capacity: A Key to Design Reliable Protection Scheme for Power System with Distributed Generation", in *International Journal of Mechanical and Robotics Research*, Vol. 6, No. 2, March, 2017, pp. 126-133.
6. H. Saadat, "Power System Analysis," New York, USA, Mc Graw Hill, 2002.
7. J. Grainger and W. D. Stevenson, "Power System Analysis", New York, USA, McGraw-Hill, 1968.
8. P. P. Barker and R. W. de Mello, "Determine the impact of distribution generation on power systems: Part 1- radial distribution systems," in *Power Technologies*, Inc., 2000.
9. Amin-Zamani, Tarlochan-Sidhu, and Amir-Yazdani, "A strategy for protection coordination in radial distribution networks with distributed generators," in *Power and Energy Society General Meeting*, pp. 1-8, 2015.
10. J. C. Gomez and M. M. Morcos, "Overcurrent coordination in systems with distributed generation," in *Electric Power Components and Systems*, vol. 39, no. 6, pp. 576-589, 2013.
11. E. Acha, C. R. Fuerte, H. Ambriz y C. C. Angeles, "FACTS; Modelling and Simulation in Power Networks", Wiltshire, Gran Bretaña, John Wiley & Sons, 2004.
12. K. Tuitemwong and S. Premrudeepreechacharn, "Expert system for protective devices coordination in radial distribution network with small power producers," in *IEEE Lausanne Power Tech*, pp. 1159-1164, 2017.
13. P. W. Sauer and M. A. Pai, "Power System Dynamics and Stability", Champaign, Illinois, USA, Stipes Publishing L.L.C., 1997.

IMPORTANCIA DEL MODELADO DE LA SUSCEPTANCIA PARALELO EN LA DETERMINACIÓN DEL PUNTO DE OPERACIÓN DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

José Miguel García Guzmán, Ulises Galeana Padilla, Juan Pablo Razón González, María del Refugio González Ponce

Tecnológico Nacional de México Campus Irapuato
jose.gg@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

El incremento constante de la demanda de energía eléctrica alrededor del mundo ha traído consigo un continuo crecimiento de la infraestructura de generación y transmisión de los sistemas eléctricos de potencia (SEPs). Este crecimiento provoca que el punto de operación de los SEPs cambie constantemente, por lo que, las compañías suministradoras de energía deben calcularlo de forma correcta con la finalidad de llevar a cabo las acciones de control que garanticen la operación confiable y segura de los sistemas eléctricos de potencia. Las líneas de transmisión de potencia se modelan considerando tres parámetros: la resistencia serie, reactancia serie y la susceptancia paralelo. Este último parámetro normalmente se desprecia cuando se calcula el punto de operación de estado estacionario de los sistemas de potencia a nivel subtransmisión, ya que la longitud de la mayoría de las líneas en este tipo de redes es menor a 80 km y se facilitan los cálculos. Sin embargo, tal consideración puede resultar contraproducente al momento de calcular tal punto de operación, debido a que se omite la influencia de la susceptancia paralelo en el perfil de tensión nodal y en el balance de potencia reactiva nodal y global del sistema, obteniendo un punto de operación aproximado del sistema de potencia, el cual no es exacto. Por esta razón, en este trabajo se presenta un análisis en estado estacionario que permite visualizar la importancia de modelar la susceptancia paralelo cuando se determina el punto de operación de los sistemas eléctricos de potencia. La formulación de flujos de potencia se utiliza para llevar a cabo diversos casos de estudio en los cuales se observa claramente que al considerar la susceptancia paralelo el perfil de voltaje nodal se modifica, cambiando el punto de operación del sistema, mientras que el balance de potencia reactiva nodal y global se cumple de manera exacta. De acuerdo con lo anterior, se concluye que al considerar la susceptancia paralelo en el modelado de las líneas de transmisión se obtiene un punto de operación más preciso que permite tomar mejores acciones de control en el SEP.

INTRODUCCIÓN

Alrededor del mundo, el punto de operación de estado estacionario de un sistema de potencia se determina principalmente mediante dos herramientas de análisis de sistemas en estado estacionario: Análisis de Flujos de Potencia (FP) y Análisis de Flujos de Potencia Óptimos (FPO) [1, 2]. Desde que el primero fue introducido al estudio de los sistemas de potencia por J. B. Ward y H.W. Hale [3], se ha considerado alrededor del mundo como una herramienta de uso rutinario para la determinación de puntos de operación de estado estacionario de sistemas eléctricos de potencia (SEP). El análisis de FP no considera aspectos económicos para la operación de los sistemas, mientras que el análisis de FPO sí los tiene en consideración [4]. El análisis de FP proporciona información de ciertos los parámetros, a partir de los cuales es posible determinar la forma en que opera el sistema de potencia en estado estacionario. Entre los parámetros que se calculan mediante el análisis de FP se encuentran las magnitudes y ángulo de fase de los voltajes de los buses de carga y generación, las potencias reactivas en los buses de generación y el flujo de potencia activa y reactiva en las líneas de transmisión, además de otras variables que son previamente especificadas [5, 6]. Esta información es esencial para el continuo monitoreo del estado actual del sistema y para analizar la efectividad de planes alternos para futuras expansiones del sistema para satisfacer el incremento de la carga demandada [7].

En los años recientes se ha presentado un continuo crecimiento de la población y de la industria en el mundo, lo que ha provocado de igual manera un aumento constante de la demanda de energía eléctrica alrededor del mundo. Ante este escenario, las compañías suministradoras de energía eléctrica mantienen un ritmo de cambio constante para incrementar la capacidad de generación y fortalecer la infraestructura del sistema de transmisión. Lo anterior provoca que los puntos de

operación de estado estacionario de los sistemas eléctricos de potencia estén cambiando de manera constante, de modo que los operadores de los SEPs deben estar calculando tal punto de operación de forma precisa para llevar a cabo el monitoreo y las acciones de control que garanticen la operación confiable y segura de los sistemas eléctricos de potencia.

Los principales elementos de los sistemas de potencia son los generadores, transformadores, cargas y líneas de transmisión, aunque en las últimas décadas también se consideran los elementos en paralelo y los dispositivos flexibles de transmisión en corriente alterna (FACTS) como parte de los sistemas de potencia [8, 9, 10]. Las líneas de transmisión de potencia se modelan considerando tres parámetros: la resistencia serie, reactancia serie y la susceptancia paralelo. La susceptancia de las líneas se debe al efecto capacitivo de las mismas y solo se considera en las líneas de transmisión clasificadas, de acuerdo a su longitud, como medias y largas. Esto porque el efecto capacitivo se vuelve considerable a lo largo de la línea cuando su longitud supera los 80 km, aunque también hay una consideración importante que aporta al efecto capacitivo y que pocas veces se toma en cuenta por los operadores de los sistemas de potencia: el nivel de tensión de la línea de transmisión. Si el nivel de voltaje de la línea de transmisión supera los 69 kV, entonces la línea de transmisión debe ser considerada como línea media, ya que el efecto capacitivo tendrá un valor alto y deberá ser incluido en el modelado de la misma [5].

En este sentido y por razones de simplicidad en el modelado de las líneas de transmisión, muchos de los operadores del sistema de potencia desprecian la susceptancia paralelo en el modelo de la línea cuando se calcula el punto de operación de estado estacionario de los sistemas de potencia a nivel subtransmisión, ya que la longitud de la mayoría de las líneas en este tipo de redes es menor a 80 km. Sin embargo, la tensión de operación de las líneas a nivel subtransmisión generalmente es de 115 kV, de modo que tal consideración resulta errónea al momento de calcular el punto de operación de estado estacionario de este tipo de sistemas, ya que se obtiene un punto de operación aproximado del sistema de potencia que no es exacto porque se presentan imprecisiones en el perfil de tensión nodal y en el balance de potencia reactiva en cada nodo y en todo el sistema. Es claro que si el punto de operación de estacionario calculado es incorrecto se tendrán tomas de decisiones equívocas al momento de monitorear y controlar el sistema de potencia. De acuerdo a la perspectiva mencionada, en este trabajo se utiliza el análisis de flujos de potencia para visualizar la importancia de modelar la susceptancia paralelo cuando se determina el punto de operación de estado estacionario de los sistemas eléctricos de potencia a nivel subtransmisión, cuya longitud es menor a 80 km y el voltaje de operación es mayor a 69 kV.

TEORÍA

La susceptancia paralelo en el modelado de las líneas de transmisión

Las líneas de transmisión están representadas por un modelo equivalente con los parámetros de circuito apropiados por fase. Los voltajes en las terminales se expresan de una línea a neutro, la corriente para una fase y, así, el sistema trifásico se reduce a un sistema monofásico equivalente. El modelo utilizado para calcular los voltajes, las corrientes y los flujos de potencia depende de la longitud de la línea. Las líneas de transmisión medias y largas son representadas por el modelo equivalente π mostrado en la Figura 1, donde se considera el efecto capacitivo de la línea mediante la susceptancia paralelo, identificada en la figura como B_c . En la Figura 1 el término I_j es el fasor de corriente inyectada en el nodo j y E_j representa el fasor de voltaje en el nodo j ($j=k,m$), mientras que R y L son la resistencia e inductancia serie de la línea [10].

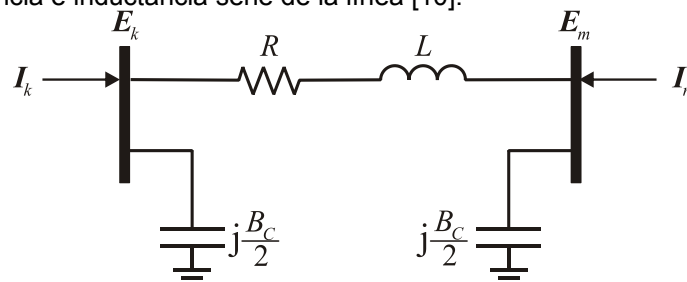


Figura 1. Circuito equivalente π de la línea de transmisión.

La admitancia capacitiva de la línea de transmisión es [5, 6],

$$Y = (g + j\omega C)l \quad (1)$$

El término g corresponde a la conductancia paralelo, la cual representa las corrientes de fuga en los aisladores y las pérdidas por efecto corona. Este valor es despreciable y, por tanto, g se asume para ser igual a cero. Así, la admitancia paralelo resulta como,

$$Y = j\omega Cl \quad (2)$$

Ya que la admitancia solo tiene parte imaginaria, entonces la susceptancia paralelo es:

$$B_C = j\omega Cl \quad (3)$$

La susceptancia paralelo está relacionada directamente con el efecto capacitivo de la línea de transmisión, de modo que es un fenómeno puramente reactivo que incide directamente en la potencia reactiva y en el nivel de tensión del sistema de potencia.

Análisis de flujos de potencia

El método de solución de flujos de potencia es una herramienta comúnmente utilizada en el análisis de los sistemas eléctricos de potencia. Sirve para determinar el punto de operación de estado estacionario, mediante el cual es posible realizar acciones de monitoreo y control de la operación del SEP, así como la planeación y diseño de la expansión futura de los sistemas de potencia. La información que se obtiene principalmente son fasores de voltaje nodal, flujos de potencia y pérdidas de potencia en las líneas de transmisión [5, 6].

El análisis de FP establece que en cualquier nodo k de un SEP la suma de la potencia generada P_{Gk} , la potencia demandada P_{Dk} y la potencia inyectada a través los distintos elementos de transmisión del sistema $\sum P_k^{iny i}$ es cero. De manera que el balance de carga en el nodo k se puede modelar como,

$$\Delta P_k = P_{Gk} - P_{Dk} - \sum_{i=1}^{N_b} P_k^{iny i} = 0 \quad (4)$$

$$\Delta Q_k = Q_{Gk} - Q_{Dk} - \sum_{i=1}^{N_b} Q_k^{iny i} = 0 \quad (5)$$

La expresión anterior representa un sistema de ecuaciones no lineal, el cual es resuelto aquí mediante el método de Newton-Raphson como se ilustra enseguida.

$$\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial P_i}{\partial \delta_j} \right)^k \Delta \delta_j^k + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial P_i}{\partial |V_j|} \right)^k \Delta |V_j|^k = \Delta P_i^k \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial Q_i}{\partial \delta_j} \right)^k \Delta \delta_j^k + \sum_{j=1}^n \left(\frac{\partial Q_i}{\partial |V_j|} \right)^k \Delta |V_j|^k = \Delta Q_i^k \quad (7)$$

$$\Delta P_i^k = P_i^{sch} - \Delta P_i^k \quad (8)$$

$$\Delta Q_i^k = Q_i^{sch} - \Delta Q_i^k \quad (9)$$

Resolviendo las ecuaciones anteriores para los incrementos de ángulo de fase y magnitud de voltaje, se obtiene una expresión en forma de matriz compacta como dada por (10).

$$\begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^k = \begin{pmatrix} J_1 & J_2 \\ J_3 & J_4 \end{pmatrix}^k \begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix}^k \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^{k+1} = \begin{bmatrix} \delta \\ |V| \end{bmatrix}^k + \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta |V| \end{bmatrix}^k \quad (11)$$

Una vez que se calcula el ángulo y la magnitud del voltaje en los nodos del sistema, se deben calcular los flujos y pérdidas de potencia activa y reactiva en las líneas de transmisión. Esto se realiza mediante las siguientes ecuaciones como se muestra.

$$I_{km} = I_\ell + I_{k0} = y_{km} (V_k - V_m) + y_{k0} V_k \quad (12)$$

$$I_{km} = -I_{\ell} + I_{m0} = y_{km}(V_m - V_k) + y_{m0}V_m \quad (13)$$

El flujo de potencia compleja S_{km} del bus k al bus m y del bus m hacia el bus k son dadas por (14) y (15), respectivamente.

$$S_{km} = V_k I_{km}^* \quad (14)$$

$$S_{mk} = V_m I_{mk}^* \quad (15)$$

Mientras que las pérdidas de potencia en las líneas de transmisión son:

$$S_{pérdidas} = S_{km} + S_{mk} \quad (16)$$

Por último, se calculan la potencia activa y reactiva inyectada por el nodo slack y la potencia reactiva inyectada por los nodos de generación del sistema de potencia utilizando las Ecuaciones de inyección de potencia dadas por (4) y (5).

CASOS DE ESTUDIO

Enseguida se presentan casos de estudio con el sistema de potencia de prueba de 5 nodos del IEEE con la finalidad de observar la importancia de considerar la susceptancia paralelo de las líneas de transmisión cuando se determina el punto de operación de estado estacionario de sistemas de potencia. En todos los casos de estudio se utiliza el análisis de FP, el cual es resuelto mediante un algoritmo implementado en Matlab con una tolerancia de convergencia de 1×10^{-9} .

El sistema de 5 nodos IEEE consta de 2 generadores, 7 líneas de transmisión y una potencia demandada total de 165 MW y 40 MVAR [11]. Para el caso de estudio planteado, primero se obtiene el punto de operación del sistema en mención considerando la susceptancia paralelo en el modelo de las siete líneas del SEP, y posteriormente se determina dicho punto sin considerar la Bc. Un resumen de los resultados obtenidos con y sin susceptancia paralelo se presenta en la Tabla (1).

Tabla 1. Resultados de flujos de potencia

Parámetros	Con Bc	Sin Bc
Pgi (MW)	169.5869	169.7271
Qgi (MVAR)	22.5806	54.1813
Ploss (MW)	4.587	4.727
Qloss (MVAR)	-17.419	14.181

En la tabla anterior se observa que cuando no se integra la susceptancia paralela en el modelado de las líneas de transmisión, se presenta un pequeño aumento en la generación de potencia activa y un incremento de casi el doble de la generación de potencia reactiva. Una situación similar se presenta en el caso de las pérdidas de potencia activa, ya que cuando no se considera la susceptancia paralelo las pérdidas de potencia activa son mayores. Una mención particular merece las pérdidas de potencia reactiva, ya que cuando se considera la Bc las pérdidas de potencia Q son negativas, lo que se traduce en que las líneas de transmisión en lugar de tener pérdidas suministran potencia reactiva al sistema, fungiendo como fuentes de este tipo de potencia. De esta forma, cuando no se considera la susceptancia paralelo las líneas presentan pérdidas de Q, tal como se muestra en la Figura 2, haciendo que la generación de potencia reactiva se incremente.

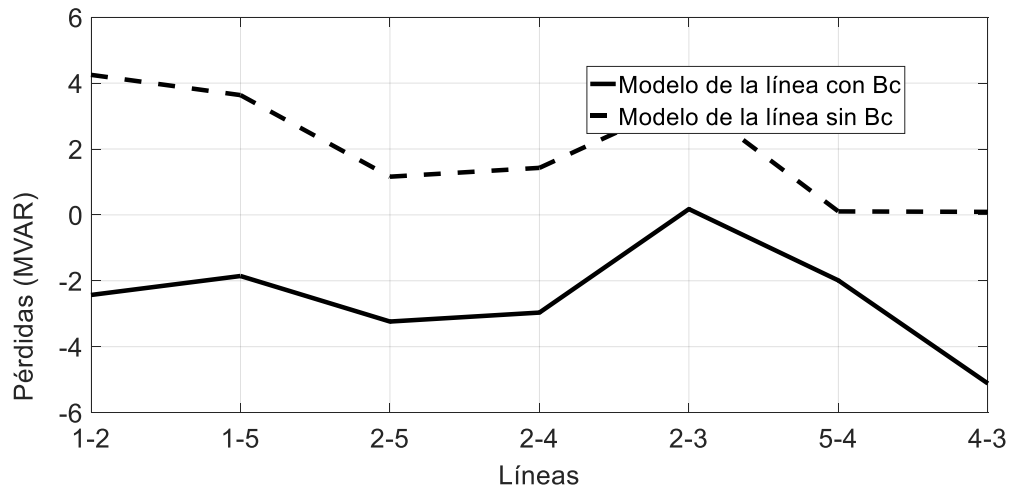


Figura 2. Pérdidas de potencia reactiva en las líneas de transmisión con y sin B_c .

En la Figura 3 se presenta un perfil de tensión del sistema de potencia de 5 nodos en el que se observa claramente el efecto que tiene considerar o no la susceptancia paralelo en el modelado de las líneas de transmisión del sistema de potencia.

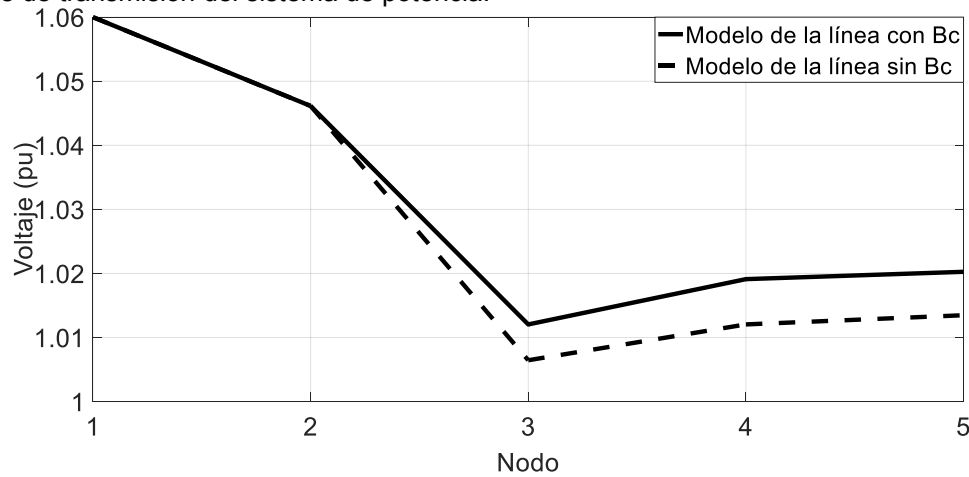


Figura 3. Perfil de tensión nodal con el efecto de la B_c .

Como se mencionó antes, la susceptancia paralelo en las líneas de transmisión funge como una fuente de potencia reactiva, de modo que cuando se considera B_c se presenta un efecto importante en la magnitud de voltaje nodal, ya que el voltaje depende directamente de la potencia Q inyectada al sistema de potencia. Claramente se observa que cuando se considera la susceptancia paralelo el perfil de voltaje nodal crece, mientras que si no se considera ocurre el fenómeno opuesto. De acuerdo a esto, la consideración o no de la B_c no tiene un efecto considerable en la potencia activa, tal como se mencionó en la generación de P y como se muestra en la Figura 4.

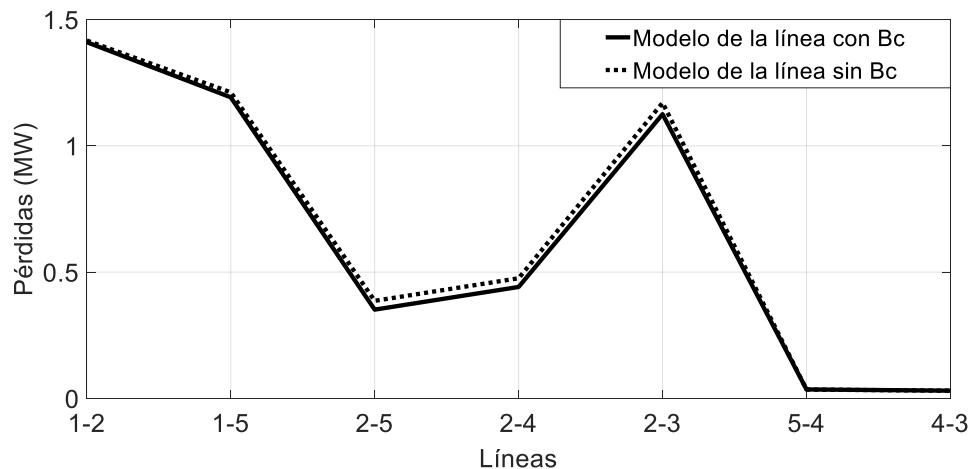


Figura 4. Pérdidas de potencia activa en las líneas de transmisión con y sin B_c .

En esta figura se observa que cuando se considera la susceptancia paralelo aumentan ligeramente las pérdidas de potencia activa, lo cual se traduce en una potencia generada y un costo de generación mayor. En este punto, se destaca la importancia de modelar de la línea considerando la susceptancia paralelo, ya que de no hacerlo se obtienen costos de generación menores, lo cual puede resultar perjudicial al momento de tomar decisiones de operación o planeación del sistema de potencia, afectando finalmente la rentabilidad del mismo.

CONCLUSIONES

Un análisis de la operación de estado estacionario para visualizar la importancia de modelar la susceptancia paralelo cuando se determina el punto de operación de los SEPs se ha presentado. La formulación de flujos de potencia se utilizó para llevar a cabo los casos de estudio en los cuales se observó claramente que al considerar la B_c el perfil de voltaje nodal se modifica, cambiando el punto de operación del sistema, mientras que el balance de potencia reactiva nodal y global se cumple de manera exacta. Cuando se considera la susceptancia se presenta un incremento en el perfil de tensión nodal y en las pérdidas y generación de potencia reactiva. También resulta importante incluir la B_c en el modelo de la línea, ya que de no hacerlo se obtienen costos de generación menores, lo cual puede resultar engañoso y perjudicial al momento de tomar decisiones de operación o planeación del sistema de potencia, afectando finalmente la rentabilidad del mismo. En general, se concluye que al considerar la susceptancia paralelo en el modelado de las líneas de transmisión se obtiene un punto de operación más preciso que permite tomar mejores acciones de control y monitoreo de la operación del SEP, así como de la planeación.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Abdel and P. Narayana, "Power Flow Control and Transmission Loss Minimization Model with TCSC for Practical Power Networks", in *Power Engineering Society General Meeting*, July, 2003, pp. 880-884.
2. A. Ahmad, "Optimal Power Flow Solution Using Second Order Newton Method", Ph.D. Thesis, Institute of Engineering and Electronics, Manchester University, 1991.
3. B. Scott, "Review of Load-Flow Calculation Methods", in *IEEE Proc.*, Vol. 62, No. 7, Julio, 1974, pp. 916-929.
4. Tesis mía.
5. H. Saadat, "*Power System Analysis*," New York, USA, Mc Graw Hill, 2002.
6. J. Grainger and W. D. Stevenson, "*Power System Analysis*", New York, USA, McGraw-Hill, 1968.
7. D. P. Kothari and I. J. Nagrath, "*Modern Power System Analysis*", New Delhi, India, Tata McGraw Hill Education Private Limited, 2011.

8. H. Ambriz, E. Acha, C. Fuerte and A. De la Torre, "Incorporation of a UPFC Model in an Optimal Power Flow Using Newton's Method", in *IEE Proc. Gener. Transm. Distrib.*, May, 1998, pp. 336-344.
9. C. Fuerte, "Steady State Modelling and Analysis of Flexible AC Transmission Systems", Ph. D. Thesis, Glasgow University, 1997.
10. E. Acha, C. R. Fuerte, H. Ambriz y C. C. Angeles, "*FACTS; Modelling and Simulation in Power Networks*", Wiltshire, Gran Bretaña, John Wiley & Sons, 2004.
11. G. W. Stagg and A. H. El-Abiad, "*Computer Methods in Power System Analysis*", New York, USA, McGraw-Hill, 1968.

ANÁLISIS COMPARATIVO: MODELOS DE CAMBIO ORGANIZACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DEL PERFIL COMPETITIVO DE LOS TRABAJADORES DE UN AEROPUERTO

Jessica María Jaime Estrada¹, Brenda Berenice Guerrero Martínez².

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
LIS17111354@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

La intención de este estudio surge en la detección de una problemática en las constantes fallas de luminarias en una pista de aterrizaje a partir del año 2020 hasta el mes de abril del 2021; tras pruebas preliminares y con ayuda de un proceso de auditoría, se descubrió que la principal problemática se origina en las capacitaciones que los trabajadores del área de mantenimiento en la pista requieren.

En relación a la problemática expuesta, el objetivo principal es desarrollar un análisis comparativo por medio de un diagnóstico situacional a los trabajadores del área de mantenimiento, con base en modelos de cambio organizacional aplicados a la empresa.

El análisis precedente se estableció con la comparación de modelos de cambio organizacional seleccionando ADKAR, ya que es el modelo más adecuado a la situación; mediante la obtención, valoración e interpretación de los resultados se podrá definir el perfil competitivo de los trabajadores en aspectos individuales y si presentan habilidades de resiliencia ante futuros cambios, además de apoyar en la generación de acciones apropiadas para su integración.

Indudablemente este modelo se complementó con la implementación del cuestionario DNC el cual es una herramienta que permite identificar las capacitaciones para la mejora de habilidades y competencias, así como incrementar el potencial en cuanto al desarrollo de actividades. De acuerdo a los resultados obtenidos, el 47% de los trabajadores encuestados coinciden que necesitan capacitaciones para alcanzar los objetivos y metas propuestas y así lograr un mayor desempeño de efectividad en cuanto a sus responsabilidades.

Gracias al proceso de auditoría, la puesta en marcha del modelo de cambio organizacional "ADKAR" y el uso de herramientas como el cuestionario DNC, se logró identificar la causa referente a las deficiencias que presentan los trabajadores, la cual limita su desempeño y desarrollo dentro de la organización afectando directamente a la eficiencia.

Dentro de este orden de ideas, los resultados permitieron obtener un panorama real de la organización, y la presentación de oportunidades de solución y mejora continua con el fin de establecer estrategias y acciones correctivas ante la presente problemática; además, de la evaluación del comportamiento para la presión del nivel de desempeño y así convertirlo en una ventaja competitiva.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación acerca de las fallas de iluminación en la pista de aterrizaje se pone en función de un aeropuerto, específicamente en el área de mantenimiento del turno nocturno; tiene como enfoque el interés sobre uno de los componentes más importantes de las organizaciones: el recurso humano, ya que es el principal factor que permite una mayor ventaja competitiva al influir sobre el desempeño y productividad que pueda tener una empresa y su mejora continua.

Al respecto conviene decir que la implementación de un cambio exitoso sugiere tener presente dos aspectos fundamentales: el lado técnico y el lado humano; ambos conceptos son complementarios y ayudan a que las actividades a realizar resulten eficaces respecto a los objetivos y metas planteados.

Es por ello que se planea realizar un análisis comparativo de algunos modelos de cambio organizacional para determinar el perfil competitivo con el que los miembros deben contar, dichos resultados serían propuestos ya que cumple con la protección de aspectos clave siendo un gran apoyo para la mejora continua mediante un enfoque sistemático,

aportando soporte al cumplimiento de metas y objetivos de la empresa, con base en la evaluación y medición constante de procesos de gestión y/o de control.

Dicho análisis comparativo parte de la aplicación de una encuesta DNC (Detección de Necesidad de Capacitaciones) a los trabajadores del aeropuerto, en el que la interpretación de los resultados obtenidos se convertirá en el punto de partida para la implementación del modelo de cambio organizacional ADKAR (por sus siglas en : *awareness, desire, knowledge, ability y reinforcement*), debido a que este destaca entre los modelos de cambio como el de Lewin, Burke y el Análisis Multifacético y de las Interdependencias de la Gestión Organizacional (modelo AMIGO), esto debido a que nos permite conocer los aspectos principales para la implementación de un cambio en la organización iniciando por cada trabajador de forma individual.

Con la finalidad de que formen parte de una estrategia de cambio, ya que permiten la capacidad de adaptación a los nuevos entornos y requiere disposición de alto nivel para una permanencia mayor dentro del mercado. Además, es un campo fértil para la administración al involucrar oportunidades y decisiones, así como asumir riesgos dentro de la situación que se genera, buscando el mayor beneficio, así como el cumplimiento de metas y objetivos colectivos en común.

TEORÍA

Para realizar un análisis comparativo es necesario comparar dos o más casos con el fin de poner de manifiesto las diferencias mutuas; de ese modo se prepara el esquema para interpretar la manera de cómo en cada uno de los contextos se producen procesos de cambio contrastantes. Siguiendo a Sartori, afirma que las comparaciones que interesan “poseen atributos en parte compartidos y en parte no compartidos”.

Cabe considerar, por otra parte, que es importante tener una la gestión de procesos al ser una forma de conducir o administrar una organización, concentrándose en el valor agregado para el cliente y las partes interesadas, de acuerdo a lo mencionado por Salvador Alfaro Gómez (2009). Este autor introduce un nuevo elemento que es la consideración de los intereses de la empresa, luego no absolutiza la visión del cliente

La gestión por procesos puede definirse en otras palabras como una forma de enfocar el trabajo, donde se persigue el mejoramiento continuo de las actividades de una organización mediante la identificación, selección, descripción, documentación y mejora continua de los procesos. La gestión por Procesos es una forma de organización diferente a la clásica organización funcional, y en el que prioriza la visión del cliente sobre las actividades de la organización. (Sescam, 2002).

La gestión de procesos permite planificar y estructuración de intervenciones utilizando herramientas de seguimiento y control que movilizan el capital humano de la organización desde un estado actual a un objetivo deseado por la administración que puede tener características técnicas o adaptativas. En este sentido se comprende cómo proceso de gestión de metas a aquello permite que todos sus colaboradores tener claras sus funciones, tareas, estrategias y herramientas para el cumplimiento de objetivos individuales y contribuir a alcanzar las metas globales de la empresa.

La auditoría de gestión es una metodología centrada en la evaluación de los recursos y estructura con los que cuenta una organización, empresa o institución, y el modo en que su uso lleva hacia un nivel determinado de rentabilidad.

Ahora bien, la importancia de la auditoría se da en diversas direcciones, se concentra de manera amplia en la fe pública, también en que se ostenta como una segunda opinión imparcial e idónea. (Montilla Galvis, 2006).

La auditoría nace como una necesidad de evaluar el comportamiento de una organización asociada en particular con los aspectos de control. Puede ser definida como la revisión de la analítica total o parcial de una organización con el propósito de precisar el nivel de desempeño para convertirlo en una ventaja competitiva, no solo en el desempeño, sino también en los avances. Requiere análisis al fondo de cada uno de los problemas para lograr identificar qué es lo que ocasiona los principales conflictos, ya que pueden seguir persistiendo e influyendo en otros departamentos.

Manuel D’Azaola S. valora la necesidad de que las empresas analicen su comportamiento a partir de una revisión de funciones de dirección, financiamiento, personal, producción ventas y distribución, así como registro contable y estadístico, no se puede partir de una información parcial de un solo departamento, no se puede evaluar a toda la organización.

Cabe considerar, por otra parte, que la falta de supervisión constante en la empresa puede detonar deficiencia dentro de las mismas, esto hace referencia a que los trabajadores no realizan correctamente sus tareas y actividades. Entonces, se dirá que tal o cual empleado despliegan una labor deficiente.

La falta de preparación y de mostrar desinterés, suelen ser algunas de las causas más comunes que se identifican cuando existe deficiencia; estas resultan sencillas ya que se puede apremiar al empleado para realizar algún curso especial de capacitación, para así llegar a conseguir integración, formación, una evaluación y remuneración en cada uno de los empleados; todos los gestores son en cierto sentido gerentes de recursos humanos porque participan en actividades como el reclutamiento, las entrevistas, la selección y la formación. (Chiavenato, 200)

El recurso humano es cualquier persona física que se encuentra dentro de una organización, sector o economía.

Al respecto conviene decir que, los trabajadores deben de estar en constante preparación y recibir capacitaciones para su formación, como plantea Chiavenato (2007), en la que define a "La Capacitación" como un proceso educativo de corto plazo, aplicado de manera sistemática y organizada, por medio del cual las personas adquieren conocimientos, desarrollan habilidades y competencias en función de objetivos definidos".

En tanto que para Godínez (2015) los principales objetivos de la capacitación en las organizaciones son:

1. Hacer crecer y evolucionar a la empresa de acuerdo a las exigencias del entorno cambiante.
2. Proporcionar las herramientas específicas para facilitar las actividades de los diferentes puestos de trabajo.
3. Solucionar problemas reales dentro del contexto organizacional de manera inmediata y efectiva.
4. Generar en las personas la capacidad de construir y reconstruir el conocimiento de sí mismos y de su papel en un puesto específico de trabajo.

Sin duda, el objetivo principal de la capacitación se traduce en crecimiento y desarrollo tanto para las organizaciones como para las personas que forman parte de ellas.

Para que una capacitación resulte exitosa, es necesario que los trabajadores tengan una disposición más aceptada de resiliencia es la de Garmezy (1991) que la define como «la capacidad para recuperarse y mantener una conducta adaptativa después del abandono o la incapacidad inicial al iniciarse un evento estresante» (p. 459). Otra semejante es la de Masten (2001) quien la ha definido como «un tipo de fenómeno caracterizado por buenos resultados a pesar de las serias amenazas para la adaptación o el desarrollo» (p. 228)

La resiliencia organizacional en cuanto a gestión se refiere a los procesos de cambios y al equilibrio emocional de los trabajadores para hacer frente a las diversas e inesperadas situaciones laborales. La orientación resultada, donde la resiliencia está en función de los resultados del comportamiento de la persona que pueden ayudar a recuperarse positivamente de la adversidad (Garmezy, 1991; Harvey y Delfabbro, 2004; Masten, 2001).

En la revisión de Kumpfer y Hopkins (1993) considera que son siete los factores que componen la resiliencia en los jóvenes: optimismo, empatía, insight, competencia intelectual, autoestima, dirección o misión, y determinismo y perseverancia. Estas habilidades serían de varios tipos: emocionales, de manejo, interpersonales, sociales, intrapersonales, académicas, de trabajo, de reestructuración, de planificación y habilidades para la vida y de solución de problemas.

Al llegar a este punto, frente a la resiliencia presentada por los colaboradores se presentan acciones correctivas que permiten cambios, de acuerdo a la norma UNE-EN ISO 9000:2005, una acción correctiva es una acción tomada para eliminar las causas de una no conformidad detectada u otra situación indeseable.

En otras palabras, la norma ISO 9001 2015, define una Acción Correctiva como "la acción para eliminar la causa de una No Conformidad y evitar que vuelva a ocurrir". La propia definición ya nos indica que vamos a tener que identificar las causas de la No Conformidad, realizar las acciones y los cambios necesarios dentro del Sistema de Gestión para que no se repita, y evaluar que realmente estas acciones han sido eficaces.

Las acciones correctivas pueden incluir cambios en los procesos, procedimientos o sistemas para la mejora de la calidad en cualquier fase del ciclo de calidad, pasando a convertirse en un cambio

organizacional, como lo postula Acosta (2002), en donde afirma que las organizaciones tienen un flujo permanente de cambio, es decir, para el primer autor el cambio es un proceso normal por el que pasa una organización mientras que para el segundo autor las organizaciones estarían constantemente cambiando.

Burke (2008) señala que las organizaciones deben ser entendidas como sistemas abiertos pues reciben la influencia del entorno en el cual residen, como también lo señalan Katz y Kahn (1983, citado en Acosta 2002) y por lo tanto el cambio puede ser motivado por fuerzas de distintos orígenes, como lo señala Chiavenato (1995, citado en Díaz, 2005) en su definición del cambio organizacional.

El mismo Acosta (2002) define el cambio organizacional como el conjunto de transformaciones que se realizan en las distintas dimensiones de una organización, producido tanto por fuerzas naturales como impulsado por la voluntad de quienes las crean e impulsan, esta definición se asimila a la que entrega Chiavenato (1995, citado en Díaz, 2005) quien define el cambio organizacional como el conjunto de alteraciones tanto en la estructura como en los comportamientos de una organización, este cambio no ocurriría de forma espontánea sino que por la presión de fuerzas, ya sean internas o externas (del ambiente).

Los anteriores conceptos se resumen en una estrategia de cambio, de acuerdo a Davies (2000), la estrategia se caracteriza por tener múltiples opciones, caminos y resultados, es más complejo su diseño y son más difíciles de implementar que otras soluciones lineales.

María Moliner (1998) da una definición más actualizada de la palabra estrategia, definiéndola como el 'arte de dirigir un asunto para lograr el objetivo deseado'. La palabra estrategia tiene su origen en las palabras griegas "stratos", que se refiere a ejército, y "agein", que significa guía. Así mismo, la palabra "strategos" que hacía alusión a "estratega", también proviene del latín y del antiguo dialecto griego dórico.

Con el propósito de generar y en función de apoyo del establecimiento de estrategias se hace uso de un instrumento de medición conocido como "Cuestionario DNC", por sus siglas "Detección de Necesidades de Capacitación", que, mediante un proceso, permite identificar las diferencias medibles entre las competencias establecidas por la organización con las que los trabajadores o integrantes de dicho equipo de trabajo cuentan. Se aplica debido a los presentes problemas en la organización los cuales generan desviaciones en la productividad y mayores índices de accidentes y riesgos.

Si bien es cierto, que, para complementar dicho instrumento, se implementó el modelo de gestión de cambio organizacional "ADKAR", por sus siglas en inglés: *Awareness (conciencia), desire (deseo), knowledge (conocimiento), ability (habilidad) y reinforcement (refuerzo)*.

Este modelo permite enfocar las actividades de una organización que impulsarán y guiarán al cambio individual y producirá resultados colectivos, permitiendo diagnosticar la resistencia al cambio, ayuda a los empleados en el proceso de cambio mediante la creación de un plan de gestión de acción para el avance personal y profesional durante una iniciativa y un diagnóstico situacional para el desarrollo de un programa.

Cabe mencionar que los resultados y objetivos son secuenciales, es decir, deben lograrse en orden revela los conceptos clave que influyen en el cambio exitoso, así como las posibles acciones para la implementación de nuevos conceptos.

Esto ayudará a tener la visión más clara o el diseño más eficaz de la solución para un problema. El enfoque principal del modelo de cambio ADKAR es proporcionar una estructura y guía para motivar el cambio de los demás, partiendo del impacto a nivel individual para poder conocer cómo implementar el cambio en la organización.

Dentro del proceso de cambio, se deben tener en cuenta factores como las habilidades y capacidades individuales de los colaboradores de la organización, los cuales, tienen incidencia en que el cambio se dé en el tiempo propuesto

PARTE EXPERIMENTAL

Para la obtención de información se llevó a cabo la realización y aplicación de un cuestionario DNC, esta herramienta se puede aplicar en distintos métodos:

- *Revisión de situaciones ideales que debe tener el personal con base en su descripción de puestos:* para ello se aplica encuestas donde se solicita al trabajador proporcionar información sobre su puesto y las tareas y responsabilidades que debe llevar a cabo.
- *Análisis de tareas:* permite saber el tipo de conocimiento que debe tener para llevar a cabo cada una de sus responsabilidades, así como el nivel de conocimiento que debe mantener sobre algunos aspectos.
- *Manuales de procedimientos:* Basaremos los conocimientos de cada trabajador en los protocolos de Seguridad que deben seguir al momento de poner en marcha sus actividades, para de esta forma evaluar si hubo o no, diferencia antes y después de la aplicación de dichas auditorías.
- *Encuestas:* es una fuente importante de conocimientos cuando se trata de gran volumen, además se puede llevar a cabo de manera virtual y/o a distancia.
- *Registros de observación directa:* consiste en observar la conducta en el trabajo para comparar con el modelo documentado, por ejemplo: con una descripción del puesto. El capacitador puede o no interactuar con el empleado mientras realiza sus funciones
- *Entrevistas:* consiste en recabar la información a través de un diálogo entre el entrevistador y el empleado, para enriquecer los hallazgos se recomienda también entrevistar al jefe inmediato y subordinados.
- *Evaluación del desempeño:* consiste en comparar el desempeño de una persona por los estándares establecidos para ese puesto; posibilita conocer las áreas en que se debe capacitar para incrementar el nivel de desempeño del empleado.
- *Descripción del puesto,* es un documento en el cual se definen los objetivos y funciones que lo conforman y diferencian de otros puestos de la organización, especifica lo que debe hacer la persona que ocupa el puesto, así como la frecuencia con que lo hace, cómo lo hace y para qué lo hace.
- *Análisis del puesto,* es un estudio que se realiza para identificar los objetivos y las funciones que se llevan a cabo.

Para la descripción del puesto y la *situación ideal* la recopilación de los datos será documental, se aplicarán técnicas e instrumentos de investigación para la descripción del puesto y los requerimientos de capacitación del mismo. Cabe mencionar que es en la que los recursos materiales son los suficientes y las actividades laborales se desarrollan de forma eficiente.

Se hará una revisión de información, uso de técnica e instrumentos de evaluación, resultado de evaluaciones individuales, identificación del personal para la formación de grupos con necesidades de capacitación similares.

Las técnicas e instrumentos considerados son:

- Entrevistas: mediante una guía de entrevista.
- Encuestas: mediante cuestionarios.
- Análisis por discusión de grupos: lluvia de ideas (brainstorming).
- Observación y análisis de tareas: registros y escalas.
- Evaluación de desempeño.
- Examen de conocimiento y habilidades.
- Centros de evaluación.
- Análisis de actividades.
- Evaluación del trabajo.

Proceso de Auditoría

Para el cumplimiento de los objetivos de esta investigación se lleva a cabo un proceso de auditoría externa (administrativa) que sirva como una herramienta estratégica, mediante fases llevadas a cabo por auditores para el entendimiento de una organización, así como de sus procedimientos, la comunicación y valoración de resultados. Esto cumple con la protección de aspectos clave siendo un gran apoyo para la mejora continua mediante un enfoque sistemático, aporta soporte al cumplimiento de metas y objetivos de la empresa con base en evaluación y medición constante de procesos de gestión y/o de control.

El tipo de auditoría es de segunda parte, ya que el primer contacto fue realizado por partes externas al Aeropuerto al tener un interés sobre la organización. El Plan de Auditoría presentado se establece

en tiempo y forma, se pretende contar con flexibilidad y resiliencia a los cambios que se presentarán durante el proceso que conllevan a la definición de objetivos, responsabilidades y áreas a auditar. Para ello, es necesario contar con documentaciones de trabajo, en este caso, se tomó como instrumento un formato de lista de verificación y supervisión de tareas, así como un formulario para la recopilación de información que permite realizar observaciones, además de ser la guía de evidencias para la toma de decisiones. En dicho formato se mencionan los objetivos del programa de auditoría, así como los responsables y encargados de llevar a cabo las actividades necesarias a poner en marcha, además de una especificación de los recursos humanos, materiales y presupuesto requeridos para su funcionamiento; todo esto permitirá al auditor poder llevar un control sobre el programa de forma que facilite su revisión y aplicación de mejoras.

Con el fin de contar con una mejor gestión del programa de auditoría, se toma como referencia el Ciclo de PHVA, por sus siglas: “Planear, Hacer, Verificar, Actuar”, conocido de otra forma como Ciclo PDCA, por su traducción del inglés: “Plan, Do, Check, Act”. Este se llama “ciclo” debido a que no tiene un fin, una vez se obtenga el resultado esperado se crea un nuevo proceso de mejora continua reiniciando el proceso de forma periódica, las actividades que se realizaron con ayuda de esta herramienta se presentan en la siguiente tabla:

<p>Planear</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un programa de auditoría • Definición de objetivos y alcance. • Definición de los recursos. • Revisión de procesos • Designación de actividades • Preparación de auditoría de campo • Documentación correspondiente 		<p>Hacer</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Auditoría de campo • Reuniones • Establecer canales de comunicación • Verificación de información • Generar hallazgos • Establecer conclusiones • Presentación final
<p>Actuar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Actividades complementarias • Aplicación de mejoras al programa 		<p>Verificar</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Preparación y probación de informes • Supervisión • Seguimiento • Identificar acciones correctivas, preventivas y planes de mejora. • Identificar oportunidades de mejora.

La auditoría nace como una necesidad de evaluar el comportamiento de una organización asociada en particular con los aspectos de control. Puede ser definida como la revisión de la analítica total o parcial de una organización con el propósito de precisar el nivel de desempeño para convertirlo en una ventaja competitiva, no solo en el desempeño, sino también en los avances.

Forma parte de una estrategia de cambio y a la orden del día, ya que permite la capacidad de adaptación a los nuevos entornos, requiere disposición de alto nivel para una permanencia mayor dentro del mercado. No es una sanción como muchos lo ven, es un campo fértil para la administración al involucrar oportunidades y decisiones, así como asumir riesgos dentro de la

situación que se genera, buscando el beneficio, metas y objetivos asumiendo riesgos constantemente en periodos de tiempo.

La evaluación preliminar de un externo influye en los juicios y opiniones, esto ya que puede dar fuerza para modificar actividades. Las auditorías suelen marcar una oportunidad de mejora para hacer cosas diferentes y tener mayor alcance. Señalar lo que se hace de forma correcta o incorrecta permite mejorar, se entiende la razón de realizar auditorías de forma tanto interna como externa, debe ser valuada congruente y pertinente, las técnicas deben ser las adecuadas, además, el planteamiento claro de objetivos a realizar.

Los principios siempre deben brindar confiabilidad y coherencia con lo que se realiza y cómo se realiza, así como una interpretación adecuada de cada variable; implica competencias técnicas de lo que es importante revisar y que tiene impacto en el resultado final.

En los resultados dentro de la auditoría y del diagnóstico debemos tener en cuenta que los datos deben ser útiles, que nos permitan poder utilizar la información para firmar objetivos, estrategias y acciones a implementar para la solución de las problemáticas, éstos deben ser claros, fácil y entendibles, ya que si no es clara no puede ser útil. El resultado debe ser lógico, junto con la claridad permitirá formar un panorama real de la organización además de presentar información en su momento para tener oportunidades de solución.

Los datos deben ser de calidad, bajo vigilancia ya que debe mostrar metodología y debe ser objetiva evitando desvíos de información generada ni dando oportunidad de que algunas personas se vean beneficiadas o perjudicadas.

Fases:

1. *Reunión de apertura para la auditoría:* Debido a la pandemia y las restricciones de seguridad que se deben tomar como prevención, la primera reunión fue de forma virtual, ya que por medida sanitaria se limitó el acceso a las instalaciones. En este punto se toman aspectos, junto con la dirección, sobre los responsables de los procesos a auditar, así como establecer un breve resumen sobre la puesta en marcha de las actividades. El auditor debe estar en disposición de resolver dudas o inquietudes del auditado, además de informar periódicamente los progresos.
2. *Observaciones y definición de responsabilidades:* Se prepara un equipo de trabajo establecido con base en sus habilidades y competencias, dicho equipo tiene definida una tarea y periodo a cumplir para el proceso de auditoría, cada responsable puede acompañar al equipo auditor, pero no puede influir sobre la auditoría. El asesor debe conformarlos con personas representativas de cada uno de los departamentos que estén identificadas con el progreso de la empresa. Para que las soluciones no sean impuestas son extraídas de las dinámicas y aceptadas por el grupo y garantizar la implementación
3. *Recopilación y verificación de información:* La información que se maneje para el programa de auditoría debe ser verídica y confiable, se hace uso de fuentes internas y externas que nos permitan conocer con certeza la situación actual de la organización, para con ello establecer las actividades necesarias y áreas a auditar, que permitan establecer la toma de decisiones e identificar oportunidades de mejora. Para la verificación del cumplimiento bajo las normas de seguridad se tomó como base procedimientos estadísticos que permitieron identificar que la problemática surge del exceso de errores establecidos por las Normas de la OACI para el límite de lámparas dañadas en la pista de aterrizaje. Por otra parte, se utilizó la herramienta DNC para la Detección de Capacitaciones que los empleados requieren, se tomó una muestra de 32 personas representativas del aeropuerto, a las cuales se les aplicó una encuesta que permite la medición de competencias y conocimientos sobre los protocolos de seguridad mínimos para llevar a cabo sus actividades.
4. *Generación de hallazgos de la auditoría:* Al terminar la recopilación de información obtenida y con su respecta interpretación, se presenta un informe donde se toman en cuenta las *no conformidades*, es decir, los incumplimientos encontrados dentro del proceso de auditoría, en el cuál no sólo se destacan aspectos negativos, ya que también se consideran las fortalezas del sistema, en este caso, los aspectos importantes a destacar son el nivel de conocimiento y las competencias con las que cuentan los trabajadores, y que la empresa les ha proporcionado las capacitaciones necesarias, aunque algunos de las respuestas por el instrumento DNC aplicada a una muestra representativa de los trabajadores, coinciden en que son necesarias algunas capacitaciones más que les permitan destacar y desempeñar su potencial a un nivel mayor.

5. *Preparación de conclusiones:* Como se mencionó en el primer punto, debido a la actual pandemia y a la restricción en cuanto a acceso, las reuniones con los directivos son limitadas; en la preparación de conclusiones se revisan los hallazgos obtenidos y se hace mención de aspectos importantes para los directores de la organización acordando las conclusiones a las que el equipo de trabajo de auditoría llegó. Los resultados permiten visualizar los problemas y sus verdaderas causas y efectos, para que se analicen las nuevas conductas que se aplicaran sobre la marcha de la empresa.

Manuel D'Azaola S. valora la necesidad de que las empresas analicen su comportamiento a partir de una revisión de funciones de dirección, financiamiento, personal, producción, ventas y distribución, así como registro contable y estadístico, destaca que no se puede partir de una información parcial de un solo departamento, no se puede evaluar a toda la organización.

Este proceso permite al profesional generar valor agregado a las empresas, desarrollar alternativas que produzcan mayores beneficios en la medida que sean viables y se logren implementar correctamente. Se pretende que el método de implementación de recomendaciones en acciones específicas sea un "Método del proyecto piloto", que consiste en realizar un ensayo con los resultados del proceso de auditoría en sólo una parte de la organización, en este caso, al personal encargado del mantenimiento en la pista de aterrizaje del Aeropuerto, con la finalidad de medir sus efectos y llevar a cabo medidas y pruebas necesarias que permitan identificar la diferenciación antes y después de su aplicación para la implementación en forma global.

A lo largo del proceso se presentan informes, los cuales requieren presentarse de forma puntual mediante el establecimiento de criterios:

1. No perder de vista el objetivo cuando se llegue a la etapa final, para ver si se cumplió o no con el objetivo,
2. Ponderar soluciones propuestas y determinar la factibilidad y viabilidad dentro de lo que se pretende aplicar. Homogeneizar la información para que exista relación entre hallazgos, tener argumentos y evidencias contundentes que no den margen a dudas para que al llegar a la decisión cuente con todos los elementos y sea objetiva y congruente.
3. Construir bases un sistema de información que funcione de forma permanente y que podamos estar seguros de que lo que se realiza es verdadero y permita tomar decisiones en el futuro.
4. Establecer forma y contenido que permita registrar y supervisar lo que se realiza.
5. No tomar 100% los datos de auditorías anteriores.

Dentro de la auditoría hay que contemplar: *La introducción* (forma de concentrar la información del diagnóstico) dentro de ella se establecen los criterios y la metodología para la recopilación de información para la toma de decisiones, *los antecedentes* (marcan un antes y después de lo realizado, generar el panorama y muestra la evolución de la situación), *justificación* (explica las razones por la que se hace necesaria la auditoría), *objetivo* (explicar la razón por la que se tiene que hacer y los fines a perseguir, generales y específicos) *estrategias* (curso de acción aunado a lo que se requiere para cada uno, responsables, recursos, de preferencia que sea por parte del consultor para que sea ajeno a la organización), *costos* (recursos empleados para el proyecto).

Por otra parte también el *alcance* (ámbito de profundidad y cobertura que debe tener el trabajo tiene que ver con los objetivos a los que se quiere llegar), *acciones* (pasos o actividades a realizar en cada etapa de forma conjunta al cliente para establecer acciones pertinentes facilitando la auditoría la participación del personal), *metodología* (marco de trabajo, técnicas, indicadores que dan sustento a la auditoría, técnicas estadísticas, indicadores, para validar lo que sucede dentro del diagnóstico), *rubro de resultados y hallazgos* (enumerar resultados significativos que afecta a la empresa y recabar evidencia documental y gráfica de lo que se encuentra), *conclusiones* (lo más importante, es el apartado más grande debe mostrar el panorama amplio de la organización y lo diagnosticado, se argumenta lo que se ha encontrado evidenciando las pruebas), *recomendaciones* (que es lo que se puede hacer para cada conclusión y para que el director tome las decisiones viables para la problemática), así como *asuntos especiales* (situaciones que requieren estudio más profundo)

Para la presentación de programa se determinaron las actividades que se deben efectuar y la secuencia para su realización, se estableció el tiempo de duración de cada actividad, se estimaron los requerimientos de recursos (personal, instalaciones, equipo, materiales), además se delimitaron las responsabilidades del personal para su ejecución.

Modelo de cambio organizacional ADKAR

Para la eficiencia de dicho modelo, los pasos de ADKAR siguen una secuencia, es decir, una vez concluida la anterior se pasará a la siguiente y así de forma sucesiva, de lo contrario no se conseguirá ni perpetuará el cambio efectivo. Además, es primordial destacar que durante el cambio se tomarán dos dimensiones: la parte empresarial del cambio y el lado de la gente. Todos los factores son esenciales y estas dos dimensiones tienen que prosperar de manera simultánea para conseguir el resultado que espera la empresa.

La gestión del Cambio Individual refiere que para la que se necesite realizar un cambio son realmente los empleados de la empresa los que se transforman, dicho de otra forma, predica que el cambio viene desde los niveles más estratificados de la organización: cada trabajador debe cambiar su forma de trabajar y actuar si se quiere cambiar y hacer avanzar la empresa. Esto requiere motivar al personal: se han de realizar reuniones planteándole a los trabajadores la realidad de cómo sería una futura transformación.

ADKAR es el modelo de gestión del cambio creado por Prosci y centrado en el individuo. Son siglas en inglés que se refieren a cada paso del cambio y simbolizan lo siguiente:

- *Awareness*: la conciencia de la organización o individuo que comprenden la necesidad de cambio debido a que varios aspectos de sus relaciones económicas o personales no están yendo de modo satisfactorio y pueden ser cambiadas y mejoradas.
- *Desire*: el deseo de que ese cambio efectivamente ocurra. En este paso quien pretende cambiar y conoce la necesidad de dicho cambio (A: Conciencia) está en actitud contemplativa en la que ya no se encuentra en una fase de mera aceptación de lo que ocurre, sino en posición de actuar.
- *Knowledge*: el conocimiento acerca de cómo cambiar. El individuo ya ha tomado una decisión y ahora analiza seriamente la mejor manera de efectuar su transición. Está dedicando tiempo a conocer más sobre cómo realizar este cambio.
- *Ability*: la capacidad para dirigir acciones encaminadas al cambio, para implementar las transformaciones en los diferentes niveles que lo requieran y para acompañar al trabajador/individuo a lo largo del proceso.
- *Reinforcement*: el refuerzo para asegurar que el cambio una vez conseguido se mantenga firme. Se deben tomar medidas y acciones correctivas que pertenecen al pasado y deben ser erradicadas.

Para cada uno de los resultados concretos se tiene una serie de preguntas, que permitirá conocer en qué grado se encuentra la persona para cada resultado y así determinar en dónde se requieren acciones para mejorar la siguiente medición.

RESULTADOS

Awareness (conciencia o alerta)	De acuerdo a los resultados obtenidos de la encuesta DNC, el 47% de los trabajadores encuestados considera que necesita cambios y capacitaciones debido a los constantes errores que presentan.	Bajo escala del 1 al 5, siendo el 1 más bajo y el 5 el más alto, se califica con un 2, ya que menos de la mitad de los trabajadores están conscientes de la necesidad de un cambio.
Desire (deseo)	El 64.5% de los trabajadores asegura que su nivel de desempeño para comprender las situaciones y resolver problemas meditando sobre ellas de forma lógica y sistemática es excelente.	Los trabajadores presentan conciencia, motivación y buena actitud ante el requerimiento de un cambio en un nivel 2, ya que equivale al 35.5% de los encuestados que dicen requerir una implementación que les permita desempeñar sus responsabilidades evitando errores e incluso accidentes dentro del área de trabajo.

Knowledge (conocimiento)	Los resultados arrojan que el 41.9% de los trabajadores consideran que el conocimiento que poseen en el área es excelente y suficiente para el control y manejo de las técnicas, herramientas, metodologías e instrumentos adquiridos.	La escala en la que se califica el conocimiento que tienen los trabajadores es un 3, ya que el 58.1% de los encuestados conocen e identifican el tipo de capacitaciones y cambios que requieren para efectuar correctamente sus actividades y llevar a cabo una eficaz toma de decisiones.
Ability (habilidad)	De los resultados obtenidos del cuestionario, demuestra que el 51.6% considera que su nivel de desempeño para establecer relaciones, crear y mantener contacto cordial con las personas con las que se trabajo es excelente, mientras que el 6.5 no lo considera así.	La escala en la que se califica la habilidad es de un 3, ya que la mitad de los encuestados responden a que tienen habilidades para poder desarrollar el trabajo de forma efectiva, por lo que la otra mitad considera que deben de buscar un cambio estratégico para mejorar esas habilidades.
Reinforcement (refuerzo)	El 51.6% de los trabajadores dicen considerar que su nivel de desempeño para trabajar es excelente ya que pueden alcanzar un estándar de excelencia, vencer obstáculos, aceptar riesgos calculados y lograr metas establecidas.	El 90% de los resultados arrojan que los empleados tienen la capacidad de identificar e incluso seleccionar problemas que se presenten debido a las constantes capacitaciones que se les brindan para el refuerzo de sus conocimientos, es por ello que la evaluación de escala es de 5.

A continuación, se anexan los resultados obtenidos en las respuestas cerradas junto con la interpretación de cada variable, esta herramienta nos permitirá identificar qué tipo de Capacitaciones y la implementación de cambio organizacional son las que el personal de aeropuerto requiere para mejorar sus habilidades, competencias y potencial en el desarrollo de actividades.

De acuerdo a resultados obtenidos de la encuesta, el 100% de los trabajadores a quienes fue aplicada coinciden en haber recibido una previa capacitación que les permite saber con certeza aspectos fundamentales para el desarrollo de actividades 47%

Por otra parte el 47% de los encuestados dice considerar que necesita de capacitación, sobre las respuestas que más destacan, se justifica necesaria una capacitación debido a que los trabajadores constantemente presentan errores e incluso buscan soluciones inmediatas con base en sus conocimientos y experiencia a través de los años.

Se menciona que sólo el 16% de los trabajadores, es decir, 5 de los 32 encuestados han recibido capacitaciones por instituciones ajenas a la empresa, dichos cursos han sido “Embarque” y “Preparación de oposición a Controlador Aéreo POCA”

El 100% de las respuestas son positivas al cuestionar a los trabajadores sobre los conocimientos y habilidades que considera tener sobre el desempeño de su trabajo, las justificaciones van desde sentirse a gusto es su puesto de trabajo, no tener problemas a lo largo de su estancia, las buenas capacitaciones que han recibido por parte de la empresa y la constante supervisión, hasta la colaboración que existe entre trabajadores de la misma o distinta empresa, se hace mención del compañerismo y constante apoyo entre trabajadores al momento reaccionar a situaciones.

El 72% de las respuestas obtenidas arroja que los trabajadores se sienten confiados de los conocimientos que tienen sobre su trabajo y la seguridad que genera sobre ello, las respuestas radian en que han aprendido bien lo que engloba sus responsabilidades, además que la experiencia y el tiempo que llevan laborando les permite mantener un margen mínimo de errores.

Más del 90% de los trabajadores considera poder identificar y solucionar un problema de forma inmediata, esto, a los resultados proporcionados, gracias a la experiencia y conocimientos que han generado a lo largo de su estancia en el puesto, por otra parte, si existe desconocimiento sobre el tema, éstos no dudan en solicitar ayuda a su jefe inmediato o incluso a sus compañeros, el 20% de los mismos presenta una actitud autodidacta al buscar por cuenta propia más información sobre ello.

A través del siguiente formato se evaluaron las competencias de los trabajadores, donde cada uno de ellos marcó el nivel de conocimientos que considera tener sobre diversos aspectos, los resultados obtenidos en cada variable son:

Competencia	Variable	Resultados (porcentaje)
Considero que mi conocimiento para aplicar y utilizar de manera efectiva mi conocimiento de técnicas, herramientas, metodologías e instrumentos adquiridos a través del estudio y experiencia es:	Conocimiento	Excelente: 41.9% Bueno: 32.3% Regular: 25.8%
Considero que mi conocimiento para realizar mi trabajo sin errores en tiempo y forma es:	Calidad	Excelente: 51.6% Bueno: 38.7% Regular: 9.7%
Considero que mi nivel de desempeño para trabajar bien buscando alcanzar un estándar de excelencia, vencer obstáculos, aceptar riesgos calculados y lograr metas establecidas por el área es:	Motivación para el logro	Excelente: 51.6% Bueno: 41.9% Regular: 6.5%
Considero que mi nivel de desempeño para establecer relaciones, crear y mantener contacto cordial con las personas con las que se trabaja es:	Establecimiento de relaciones	Excelente: 51.6% Bueno: 45.2% No aplica: 3.2%
Considero que mi nivel de desempeño para trabajar en grupos multidisciplinarios, comprender a los demás, aportar y aceptar ideas de otros que conlleven a la consecución de metas y objetivos comunes es:	Trabajo en equipo	Excelente: 51.6% Bueno: 38.7% Regular: 6.5% Deficiente: 3.2%
Considero que mi nivel de desempeño para comprender las situaciones y resolver problemas meditando sobre ellas de forma lógica y sistemática es:	Pensamiento analítico	Excelente: 64.5% Bueno: 16.1% Regular: 12.9% No aplica: 6.5%

Considero que mi nivel para confiar a los demás lo que es necesario hacer teniendo en mente el cumplimiento de objetivos y metas del área de trabajo es:	Dirección de personas	Excelente: 61.3% Bueno: 25.8% Regular: 12.9%
Considero que mi nivel de desempeño para elegir la acción más adecuada entre varias opciones, que contribuyan al logro de metas y /o solución de problemas de mi área de trabajo es:	Toma de decisiones	Excelente: 51.6% Bueno: 41.9% Regular: 6.5%
Considero que mi nivel de confianza en las habilidades y conocimientos de mis colaboradores, asignando responsabilidades necesarias para el cumplimiento de las actividades y objetivos de desempeño del cargo es:	Delegar responsabilidades	Excelente: 61.3% Bueno: 32.3% Regular: 6.55%

CONCLUSIONES

El primer aspecto y fundamental para el buen funcionamiento de la pista de aterrizaje gira entorno de los trabajadores encargados del mantenimiento sobre la pista de aterrizaje y la supervisión que se lleva a cabo, con ayuda de los instrumentos y la interpretación de los resultados, se destaca que sí existe capacitación proporcionada por parte de la empresa, pero en cuestiones de toma de decisión inmediata los trabajadores suelen basarse en su experiencia y conocimientos obtenidos a lo largo del tiempo, es decir, no toman en cuenta los protocolos de seguridad con lo que se cuenta. Consideramos que la auditoría es importante, ya que fue una actividad que ayudó a poder observar qué problemas son los que alteran todo el proceso en el área de mantenimiento, porque suele pasar que internamente no se ven fallas, pero al analizar el proceso externamente, por medio de las encuestas que se aplicaron y por el uso de las herramientas de calidad; se pudo notar que si hay deficiencias en algunos trabajadores, ya que cierto porcentaje no cree que es necesaria la capacitación y dicha auditoría; aunque otro tanto por ciento está dispuesto a aprender más y a tener un mejor desempeño.

Podemos notar que no todos tienen supervisión en sus áreas y, que, de la misma manera a la hora de tomar decisiones, cada trabajador tiene su propia decisión y asegura que está en lo correcto, por lo que no se llega como debe de ser a una decisión final, por lo que también se puede observar que quizá no tiene una buena comunicación o no comparten lo que cada uno cree con sus compañeros de área.

Por otra parte, no menos importante, se destaca el apoyo e impacto que tiene el modelo de cambio organizacional ADKAR, que, en función de su acrónimo, consiste en 5 resultados que los trabajadores de forma individual deben conseguir para que el cambio en la organización sea exitoso. A lo largo del seguimiento de las 5 etapas y complementando con los resultados de la aplicación de la encuesta DNC se concluye que aproximado al 50% de los trabajadores encuestados están conscientes de la necesidad de un cambio dentro de la organización, además dicen requerir capacitaciones constantes que les permitan reforzar sus conocimientos, ya que, en caso de una situación emergente no planeada los empleados suelen recurrir a los conocimientos que han adquirido durante el tiempo y la experiencia que esto les ha generado.

Se recomienda establecer una gestión de capacitaciones debido al papel tan importante que tienen estas sobre el logro de metas y objetivos de una organización, ya que los trabajadores adquieren conocimientos, actitudes y habilidades que les permiten interactuar en el ambiente en el que se desenvuelven, dicho ambiente hace referencia al clima organizacional de la empresa, el cual se ve

reflejado en la eficiencia, eficacia y productividad de los colaboradores para el cumplimiento de responsabilidades y labores que se les encomiendan

BIBLIOGRAFÍA

1. Pascua, B. (s.f.) PROCESO DE AUDITORÍA Cartilla básica para auditores. (pdf) Recuperado el 29 de marzo del 2021 de: <https://codeinep.org/wp-content/uploads/2019/04/procesoauditoria.pdf>
2. Parra, E. (s.f.) *Plan DNC (Detección de necesidades de capacitación)*. (pdf) Recuperado el 11 de marzo del 2021. De: https://cdn2.hubspot.net/hubfs/4362409/MaterialesCursos/XI-4_25abril2018_PLAN_DNC.pdf
3. S.A. (s.f) *Formato de detección de necesidades de capacitación*. (pdf) Recuperado el 11 de marzo del 2021. De: <https://people-cloud.com/wp-content/uploads/2019/06/Formato-de-Deteccio%CC%81n-de-Necesidades-de-Capacitacion-DNC-Competencias.pdf>
4. A.,Liliana (junio, 2017) *Cultura, Gestión del Cambio y Adaptabilidad en la Gestión de Organizaciones- Una propuesta de intervención*. (pdf) Recuperado el 20 de marzo del 2021 de: https://comum.rcaap.pt/bitstream/10400.26/21814/1/TFM%20EUDE%20%20LILIANA%20A_LVAREZ%20vs%20definitiva2.pdf
5. Marcos, J. (2020) ADKAR, un modelo de gestión de cambio. Recuperado el 20 de marzo del 2021 de: <https://www.paradigmadigital.com/techbiz/adkar-modelo-gestion-cambio/>
6. Torres, N. (octubre, 2020) Los 5 bloques del modelo Adkar de Prosci (I): Consciencia. Recuperado el 20 de marzo del 2021 de: <https://www.observatoriorh.com/gestion/los-5-bloques-del-modelo-adkar-de-prosci-i-consciencia.html>
7. Torres, N. (octubre, 2020) Los 5 bloques del modelo Adkar de Prosci (II): Deseo Recuperado el 20 de marzo del 2021 de: <https://www.observatoriorh.com/gestion/los-5-bloques-del-modelo-adkar-de-prosci-ii-deseo.html>
8. Rojas, J. (s.f.) Qué es ADKAR y cómo utilizarlo. Recuperado el 20 de marzo del 2021 de: <https://www.practical-thinking.com/2018/10/24/que-es-adkar-y-como-usarlo/>
9. Yara, L. (s.f.) Prosci ADKAR Model. Un modelo de gestión del cambio orientado a resultados para guiar cambios individuales y organizacionales. Recuperado el 22 de marzo del 2021 de: https://www.academia.edu/40262276/UN_MODELO_DE_GESTI%C3%93N_DEL_CAMBIO_ORIENTADO_A_RESULTADOS_PARA_GUIAR_CAMBIOS_INDIVIDUALES_Y_ORGANIZACIONALES
10. Alzate, J. (2018) *Aplicación del modelo ADKAR en procesos comunicacionales de gestión del cambio en la sede central de la Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia CORANTIOQUIA*. (pdf) Recuperado el 23 de marzo del 2021 de: http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2503/1/Aplicacion_del_Modelo_ADKAR.pdf
11. Faculta (s.f.) *Consincia EL MODELO ADKAR DE PROSCI* (pdf).Recuperado el 24 de marzo del 2021 de: [https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/7215067/20200810%20AR%20-%20Modelo%20ADKAR%20-%20\(A\)%20Consciencia.pdf](https://f.hubspotusercontent10.net/hubfs/7215067/20200810%20AR%20-%20Modelo%20ADKAR%20-%20(A)%20Consciencia.pdf)
12. Bañez, R. (julio, 2018). *Gestión del cambio* (pdf).Recuperado el 24 de marzo del 2021 de: https://www.udelistmo.edu/sites/default/files/gestion_del_cambio.pdf
13. Carranza, A. & Yupón, H. (2019). *Propuesta de Gestión del cambio basado en el modelo ADKAR en el colegio privado Jorge Bsadre de la Ciudad de Chiclayo*. (pdf). Recuperado el 26 de marzo del 2021 de:
14. Martín, J. (noviembre, 2017). *Gestiona el cambio*. Recuperado el 26 de marzo del 2021 de: <https://www.cerem.mx/blog/gestiona-el-cambio-con-adkar>
15. Solórzano, P. *Modelo de Gestión del Cambio ADKAR*. Recuperado el 8 de abril del 2021 de: <https://www.pedrosolorzano.com/modelo-de-gestion-del-cambio-adkar/>
16. Nunes, P. (octubre, 2015). *Acción correctiva*. Concepto de Acción Correctiva. Recuperado el 9 de abril del 2021 de: <https://knoow.net/es/cieeconcom/gestion/accion-correctiva/>
17. ISO Win (S.F.) *La acción correctiva en las normas ISO*. Recuperado el 10 de abril del 2021 de: <https://isowin.org/blog/accion-correctiva-ISO-9001/>

18. Fuentes, R. (2014). L gestión por procesos, su surgimiento y aspectos teoricos/ process management, its emergence and theoretical aspects. Recuperado el 13 de abril del 2021 de: [http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/819/859#:~:text=\(Ses cam%2C%202002\).,Salvador%20Alfaro%20G%C3%B3mez%2C%202009](http://www.ciencias.holguin.cu/index.php/cienciasholguin/article/view/819/859#:~:text=(Ses cam%2C%202002).,Salvador%20Alfaro%20G%C3%B3mez%2C%202009)
19. García, J. (enero, 2015) Segu los autores ecisten distintos conceptos sobre la administración de recursos humanos. Recuperado el 13 de abril del 2021 de: <https://jgestiondeltalentohumano.wordpress.com/2015/01/04/segun-los-autores-existen-distintos-conceptos-sobre-la-administracion-de-recursos-humanos/#:~:text=La%20ARH%20es%20el%20conjunto%20integral%20de%20actividades%20de%20especialistas,y%20competitividad%20a%20la%20organizaci%C3%B3n>
20. Becoña, E. (2006). Resiliencia: definición, características y utilidad del concepto, (pdf). Recuperado el 13 de abril del 2021 de: <http://revistas.uned.es/index.php/RPPC/article/viewFile/4024/3878>
21. Puerta, E. & Vazquez, M. (octubre, 2012). Conceptos de resiliencia (pdf). Recuperado el 15 de abril del 2021 de: http://www.udea.edu.co/wps/wcm/connect/udea/8053e5b2-7d04-4997-9dc0-4dcada70658f/BoletA%CC%83%C2%ADn+2_Concepto+de+Resiliencia.pdf?MOD=AJPERES
22. García, J. & García, A. & Lopez, C. & Días, P. (2016). Conceptualización teorica de la resiliencia prsicosocial y su relación con la salud. (pdf). Recuperado el 15 de abril del 2021 de: <https://www.redalyc.org/pdf/839/83943611006.pdf>
23. Ferrari, C. (s.f.). Estrategia. Recuperado el 15 de abril del 2021 de: <http://www.cyta.com.ar/ta0101/estrateg.htm>
24. Contreras, E. (diciembre, 2013). El conepto de estrategia como fundamento de la planeación estrategica. (pdf). Recuperado el 15 de abril del 2021 de: <https://www.redalyc.org/pdf/646/64629832007.pdf>
25. Villarroel, G. (s.f.) El método comparative: entre la complejidad y generalización (pdf). La Recuperado el 17 de abril del 2021 de: <http://caelum.ucv.ve/bitstream/123456789/14013/1/EI%20me%CC%81todo%20comparativo.pdf>
26. Drobny, T. (2013). Estudio de cambio organizacional a partir de la experiencia de instalación de un hospital público. (pdf). Recuperado el 17 de abril del 2021 de: [http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130436/Memoria%20Titulo.pdf?sequence=1#:~:text=EI%20mismo%20Acosta%20\(2002\)%20define,la%20que%20entrega%20Chiavenato%20\(1995](http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/130436/Memoria%20Titulo.pdf?sequence=1#:~:text=EI%20mismo%20Acosta%20(2002)%20define,la%20que%20entrega%20Chiavenato%20(1995)
27. Aportes (junio, 2014). El método del análisis comparative y su aplicación en los casos de la actividad turística de México y Nueva Zelanda 2000-2003. (pdf) Recuperado el 19 de abril del 2021 de: <http://www.portesasiapacifico.com.mx/revistas/epocaii/numero7/2.pdf>
28. Rivera, J. (s.f.). La capacitación como herramienta efectiva para mejorar el desempeño de los empleados. Recuperado el 19 de abril del 2021 de: [http://www.cyta.com.ar/ta1602/v16n2a3.htm#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20autor%20Chiavenato%20\(2007,en%20funci%C3%B3n%20de%20objetivos%20definidos%20E2%80%9D.&text=Eleva%20la%20moral%20del%20personal](http://www.cyta.com.ar/ta1602/v16n2a3.htm#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20autor%20Chiavenato%20(2007,en%20funci%C3%B3n%20de%20objetivos%20definidos%20E2%80%9D.&text=Eleva%20la%20moral%20del%20personal)
29. Morales, O. (s.f). Modelo ADKAR, Recuperado el 21 de abril del 2021 de: <https://es.scribd.com/document/330129210/Modelo-Adkar>
30. Martínez, R. (2015). Aplicacion del modelo ADKAR al studio organizativo. Caso del Mercado de Nuestra Señora de África. (pdf) Recuperado el 21 de abril del 2021 de: <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/1499/APLICACION%20DEL%20MODELO%20ADKAR%20AL%20ESTUDIO%20ORGANIZATIVO.%20CASO%20DEL%20MERCADO%20DE%20NUESTRA%20SEÑORA%20DE%20AFRICA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
31. Morales, M. (2020). La gestión del cambio organizacional de una empresa manufacturer ABC mediante la Metodología ADKAR. (pdf). Recuperado el 22 de abril del 2021 de: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36121/MoralesJaimesMariaCamila2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

32. Carranza, A. & Yuptón, H. (2019). Propuesta de Gestión del cambio basado en el modelo ADKAR en el colegio privado Jorge Basadre de la ciudad de Chiclayo. (pdf). Recuperado el 23 de abril del 2021 de: http://tesis.usat.edu.pe/bitstream/20.500.12423/2318/1/TL_CarranzaMedinaAlan_YuptonCulquiAbel.pdf

PERSPECTIVA DE LA TRAYECTORIA ESCOLAR DE ESTUDIANTES MUJERES EN PROGRAMAS EDUCATIVOS DE TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN

Jorge E. Ibarra Esquer¹, Cecilia M. Curlango Rosas¹, María L. González Ramírez¹, Juan P. García Vázquez¹, Gloria E. Chávez Valenzuela¹, Linda E. Arredondo Acosta¹, Brenda L. Flores Ríos², Laura R. Bravo Ramírez¹

¹Universidad Autónoma de Baja California, Facultad de Ingeniería, ²Universidad Autónoma de Baja California, Instituto de Ingeniería.
jorge.ibarra@uabc.edu.mx

RESUMEN

Medir y analizar la participación que tiene la mujer en la Educación Superior es importante para establecer una visión de las percepciones de género que puedan existir hacia una cierta área de estudio y las oportunidades de desarrollo profesional dentro de esa disciplina. Una de las áreas donde diversos estudios muestran un porcentaje bajo de la presencia de mujeres es la de ingeniería y tecnología, siendo de nuestro interés particular las tecnologías de información. A partir de esto, se presenta un panorama de la participación y desempeño de las estudiantes mujeres dentro de dos programas educativos del área de tecnologías de información de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Baja California, por medio de indicadores asociados a la trayectoria de los estudiantes y contrastando éstos con los programas educativos de otras áreas de la ingeniería. En un concentrado a poco más de 10 años y partiendo de la última reestructuración del plan de estudios en la que ambos programas tomaron parte, se describen de manera cuantitativa los resultados en términos de egreso, eficiencia, promedios, titulación, deserción y abandono. Se analizan los resultados en las unidades de aprendizaje que forman el núcleo de los programas educativos y el nivel de participación en actividades extracurriculares. Los datos mediante los cuales se realiza el seguimiento son extraídos directamente de los historiales académicos de los alumnos que han estado inscritos desde el semestre 2009-2 hasta el 2020-2. Posteriormente incorporados a una base de datos donde se relacionan con información adicional dirigida al cálculo de indicadores y que permite la generación de conjuntos de datos para el seguimiento de los alumnos tanto de manera individual, a nivel de programa educativo, o de la unidad académica. Los datos se concentran y analizan a nivel de cohorte utilizando técnicas de estadística descriptiva, lo que permite visualizar cómo las estrategias de atención emprendidas por la institución y sus profesores han influido en la población, retención y egreso de estudiantes de estos programas educativos, haciendo énfasis en la población de estudiantes mujeres que ha formado parte de ellos durante el periodo en cuestión. Del análisis realizado, se observa que las estudiantes mujeres representan un porcentaje menor de la población de estos programas educativos (21% entre alumnos que cursaron al menos 3 semestres). No obstante, su contribución en los indicadores es ligeramente superior en proporción a su población, totalizando el 24% del total de egresados en tecnologías de información. Así mismo, el porcentaje de estudiantes mujeres que egresa con respecto a las que ingresan a estos programas educativos es 8% superior al de los estudiantes hombres. Sin embargo, la población femenina en estos programas es baja, lo que plantea la necesidad de seguir implementando estrategias que motiven a las mujeres a ingresar a las áreas de tecnologías de información y reforzar las acciones existentes enfocando esfuerzos en fomentar la permanencia dentro de los programas educativos y elevar la cantidad de mujeres egresadas.

INTRODUCCIÓN

La Facultad de Ingeniería, campus Mexicali (FIM) de la Universidad Autónoma de Baja California (UABC) oferta desde 1986 dos programas educativos (PE) del área de Tecnologías de Información (TI). Estos son Licenciado en Sistemas Computacionales (LSC) e Ingeniero en Computación (ICo), los cuáles son parte de un total de 11 PE ofertados en esta unidad académica, donde se cuenta con una matrícula semestral de alrededor de 4500 estudiantes. A nivel estatal, la UABC cuenta con 4 PE en el área de TI: Licenciado en Ciencias Computacionales y Licenciado en Informática, que son parte de los programas de otras unidades académicas, LSC e ICo, este último ofertado además en los Campus de Tijuana y Ensenada.

El PE LSC cuenta con la acreditación de calidad por parte del Consejo Nacional de Acreditación en Informática y Computación A.C. (CONAIC), con vigencia al 2026, mientras que ICo por parte del Consejo de Acreditación de la Enseñanza de la Ingeniería A.C. (CACEI), con vigencia al 2023. Ambos PE han ingresado en múltiples ocasiones al Padrón EGEL de Programas de Alto Rendimiento Académico; LSC en 5 evaluaciones e ICo en 6 desde 2013.

Si bien la orientación de estos PE tiene sus características particulares y atiende a diferentes perfiles profesionales, existen elementos comunes que permiten caracterizar a sus estudiantes de manera conjunta. Dentro de los mapas curriculares se pueden identificar subtrayectorias similares que suelen atraer a estudiantes con perfiles e intereses cercanos y que al mismo tiempo influyen en su eventual permanencia dentro de los programas. Una diferencia significativa entre ellos se establece con la reestructuración de los planes de estudio de los PE de la FIM realizada en el periodo 2003-1. A partir de esos planes de estudio, todos los estudiantes que ingresan a la FIM con interés en un PE de ingeniería, entre ellos ICo, cursan un tronco común (TC) con duración de 2 semestres; mientras que los interesados en LSC ingresan de manera directa a ese PE. Adicionalmente, los PE de ingeniería reestructuraron nuevamente sus planes de estudio a partir del periodo 2019-2, mientras que LSC continúa con el plan de estudios anterior.

Las secciones de las evaluaciones enfocadas a calidad en los PE que están relacionadas con el desempeño y actividades de los estudiantes suelen realizarse sobre el total de estudiantes que conforman el PE. Uno de los aspectos que motiva la elaboración de este estudio es ampliar el trabajo realizado con estas evaluaciones, caracterizando por género el desempeño y resultados de trayectoria de los estudiantes. Se hace énfasis en las estudiantes mujeres, que actualmente son minoría en los PE del área de TI y es de nuestro interés incrementar el número de mujeres en esta disciplina.

TEORÍA

Según el Informe de la Ciencia 2021 de la UNESCO (UNESCO, 2021), las mujeres conforman sólo el 28% de los egresados de las ingenierías y en el área de Ciencias Computacionales e Informática el 40% de los egresados son mujeres. Sin embargo, se señala que el porcentaje de mujeres que egresan de alguna ingeniería varía dependiendo del país o región que se está estudiando. Por ejemplo, en ciertos países de América Latina este porcentaje llega a ser alto. Tal es el caso de Cuba donde las mujeres conforman el 41.7% de los egresados, Perú con 47.5% y Uruguay con 45.9%.

Se han realizado estudios enfocados a medir la presencia de mujeres en programas de Ciencias computacionales en universidades de Estados Unidos. En (Babes-Vroman et al., 2017) se analiza la diversidad de la población estudiantil de cuatro cursos que todo estudiante del programa de Ciencias Computacionales de la Universidad Rutgers debe aprobar. Para ello se aplicaron encuestas a estudiantes, así como datos de su trayectoria, en los 4 cursos ofertados por su departamento escolar, obteniendo el porcentaje de mujeres y hombres que cursaron cada materia. Mediante el análisis de esta información, lograron determinar el momento en el que se da un mayor índice de abandono del PE. De manera similar, en (Redmond et al., 2013) realizaron un estudio acerca de estudiantes mujeres en el programa de Ciencias Computacionales de la Universidad Stanford utilizando historiales parciales de calificaciones de estudiantes y encuestas. Además de estudiar los factores que afectan a la participación de las mujeres en Ciencias Computacionales, también examinaron el impacto de una modificación que se hizo al plan de estudios.

Desde el 2002, el Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES) y la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES) firmaron un convenio para promover la incorporación de la perspectiva de género en los planes de estudio, programas y proyectos de las IES. La perspectiva de género se incorporó en la Ley de Ciencia, Tecnología e Innovación de México (CTI) en el Diario Oficial de la Federación el 7 de junio de 2013 (DOF, 2015; Madrigal et al., 2013).

En México se realizó un estudio exploratorio y descriptivo para identificar y describir las experiencias de mujeres que han permanecido en programas de ingeniería (García y González, 2014). En él participaron 20 mujeres pertenecientes a programas como Ingeniería en Ciencias Computacionales, Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica e Ingeniería Civil, la mitad inscritas en universidades privadas y la otra mitad en universidades públicas. En el estudio, las participantes fueron entrevistadas de manera individual y compartieron sus percepciones y experiencias acerca de cursar

un programa de ingeniería siendo mujer. Entre sus resultados encontraron que las participantes perciben un ambiente de estereotipos de género en los cuales las mujeres se consideran inferiores a los hombres al poseer éstas menos habilidad natural para la ciencia y las matemáticas. Adicionalmente, las participantes perciben que existen barreras sociales para convertirse en ingenieras ya que se considera que son menos atractivas o poco femeninas. Así mismo se identificó que la ingeniería es una carrera con materias que son difíciles de aprender, sobre todo en los primeros semestres. Sobre este aspecto, se encontró que las mujeres tienden a cuestionar su habilidad cuando obtienen calificaciones bajas, mientras que los hombres tienden a culpar al profesor o al examen. Finalmente, el estudio identificó la importancia que tienen los docentes en la retención de las estudiantes. Las participantes describieron casos en los que la interacción fue negativa u hostil y aunque esta actitud también se presentaba con los hombres, se identificaron casos en los que era dirigida directamente a ellas por ser mujeres. Sin embargo, también identificaron profesores cuyo apoyo las ayudó a ampliar sus perspectivas de la ingeniería e influyó en su decisión de permanecer en un programa de ingeniería. Los aspectos identificados en este estudio marcan un excelente punto de partida para analizar los programas de ingeniería y plantear estrategias para atraer y retener un mayor número de estudiantes mujeres.

PARTE EXPERIMENTAL

Los datos utilizados para el presente estudio se obtienen de diversos reportes que se descargan de repositorios institucionales mantenidos por la Coordinación de Servicios Estudiantiles y Gestión Escolar (CSEGE) de la UABC y son procesados y analizados por el área de Seguimiento a la Trayectoria Escolar (STE) de la FIM. Esta actividad se encuentra enmarcada dentro del Sistema de Gestión de Calidad de la FIM y asociada al área de Planeación. Uno de los objetivos principales de su establecimiento fue el cálculo, actualización y mantenimiento de indicadores académicos con fines de apoyo a procesos de acreditación de los programas educativos ofertados en la FIM; sin embargo, al obtener y generar conocimiento adicional sobre esos datos se abrió la posibilidad de crear herramientas de apoyo a otros procesos académicos y de realizar estudios adicionales enfocados a conocer de mejor manera las características de la población estudiantil de la FIM y los factores académicos que impactan en sus resultados.

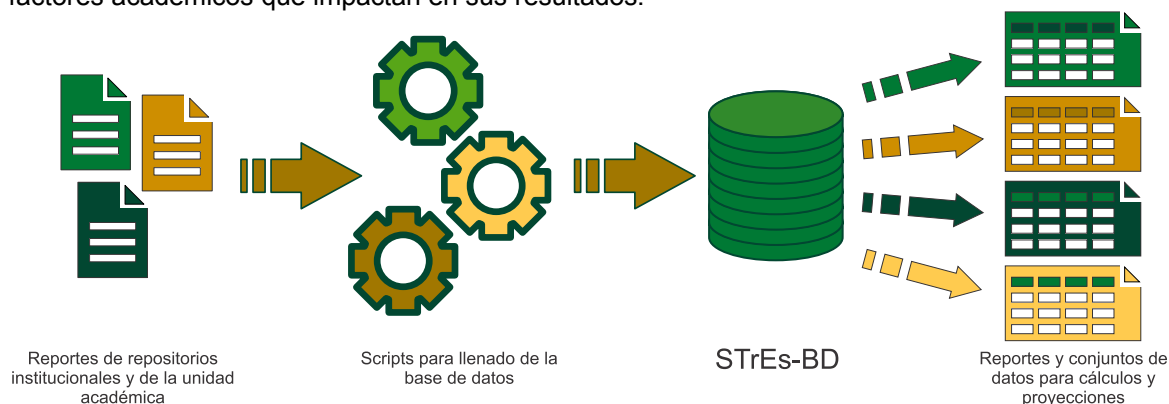


Figura 1. Fases del proceso de generación de conjuntos de datos

De manera general, el proceso que se sigue para la obtención y procesamiento de los datos históricos, y la posterior generación de conjuntos de datos personalizados se expresa en la Figura 1. Los reportes institucionales son revisados y transformados mediante un conjunto de scripts que los almacenan en una base de datos (STrEs-BD) creada dentro del STE-FIM. Utilizando consultas preestablecidas y procedimientos almacenados en la base de datos, se generan reportes y conjuntos de datos que son utilizados en el cálculo de distintos indicadores de trayectoria y como insumos para herramientas de apoyo a procesos relacionados con los estudiantes.

Para el presente estudio, se obtienen los historiales académicos de cada alumno de los PE Licenciado en Sistemas Computacionales (LSC) e Ingeniero en Computación (ICo) de la FIM, a partir del periodo escolar 2009-2. Se toma este periodo como referencia puesto que corresponde al inicio

del plan de estudios actual de LSC y del plan de estudios anterior de ICo, el cual fue reestructurado con vigencia a partir del semestre 2020-1. Los datos incluyen los detalles de cada unidad de aprendizaje cursada por cada alumno, así como el estado académico actual y los totales de créditos obligatorios y optativos cursados, promedio general de calificaciones y los datos de identificación del alumno.

RESULTADOS

Los resultados se presentan primero en términos de población, posteriormente en función de los principales indicadores de trayectoria escolar, y por último un análisis de la participación en actividades y modalidades de aprendizaje extracurriculares. Se hace una comparativa general entre estudiantes mujeres y hombres, profundizando el análisis hacia los resultados de las estudiantes mujeres.

En la Figura 2 se presenta una gráfica con el total de estudiantes que han ingresado a los PE LSC e ICo durante el periodo 2009-2 a 2021-1. LSC ha recibido un total de 1101 estudiantes, de los cuales 273 son mujeres, mientras que a ICo han ingresado 614 estudiantes, de ellos 95 mujeres. En total desde 2009-2 han ingresado a los programas en TI de la FIM 1715 estudiantes, siendo 368 de ellos mujeres. Las estudiantes mujeres representan un 21.5% del total de estudiantes en los programas de TI; en el PE LSC el porcentaje de estudiantes mujeres es de 25%, mientras que en ICo 15% (Figura 3).

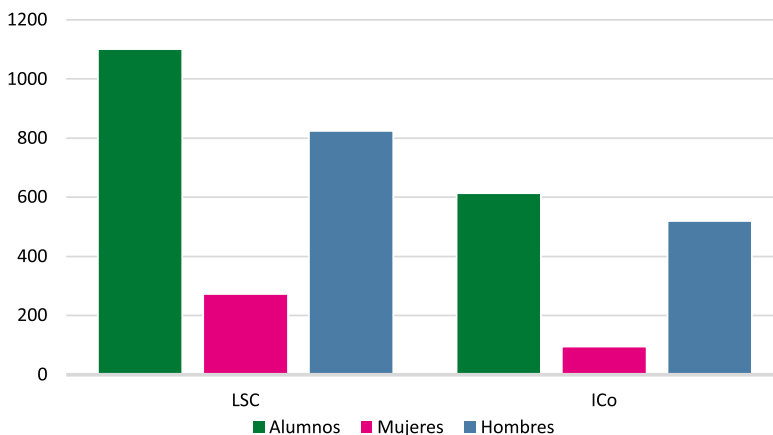


Figura 2. Población por programa educativo y género.

Para poner estos datos en perspectiva de lo que sucede a nivel nacional, se toma la información del anuario estadístico de la ANUIES, cuya versión más reciente corresponde al periodo 2019-2020 (ANUIES, 2020). En lo que concierne a programas de licenciatura en TI, encontramos que en México se matricularon 56,286 estudiantes mujeres, que son el 23% de la población total en estos programas. El estado de Baja California en ese mismo periodo tuvo 988 estudiantes mujeres en programas de TI, que es el lugar 19 a nivel nacional. Ese número representa el 19.9% de la población total en programas de TI en el estado y corresponde a la posición 25 entre todos los estados de México. La UABC tuvo entre sus 4 programas de TI en todos sus campus un total de 460 estudiantes mujeres, casi la mitad del total en el estado. Además, es el 24.5% de su población en TI; es decir, casi 1 de cada 4 estudiantes de TI en la UABC son mujeres. Mientras tanto, en la FIM estuvieron inscritas 75 estudiantes mujeres, que representa el 20.7% de la población en TI y que es casi 2% superior a la media estatal, pero 2% menor que la nacional.

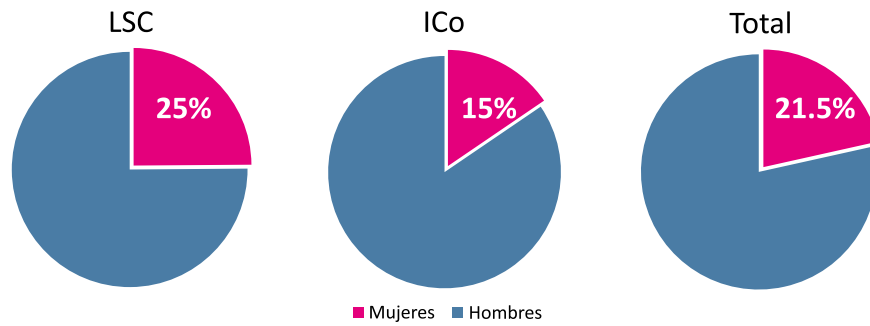


Figura 3. Porcentaje de estudiantes mujeres en los PE en TI de la FIM.

Haciendo un seguimiento semestral, se observan tendencias opuestas entre ambos PE en lo que se refiere al número de estudiantes mujeres (Figura 4), aunque el porcentaje de la población tiene variaciones menores puesto que en general la matrícula ha disminuido. Tanto de forma individual como combinada (Figura 5), los porcentajes más altos de población de estudiantes mujeres se presentan durante el 2019 y habiendo descendido a sus niveles más bajos tanto en cantidad de estudiantes totales como porcentaje durante los semestres más recientes.

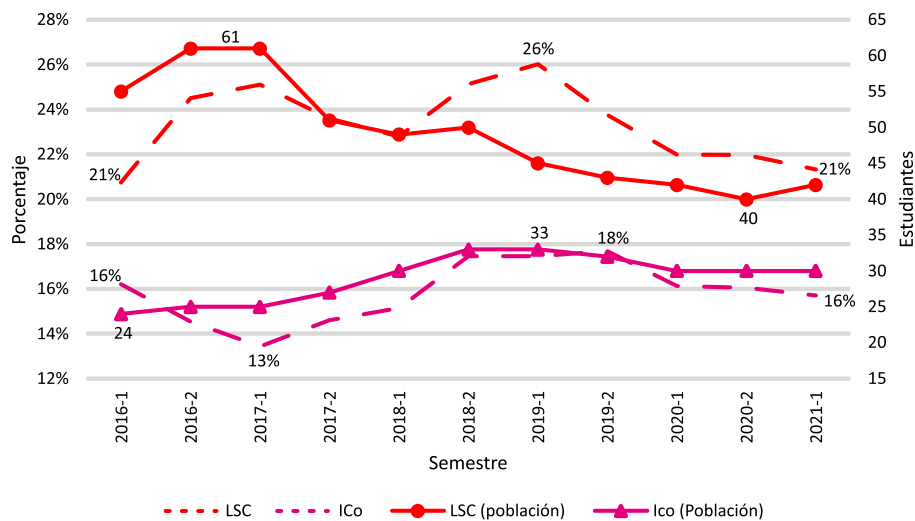


Figura 4. Población por semestre de estudiantes mujeres en los PE en TI de la FIM.

El detalle de la población estudiantil mostrado en estas gráficas corresponde a las estadísticas oficiales de la universidad, que se publican separadas por género a partir de 2016. El seguimiento que hemos realizado de 2009 a 2015 no incluye a la población total, que durante ese periodo está complementada por estudiantes que ingresaron en semestres anteriores y como parte de un plan de estudios diferente.

Una forma diferente de observar el comportamiento de la población estudiantil es a través del seguimiento a las cohortes generacionales. En la Figura 6 se presentan dos gráficas en las que se indican los ingresos de estudiantes mujeres por cohorte a cada uno de los PE, y el porcentaje que representan de la matrícula total de cada cohorte. La gráfica de la izquierda muestra que el PE LSC ha tenido en cada cohorte una cantidad de estudiantes mujeres mayor o igual que el PE ICo, con excepción de la cohorte 2016-2. En el periodo escolar 2019-1 la FIM no incluyó en su oferta para aspirantes de nuevo ingreso a LSC, y el único ingreso que se tiene en esa cohorte es de una estudiante que solicitó cambio desde otro PE en la misma FIM. Para la cohorte 2020-2 no se tienen aún ingresos al PE ICo, puesto que los estudiantes que ingresaron en ese periodo aún se encuentran cursando el Tronco Común. A partir de la cohorte 2015-2 se observa un descenso en la matrícula de

estudiantes mujeres para LSC, mientras que en el caso de ICo se aprecia una ligera pendiente positiva.

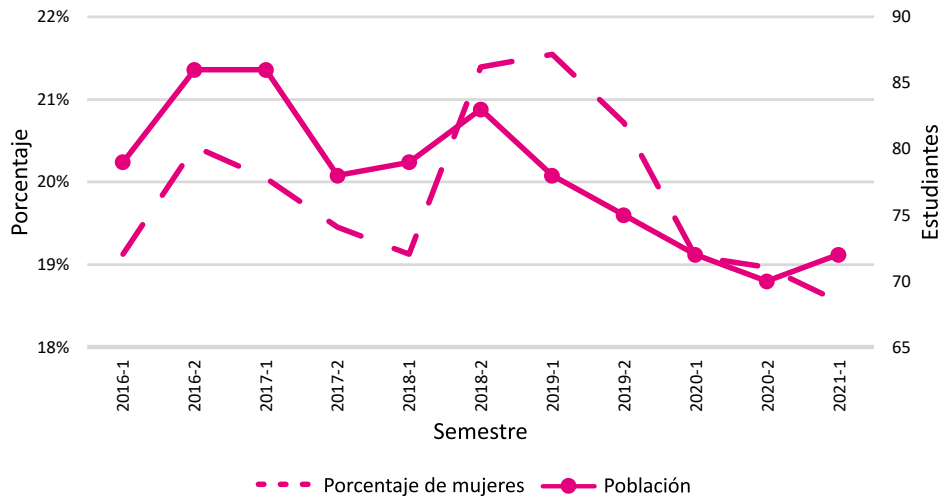


Figura 5. Población total por semestre en los PE en TI de la FIM.

La gráfica de la derecha presenta el porcentaje de las estudiantes mujeres en la matrícula total de cada PE por cohorte. En el caso de LSC, la curva sigue la forma de la curva de población, pero no se aprecia una tendencia clara en aumento o disminución del porcentaje. Para ICo las variaciones de porcentaje entre una cohorte y la siguiente han ido disminuyendo y se ve una tendencia a estabilizarse alrededor del 15%, que es el porcentaje del total de estudiantes mujeres mostrado en la Figura 3.

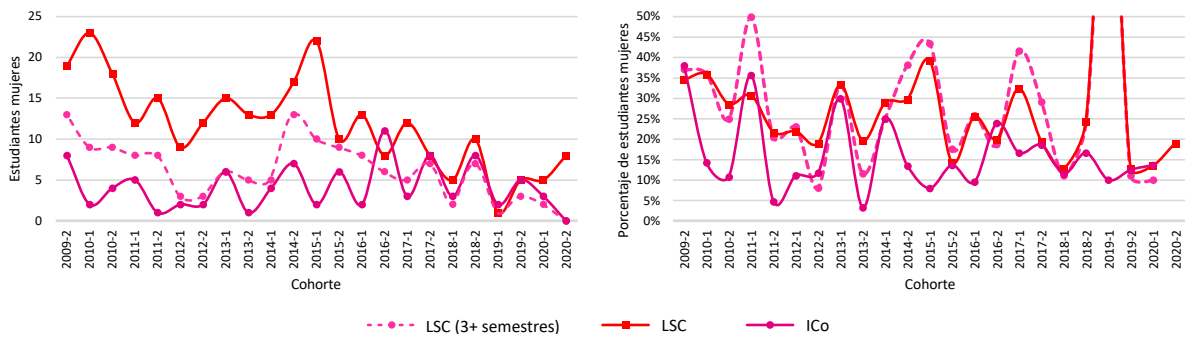


Figura 6. Estudiantes mujeres por cohorte generacional en los PE en TI de la FIM.

En las dos gráficas de la Figura 6 se incluye una tercera curva que se muestra con una línea discontinua. Esta corresponde a la de las estudiantes mujeres del PE LSC que han cursado al menos 3 semestres dentro del programa. Se hace esta distinción para establecer una comparativa en términos de indicadores con el PE ICo, donde los estudiantes cursan sus primeros dos semestres en un tronco común de ingeniería y es hasta el tercero donde ingresan al PE; además, el PE LSC suele recibir estudiantes que no lo tenían como su primera opción de ingreso y que durante los primeros dos semestres abandonan sus estudios o logran ingresar al PE que les interesaba originalmente. Esta situación deriva en una muy alta deserción durante los primeros dos semestres en LSC, que representa el 75% del total de las deserciones entre las estudiantes mujeres (Figura 7). Un aspecto interesante que se observa en la gráfica de porcentaje de población es que este porcentaje ajustado a mínimo tres semestres cursados, suele ser mayor que el de ingreso, lo que indica que la proporción de mujeres que llega a este punto de sus estudios es mayor que la de los estudiantes hombres.

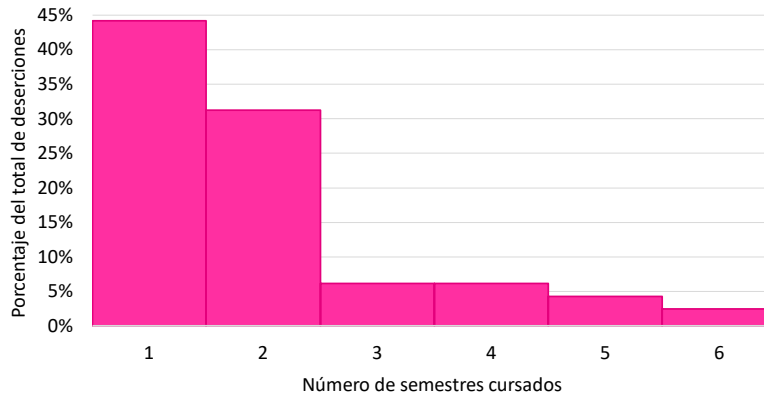


Figura 7. Deserciones de estudiantes mujeres por número de semestres cursados en el PE LSC.

Para analizar los indicadores de trayectoria se toman en cuenta los siguientes criterios:

- Estudiantes que ya cursaron el tiempo mínimo para terminar sus estudios que indican los planes de estudio. Para ambos PE este es de 8 semestres.
- En el caso del PE LSC, se consideran los alumnos que cursaron al menos 3 semestres.

En total se tienen 185 estudiantes mujeres que cumplen con estos criterios, 120 en LSC y 65 en ICo. Se compararon en primera instancia los datos de egreso, deserción y baja académica. Egreso incluye a todos los estudiantes que concluyeron todos los créditos indicados en el plan de estudios de su respectivo PE. La deserción se refiere al abandono de los estudios por algún motivo no necesariamente académico, y que tienen la opción de solicitar reingreso. Por otra parte, la baja académica es de carácter definitivo y en la mayoría de los casos es por cuestiones de reprobación de una misma unidad de aprendizaje en tres ocasiones, aunque también puede darse por una sanción de parte de la universidad, o por exceder el tiempo máximo para concluir sus estudios.

En la Figura 8 se muestra una comparación en porcentajes para los indicadores de egreso, deserción y baja académica entre estudiantes mujeres y hombres para los dos PE y en conjunto. Las gráficas muestran que las estudiantes mujeres presentan un mejor desempeño que los estudiantes hombres, con un mayor porcentaje de egresos y menores porcentajes de deserción y baja académica, con excepción de la deserción en LSC que es 5% mayor en estudiantes mujeres que en hombres. Entre los dos PE, el porcentaje de mujeres que termina sus estudios es 8% mayor al de los hombres. Además, en términos de rendimiento, 93% de las estudiantes mujeres que egresan terminan con un promedio general de aprovechamiento superior a 80, contra 87% de los estudiantes hombres.

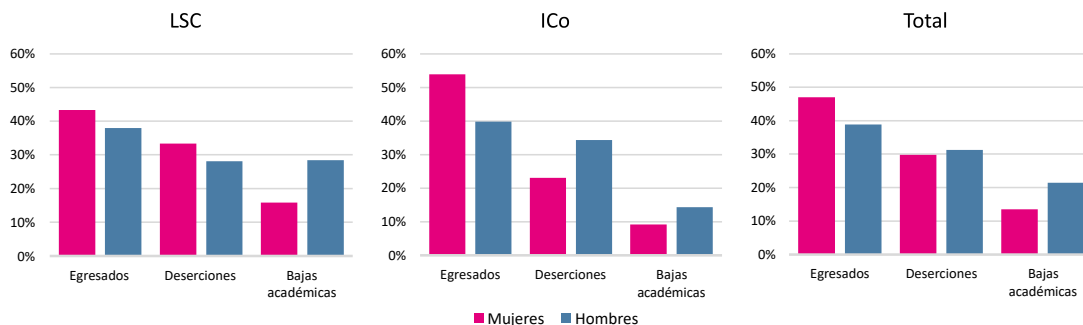


Figura 8. Indicadores de trayectoria escolar de los PE en TI de la FIM.

Un aspecto que resulta interesante con relación a estos indicadores es el tiempo promedio para egresar y el tiempo promedio antes de una deserción entre estudiantes mujeres y hombres. En ambos PE, las estudiantes mujeres egresan en un promedio de 10.2 semestres; en ICo esto es 0.5

semestres menor al de los estudiantes hombres, mientras que en LSC es 0.3 semestres mayor. En contraste, las estudiantes mujeres que desertan de sus estudios en ICo lo hacen en promedio después de 6.9 semestres, que es 0.5 semestres mayor al de los estudiantes hombres, mientras que en LSC es de 5.2 semestres, 0.4 semestres menor que los estudiantes hombres de ese PE y poco más de 1.5 semestres menor que las estudiantes mujeres en ICo. Al ser el porcentaje de deserción entre mujeres en LSC 10% mayor al de ICo, estos datos sugieren que alcanzar un mayor número de semestres en sus estudios reduce el riesgo de deserción.

La Figura 9 presenta con un mayor nivel de detalle el desempeño de las estudiantes mujeres a partir de su estado académico actual. A diferencia de las gráficas anteriores, separa a las egresadas que ya obtuvieron su título de licenciatura de aquellas que aún no lo han hecho, además de mostrar el porcentaje de estudiantes que continúan inscritas. En ambos PE el porcentaje de titulación es prácticamente el mismo, con un mayor porcentaje en ICo de egresadas que aún no obtienen su título. Las tres porciones más oscuras de las gráficas indican el porcentaje esperado de éxito para los programas, que incluye al total de egresadas y a las estudiantes que aún están inscritas; para LSC se tiene un porcentaje de 51% y para ICo de 68%. La gráfica de la derecha presenta los porcentajes totales para los dos PE, con un porcentaje esperado de éxito del 57%.

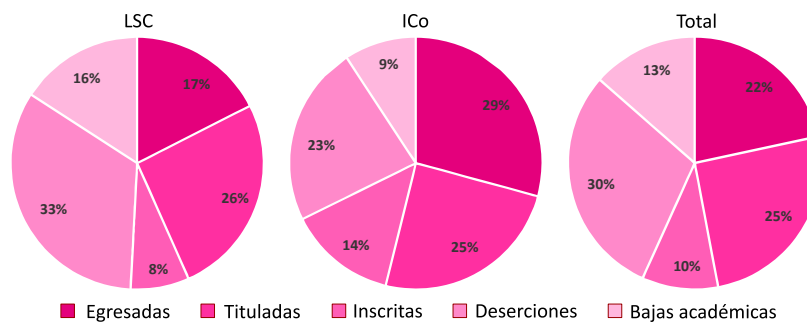


Figura 9. Estado académico de las estudiantes mujeres en los PE en TI de la FIM.

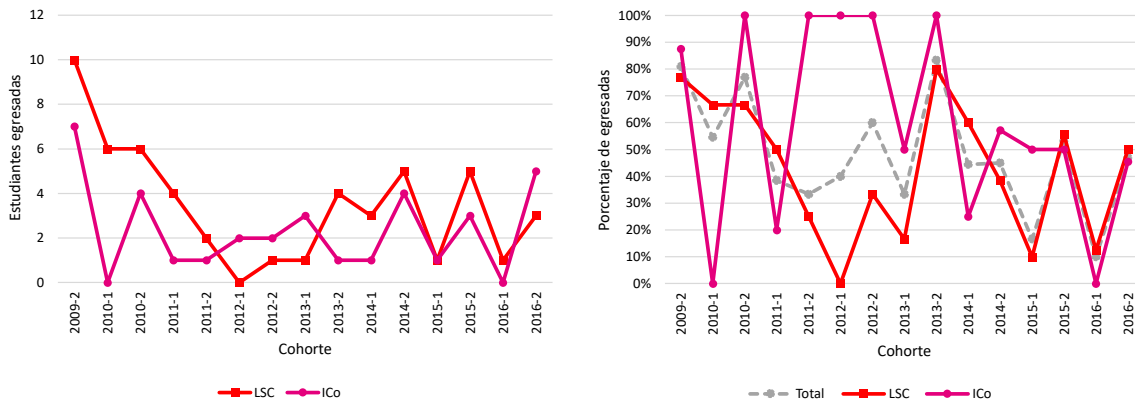


Figura 10. Egresadas por cohorte generacional en los PE en TI de la FIM.

Las gráficas de la Figura 10 muestran en totales y porcentaje a las estudiantes mujeres egresadas por cohorte. Se incluye hasta la cohorte 2016-2 que es la más reciente con alumnos egresados para ambos PE. En la gráfica de la izquierda se observa que la cantidad de egresadas por cohorte es ligeramente superior en la mayoría de las cohortes para LSC, lo cual es correspondiente a una población de estudiantes mujeres mayor en ese PE. Dos cohortes de ICo no tienen egresadas, mientras que este caso sólo se presenta en una cohorte de LSC. La gráfica de la derecha muestra el porcentaje de estudiantes mujeres egresadas por cohorte, incluyendo también la curva para el porcentaje de egresadas entre los dos PE. Se observa que en 5 ocasiones el 100% de las estudiantes mujeres de ICo de una cohorte ha egresado, mientras que para LSC el máximo es de

80%. Para las cohortes más recientes, los porcentajes de egreso de mujeres son muy similares para los dos PE.

Un resultado positivo se encontró al hacer un seguimiento de las estudiantes que egresan por semestre, donde en conjunto, tres de los cuatro totales más altos se presentan durante los cuatro semestres más recientes (Figura 11). Esto es importante puesto que los dos semestres del 2020 se vieron afectados por las condiciones de la pandemia de COVID-19 y la transición a un modelo de clases en línea. La gráfica inicia con el periodo 2013-1 que es cuando egresaron los primeros estudiantes de la cohorte 2009-2.

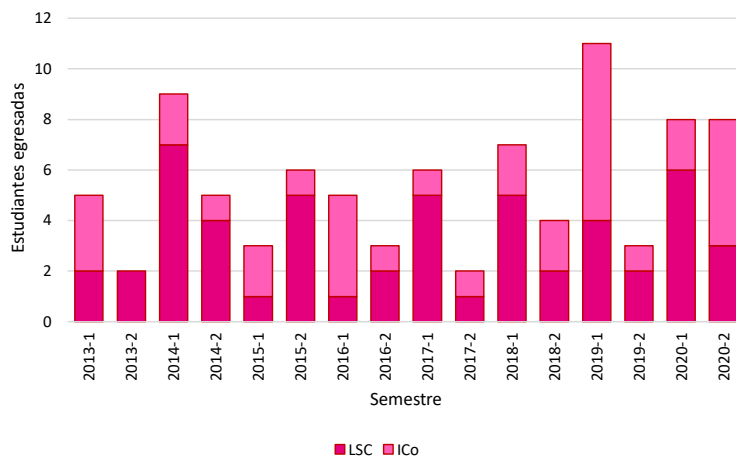


Figura 11. Egresadas por semestre en los PE en TI de la FIM.

Finalmente, se midió el nivel en el cuál las estudiantes mujeres se involucran en actividades complementarias y modalidades no convencionales de obtención de créditos. La participación en este tipo de actividades es importante para el desarrollo de competencias adicionales a las establecidas por la disciplina de estudio, además de apoyar al avance del estudiante en sus estudios mediante la acreditación de cursos optativos. Se consideraron aquellos cursos mediante los cuales el estudiante obtuvo créditos optativos y que aparecen listados en su historial académico, pues no se tiene un registro de actividades realizadas de manera externa a la universidad. Entre estas actividades se presentan los cursos de idioma extranjero, actividades deportivas, actividades culturales y los diversos programas de ayudantías.

Los resultados se presentan por PE y en conjunto, con gráficas que permiten comparar la participación entre estudiantes mujeres y hombres en términos de porcentaje de manera semestral. En las tres gráficas de cada una de las Figuras 12 a 15 se utiliza la misma escala a fin de establecer un criterio de comparación más claro. En todos los casos los porcentajes se refieren al número de estudiantes inscritos en ese semestre que participaron en las actividades.

En la Figura 12 se muestra el porcentaje de estudiantes que se inscribieron en cursos de idioma extranjero con valor en créditos durante cada semestre desde el 2009-2. Estos cursos son ofertados a través de la Facultad de Idiomas de la UABC y son una de las opciones que permiten a los estudiantes cumplir con el requisito de idioma extranjero establecido en los planes de estudio. La participación en estos cursos es muy baja durante los primeros semestres en el PE LSC y de manera general en los dos PE se observa una ligera tendencia positiva, aunque con oscilaciones más fuertes en el caso de las estudiantes mujeres, principalmente en el caso del PE ICo, lo cual puede atribuirse a una población menor. Al observar la gráfica combinada de ambos PE las variaciones de un semestre a otro no son tan grandes y la tendencia positiva se observa de forma más clara. Los semestres más recientes muestran una participación mayor de las estudiantes mujeres que de estudiantes hombres.

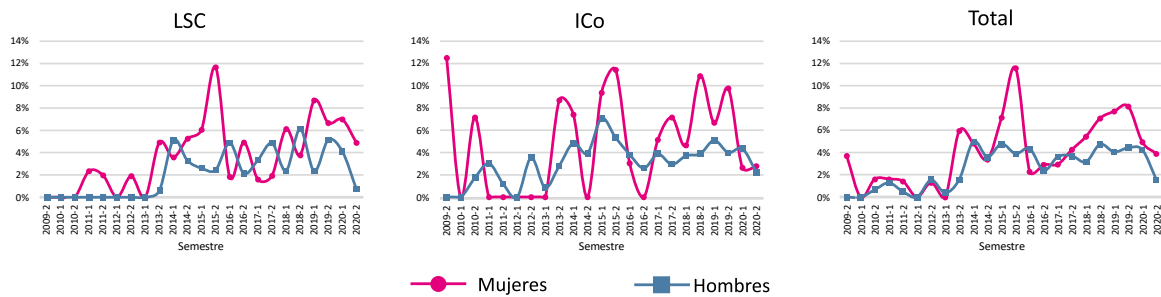


Figura 12. Porcentaje de mujeres en los programas de TI en cursos de idioma extranjero.

Otra actividad formativa importante es el deporte, que no tiene un carácter obligatorio en los planes de estudio pero que si da la opción de otorgar créditos optativos a partir de los cursos de la Facultad de Deportes de la UABC. En este caso la participación tanto de estudiantes mujeres como hombres es muy similar y se mantiene con variaciones muy pequeñas en los semestres más recientes (Figura 13). En el PE ICo se observa frecuentemente una participación mayor por parte de las estudiantes mujeres, aunque al representar el menor porcentaje de la población no provoca una diferencia muy amplia en el total.

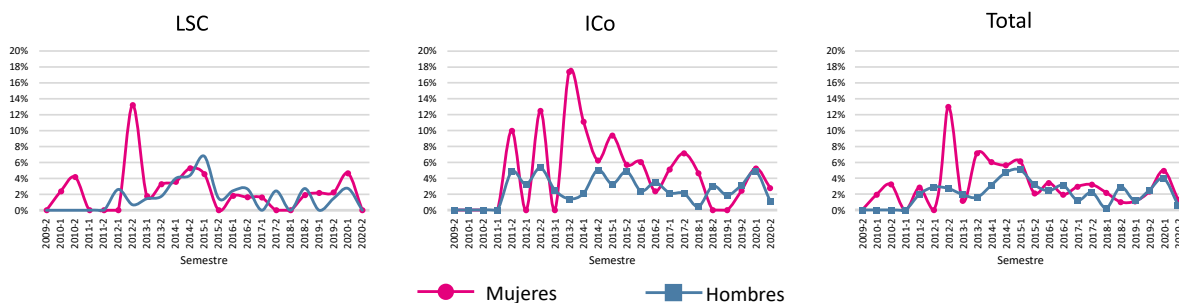


Figura 13. Porcentaje de estudiantes en los programas de TI en actividades deportivas.

En actividades culturales se incluyen los cursos ofertados por la Facultad de Artes de la UABC y que de manera similar a los deportivos los estudiantes pueden registrar como cursos optativos. Adicionalmente, durante el semestre 2013-2 se crea una nueva modalidad identificada como Actividad Complementaria con Valor en Créditos, la cual permite obtener créditos optativos mediante la participación y asistencia a diversas actividades como talleres, conferencias, seminarios y exposiciones. Tampoco se trata de una actividad obligatoria, pero se observa en las gráficas de la Figura 14 que la participación llega a ser muy superior a las deportivas y de idioma extranjero, alcanzando niveles más altos en el PE LSC. Las curvas de participación de estudiantes mujeres y hombres siguen la misma tendencia en ambos programas, dado que una cantidad importante de estas actividades son promovidas desde la misma FIM o las coordinaciones de los PE de manera general hacia todos los estudiantes.

Un último tipo de actividad es la de ayudantías, las cuales tampoco tienen un carácter obligatorio y que otorgan al estudiante créditos optativos. Estas pueden ser docentes, de laboratorio, de investigación o de vinculación y en todos los casos el estudiante trabaja en actividades de apoyo a alguno de los profesores del PE, desarrollando diversas competencias acordes al tipo de ayudantía y el proyecto o unidad de aprendizaje específica al que esté ligada. La participación en general responde al interés de los estudiantes, aunque el registro y seguimiento de estas modalidades es responsabilidad de los profesores. En la Figura 15 se presentan las gráficas con la participación de estudiantes en programas de ayudantías. Se observa que la participación de estudiantes mujeres y hombres es muy similar, y que claramente son modalidades más utilizadas en el PE ICo, donde además la participación tiene un comportamiento ascendente.

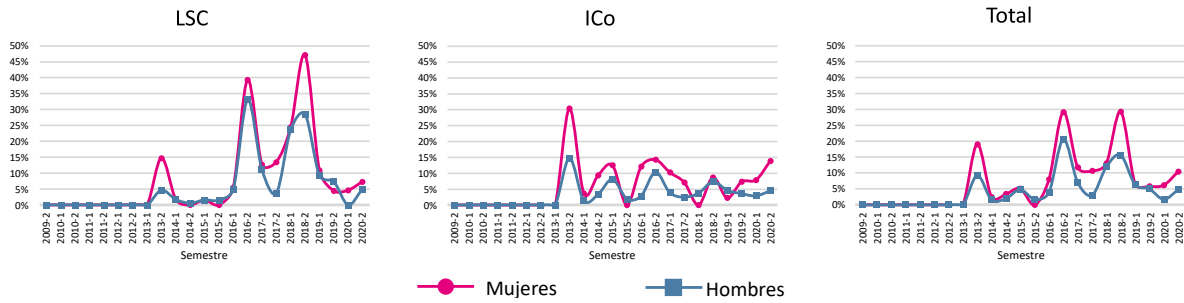


Figura 14. Porcentaje de estudiantes en los programas de TI en actividades culturales.

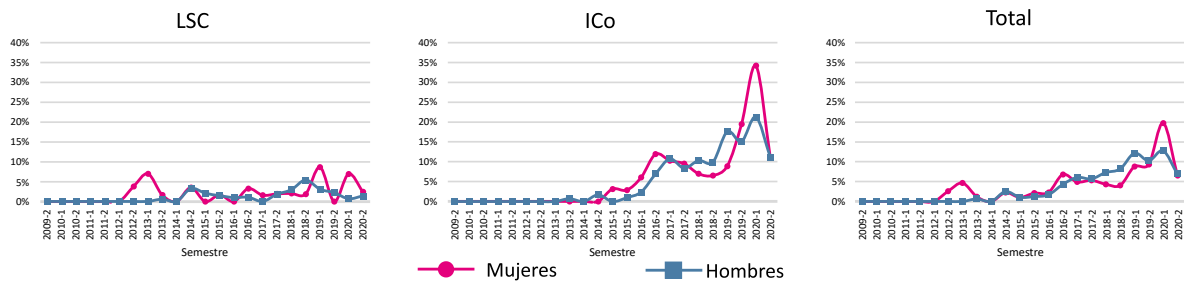


Figura 15. Porcentaje de mujeres en los programas de TI en programas de ayudantías.

CONCLUSIONES

Encontramos que el porcentaje de las estudiantes mujeres inscritas en los programas educativos en TI de la FIM es 2.2% menor que la media nacional y aproximadamente una quinta parte de su población total. Sin embargo, un aspecto interesante es que cerca del 50% de ellas termina con éxito sus estudios, y 54% de las egresadas ya han obtenido el título en su carrera respectiva, ambos porcentajes superiores al de los estudiantes hombres en estos mismos programas.

Uno de los aspectos que requieren atención es la alta deserción en los primeros semestres, principalmente en LSC, profundizando en las causas que llevan a la deserción no sólo de estudiantes mujeres sino en general. De igual manera, el procurar que las estudiantes permanezcan un mayor tiempo en sus estudios, ya que esto sugiere una reducción en el riesgo de deserción.

La participación en actividades que complementan su formación y la adquisición de habilidades y desarrollo de competencias adicionales alcanza niveles más altos en los diversos programas de ayudantías en el caso del PE ICo y en actividades culturales para LSC. Se aprecian diferencias entre ambos PE, lo que abre ventanas de oportunidad para buscar incrementar el número de estudiantes que hacen uso de estas modalidades. Como trabajo futuro a corto plazo, se analizarán las relaciones existentes entre este tipo de actividades y los resultados académicos globales de las estudiantes en TI.

La cantidad de mujeres que ingresa a los programas educativos en TI de la FIM es muy baja, lo que plantea la necesidad de proponer nuevas estrategias y reforzar las ya existentes para motivar a más mujeres a interesarse por estos programas.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANUIES, “Anuarios Estadísticos de Educación Superior – Ciclo escolar 2019-2020”, 2020, <http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>. Recuperado el 13 de julio de 2021.
2. M. Babes-Vroman, I. Juniewicz, B. Lucarelli, N. Fox, T. Nguyen, A. Tjang, G. Haldeman, A. Mehta, R. Chokshi, “Exploring gender diversity in CS at a large public R1 research university”, In Proceedings of the 2017 ACM SIGCSE Technical Symposium on Computer Science Education, 2017, pp. 51-56.

3. Diario Oficial de la Federación (DOF), “Ley de Ciencia y Tecnología”, Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 8 de diciembre de 2015, México.
4. C. García Villa, E. M. González y González, “Women students in engineering in Mexico: exploring responses to gender differences”, *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 2014, 27(8), pp. 1044-1061.
5. B. Madrigal, R. Madrigal, R. y E. Marún, “La Universidad de Guadalajara y la igualdad de género”, *Propuesta. Revista Inquietud Empresarial*, vol. XIII(2), pp. 109-128, diciembre 2013.
6. K. Redmond, S. Evans, M. Sahami, “A large-scale quantitative study of women in computer science at Stanford University”, In *Proceedings of the 44th ACM Technical Symposium on Computer Science Education*, 2013, pp. 439-444.
7. UNESCO, “Women and the Digital Revolution”, *Science Report*, 2021, <http://www.unesco.org/reports/science/2021/en/women-digital-revolution>. Recuperado el 26 de julio de 2021.

ANÁLISIS DE FACTORES PARA ELABORAR DESODORANTE A BASE DE INGREDIENTES NATURALES

Rubí Alcalá González¹, Jaqueline Dariela Almaraz García², Edith Esmeralda Martínez García², Saul Ottoniel García Rojas², Hilda Cristina Martínez Tovar¹, Perla Mayara Alcalá González¹

¹Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera, ²Alumno del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera
9617@rcarbonifera.tecnm.mx

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo determinar las variables óptimas para el proceso de la elaboración de un desodorante con ingredientes naturales como son la fécula de maíz, el bicarbonato y el aceite de coco para que pueda ser utilizado por las personas y no se vean afectadas con las reacciones que los desodorantes de origen químico traen actualmente. La innovación consiste en la elaboración y la mejora de un desodorante, utilizando productos naturales como fécula de maíz, aceite de coco y bicarbonato de sodio, para eliminar toxinas del cuerpo que provocan los desodorantes comerciales además de disminuir las irritaciones que provocan, la pregunta a resolver fue ¿Cuáles son las variables de entrada óptimas para obtener un desodorante con un pH saludable para la piel?, para esto, fue necesario conocer las características óptimas para producirlo, utilizando modelos estadísticos específicamente análisis de varianza y diseño de experimentos con la metodología del Dr. Genichi Taguchi (Escalante, 2007). El diseño de experimentos que se realizó fue un arreglo ortogonal $L_4 2^3$, se eligió este arreglo ya que es el que se adapta a la cantidad de factores para analizar, para la experimentación según el arreglo ortogonal definido se hicieron 4 diferentes pruebas con sus respectivas dos réplicas, utilizando diferentes cantidades de ingredientes para posteriormente medir su pH; las variables de entrada, fueron la fécula de maíz, el bicarbonato y el aceite de coco, y el impacto en la variable de respuesta la cual fue el pH del desodorante. Con la investigación se obtuvieron las condiciones óptimas son $A_1 B_2 C_2$, que son elaborar el desodorante con 20 gr de bicarbonato de sodio, 30 gr de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz. En el modelo de predicción de condiciones óptimas se aprecia que, al elaborar el desodorante con 20 gr bicarbonato de sodio, 30 gr de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz durante el proceso se obtiene un pH de 7.70. También se obtuvo en el análisis de varianza que con un nivel de confianza del 95 % y con $F_{.05}(1,4) = 7.71$ se acepta la hipótesis nula en las 3 fuentes de variación: bicarbonato de sodio, aceite de coco y la fécula de maíz por lo tanto se comprueba que no hay variación entre las medias de pH. El diseño de Experimentos es una metodología excelente para realizar pruebas y poder replicarla por la comunidad científica utilizando modelos estadísticos específicamente análisis de varianza y diseño de experimentos con arreglos ortogonales Otros hallazgos importantes es añadir el aceite de coco virgen ya que se comprobó que es un excelente hidratante, así como también se obtuvo que los ingredientes se pueden mezclar en cualquier tipo de orden específico. Se recomienda continuar con la investigación en su segunda etapa para seguir analizando las variables de entrada y ver el impacto en otras variables de respuesta utilizando experimentos debidamente preparados.

INTRODUCCIÓN

Al año, miles de personas en todo el mundo usan desodorantes de origen químico, que traen consigo muchos problemas de salud que dañan y perjudican la salud del hombre y la mujer, la mayoría de los productos comerciales antitranspirantes contienen sales de aluminio como ingrediente activo, los cuales crean tapones en las glándulas sudoríparas de las axilas y no permiten transpirar, es importante sudar, ya que al hacerlo se liberan toxinas y se regula nuestra temperatura. Por lo anterior se realizó éste proyecto que consistió en un análisis de factores para realizar un desodorante con ingredientes naturales para que pueda ser utilizado por las personas y no se vean afectadas con las reacciones que este tipo de desodorantes traen, como irritación en la piel las cuales provocan oscurecimiento de axilas, lo que no es bien visto en la actualidad, se busca encontrar el pH adecuado del desodorante, por lo que se estará utilizando modelos estadísticos específicamente análisis de varianza y diseño de experimentos con arreglos ortogonales para analizar las variables de entrada

como lo son el bicarbonato de sodio, aceite de coco y fécula de maíz, medir el impacto en la variable de salida la cual es el pH del desodorante y elegir las variables óptima para la elaboración del desodorante.

TEORÍA

Antes de que existiera el desodorante, la gente trató por siglos crear alguna manera para camuflar su olor corporal. “Los egipcios fueron los más destacados en este aspecto al inicio de los tiempos, en donde la utilización de mezclas cítricas y canela fueron la clave para acabar con los malos olores corporales”. Otros perfumes que se utilizaron fueron el incienso y el algarrobo.

Ya años más adelante, en la edad media, el tema del olor corporal no fue muy importantes debido a que la higiene personal era casi solo para los más adinerados debido a los exclusivos perfumes, barriles de madera y agua caliente, que no estaban a la disposición para el resto del pueblo (el cual tenía que conformarse simplemente con refregarse con agua helada para limpiarse y nada más). (Publimetro. Nueva mujer, 2011). “Todo cambió ya cuando en 1888 apareció el primer antitranspirante hecho de cloruro de zinc, el cual tenía por nombre Mum” (Pareja, 2012) y era más que nada una cera pastosa que se aplicaba bajo el brazo.

Luego en 1890, una nueva variedad de antitranspirantes hechas de cloruro de aluminio aparecieron, iniciando la variada producción tanto de cremas, talcos, roll-ons y pads, para combatir el mal olor.

En 1950, la aparición de productos en aerosol, dieron el puntapié para que aparecieran los primeros desodorantes en aerosol, los cuales tenían como principales componentes el circonio de aluminio, y el clorofluorocarbono (CFC). Estos nuevos desodorantes se volvieron tan populares que para los '70, representaban el 80% de las ventas de este tipo de productos. Sin embargo, en 1977, el gobierno estadounidense prohibió el uso del circonio de aluminio debido a los problemas que podría producir en la salud humana al ser inhalado. Además, el uso del CFC también fue prohibido por los daños que podía producir en la capa de ozono. “Esto produjo como consecuencia la disminución del uso de desodorantes en aerosol y, por otro lado, el incremento de productos roll-on y en barra, mientras se buscaban alternativas a los químicos prohibidos”. Desde entonces, hasta la actualidad, un sinnúmero de marcas y productos de cuidado personal han salido al mercado, dando variedad al consumidor.

Método Taguchi

Un experimento es un procedimiento mediante el cual se trata de comprobar (confirmar o verificar) una o varias hipótesis relacionadas con un determinado fenómeno, mediante la manipulación y el estudio de las variables que presumiblemente son su causa. Se utiliza para describir cualquier proceso que genere un conjunto de datos

El (DOE) se puede definir como un conjunto de técnicas estadísticas usadas para planear experimentos y analizar sus resultados de manera ordenada y eficiente.

Existen tres principios básicos a ser considerados en todo diseño y análisis de un experimento:

1.- El orden de los experimentos debe ser aleatorio. Aleatorizar el orden de las pruebas neutraliza fuentes de variación que pueden estar presentes durante el experimento. En general dichas fuentes de variación son desconocidos, y pueden ser muchos, por ejemplo, cansancio del trabajador durante la realización de las pruebas o durante la medición de estas, cambios de voltaje, cambios de humedad, etc.

2.- Es importante replicar cada experimento. La razón es obtener un estimado del error, tanto para ver qué tan bien el diseño representa al proceso, como para poder comparar los factores y determinar si son activos o no. Se define como replica genuina la obtenida en una sola prueba o medición para cada combinación de los factores, y repetir dichas condiciones para cada replica adicional, en lugar de tomar varias muestras o mediciones de una vez en cada combinación. Lo opuesto a las réplicas genuinas son las repeticiones. Por supuesto las réplicas genuinas implican un mayor tiempo al realizar pruebas y un costo mayor, pero es la mejor manera de obtener un estimado más preciso.

3.- Ocasionalmente pueden existir variables presentes en un experimento, cuyo efecto no se desea probar y que incluso pueden afectar o encubrir la influencia de las variables con las que se desea experimentar.

Pasos para la experimentación:

- Definir el problema
- Seleccionar la variable de respuesta
- Verificar el estado de las maquinas en donde se va a experimentar

- Verificar la capacidad y estabilidad de los instrumentos de medición
- Seleccionar las variables a experimentar y sus niveles
- Determinar el tipo de diseño a usar y el número de replicas
- Realizar las pruebas aleatoriamente
- Analizar los resultados
- Conclusión

Factores o variables

Son dimensiones medibles en una escala continua. Por ejemplo, presión, voltaje, temperatura, diámetro, peso, etc.

Los niveles de una variable son los valores en los cuales se experimentará con esta.

Sin embargo, también variables cualitativas proveedor, operador, etc.

Elementos del método Taguchi

Los arreglos ortogonales (AO) son matrices de diseño que indican el número de pruebas y las combinaciones de las variables y sus niveles en dichas pruebas. Los AO representan una fracción del total de experimentos por realizar, de acuerdo con el número de variables y sus niveles. Por ello, la utilización de los AO reduce el costo y el tiempo de la experimentación. Los AO son diseños fraccionados.

La mayoría de los AO están asociados a una o varias gráficas lineales que indican la ubicación de las variables y sus interacciones dentro del AO seleccionado. **(Escalante, 2007)**

Para hacer una selección de arreglos ortogonales se requiere:

1. Escoger el AO considerando que cada columna de un arreglo con dos niveles puede alojar a una variable con dos niveles, o a una interacción formado por variables de dos niveles. En el caso de arreglos de tres niveles, se necesitarán dos columnas para contener a una interacción formada por variables con tres niveles.
2. Dibujar la gráfica requerida
3. Buscar una gráfica lineal que se adapte a la gráfica requerida
4. Asignar las variables del arreglo **(Escalante, 2007)**

Un arreglo ortogonal se puede comparar con una replicación factorial fraccionada, de manera que conserva el concepto de ortogonalidad y contrastes. Un experimento factorial fraccionado es también un arreglo ortogonal. Taguchi desarrolló una serie de arreglos particulares que denominó: $L_n(a^k)$ Donde: n = representa el número de pruebas (renglones), k = esto es el número de columnas o condiciones experimentales (factores). a = Representa los diferentes niveles a los que se tomará cada factor **(g-taguchi, 2019)**.

PARTE EXPERIMENTAL

Población

La muestra es de 4 pruebas con 2 réplicas cada una

Pasos para la experimentación

1. Definición del problema. se realizó el diseño y el análisis de experimentos determinando las distintas variables de entrada que se piensa pueden afectar el grado de pH del desodorante.
2. Se seleccionó la variable de respuesta, el pH, que es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es determinado en una escala que va de 0 a 14, cuánto más alto es el valor de pH, más alcalino o "básico" es el producto, y cuanto más bajo, más ácido es. Se considera que el valor neutro es el 7.
3. Verificación del estado de las máquinas en donde se va a experimentar, en este caso específico se requieren solo una báscula que pese gramos, los recipientes, y el medidor de pH
4. Selección de la variable a analizar y sus niveles. A continuación, se muestra la tabla de los factores y sus niveles.
5. Determinación del tipo de diseño a usar y el número de réplicas. El diseño de experimentos que se realizó fue un arreglo ortogonal $L_4 2^3$ con la metodología del Dr. Genichi Taguchi, se eligió este arreglo ya que es el que se adapta a los factores que se planean ser estudiados. Se realizaron dos replicas del experimento.
6. Realización de las pruebas según el arreglo ortogonal

7. Análisis de los resultados. Una vez que se realizaron todas las pruebas y replicas correspondientes, Se comprobó estadísticamente cada factor mediante un análisis de varianza para determinar si estos afectan a la variable de salida. Los modelos factoriales de análisis de varianza son ampliamente utilizados como estrategia de análisis de datos en muy diversas áreas de conocimiento.
8. Conclusiones sobre el experimento (Vazquez, 2008)

Tipo de estudio de investigación

De acuerdo con las estrategias

Documental: Esta investigación se clasifica en este tipo de estudio, ya que se partió de información recabada de documentos que ya han sido escritos por personas con conocimiento sobre el tema.

Experimental: Primeramente, se analiza la situación actual del desodorante se mide su variable de salida, Se prepara el diseño del experimento y se analizará por medio de herramientas estadísticas. Los datos obtenidos de la investigación se realizaron con el instrumento de medición potenciómetro, el cual midió el pH del desodorante en cada una de las pruebas.

De acuerdo con el periodo en que se realiza el estudio

Retrospectivo parcial: Esta investigación es el tipo de estudio que cuenta con una parte de la información y otra por obtenerse.

De acuerdo con el tiempo

Investigación sincrónica: Ya que se realiza en cierto momento y en el tiempo necesario para completar toda la información.

Por la evolución del fenómeno en estudio

Transversal: Ya que es una investigación sobre un problema durante un periodo específico.

Por la interferencia del investigador en el estudio

Experimental. El investigador tiene el control de las variables del fenómeno en estudio

Recolección de datos

Nuestra manera de documentar información fue buscar en internet en diferentes buscadores académicos, sobre investigaciones referentes a los desodorantes comerciales que existen, así como conocer las características de los ingredientes que se están utilizando, también se realizaron entrevistas a las personas que utilizan desodorantes naturales, para conocer como actuaba el desodorante en ellas.

Y posteriormente llevar a cabo pruebas para medir el pH del desodorante.

Selección de instrumentos

Las técnicas de investigación para obtener la información de los elementos de investigación fueron la observación, experimentación y medición. Se utilizó un potenciómetro que nos permitió medir el pH de estos desodorantes; y el software Minitab para análisis de los datos.

*Potenciómetro de pH: es un sensor utilizado en el método electroquímico para medir el pH de una disolución.

Procedimiento de elaboración. El procedimiento de elaboración es el mismo para todas las pruebas. En la tabla 1 describe el proceso de elaboración.

Pasos	Procedimiento
Paso 1	Colocar un recipiente sobre una superficie plana
Paso 2	Tomar la medida en gr de bicarbonato de sodio
Paso 3	Colocar el bicarbonato de sodio en el recipiente
Paso 4	Tomar la medida en gr de fécula de maíz
Paso 5	Colocar la fécula de maíz en el recipiente
Paso 6	Tomar la medida en gr de aceite de coco
Paso 7	Colocar el aceite de coco en el recipiente
Paso 8	Revolver por algunos segundos la mezcla hasta obtener una pasta
Paso 9	Colocar la mezcla en un envase de su elección con la finalidad de que este sea reutilizado.

Tabla 1. Proceso de elaboración del desodorante

Las variables de entrada y salida que se van a analizar se muestran en la figura 1:
 Característica de calidad: Menor es mejor

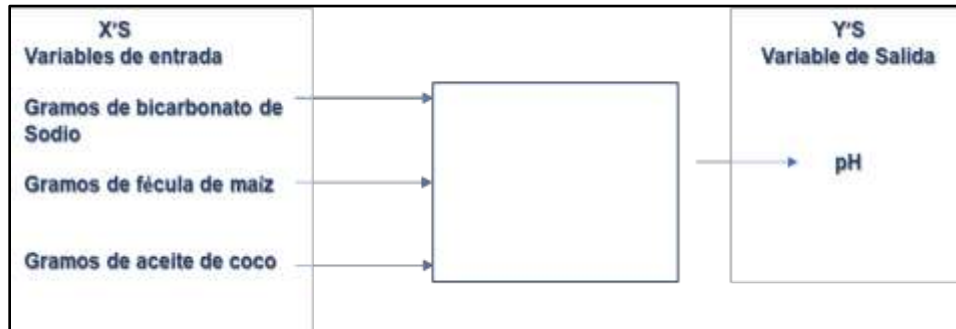


Figura 1. Variables de entrada y de salida

El diseño de experimentos que se realizó fue un arreglo ortogonal L_{42^3} con la metodología del Dr. Genichi Taguchi, se eligió este arreglo ya que es el que se adapta a la cantidad de factores. Se realizaron dos réplicas del experimento. En la Tabla 2 se muestra la tabla de niveles y en la tabla 3 el arreglo ortogonal

FACTOR	NIVEL1	NIVEL 2
Bicarbonato de sodio (A)	20 gr	30 gr
Aceite de coco (B)	20 gr	30 gr
Fécula de maíz (C)	20 gr	30 gr

Tabla 2. Tabla de variables y niveles

	A	B	C	Y1	Y2	Y
Prueba 1	1	1	1	8.1	8.4	8.25
Prueba 2	1	2	2	7.6	7.8	7.7
Prueba 3	2	1	2	8.4	8.2	8.3
Prueba 4	2	2	1	8.3	8.0	8.15
					Total	32.40

Tabla 3: Arreglo ortogonal: L_{42^3}

Prueba 1: 20 gr Bicarbonato, 20 gr Aceite coco y 20 gr fécula maíz.
 Prueba 2: 20 gr Bicarbonato, 30 gr Aceite coco y 30 gr fécula maíz.
 Prueba 3: 30 gr Bicarbonato, 20 gr Aceite coco y 30 gr fécula maíz.
 Prueba 4: 30 gr Bicarbonato, 30 gr Aceite coco y 20 gr fécula maíz.

Resultados

- En la tabla 3 se muestran las respuestas del análisis regular

Nivel	A	B	C
1	7.975	8.275	8.200
2	8.225	7.925	8.000
Delta	0.250	0.350	0.200
Clasificar	2	1	3

Tabla 3. Respuestas de análisis regular

- En la figura 2 se muestra la gráfica de efectos principales para Medias

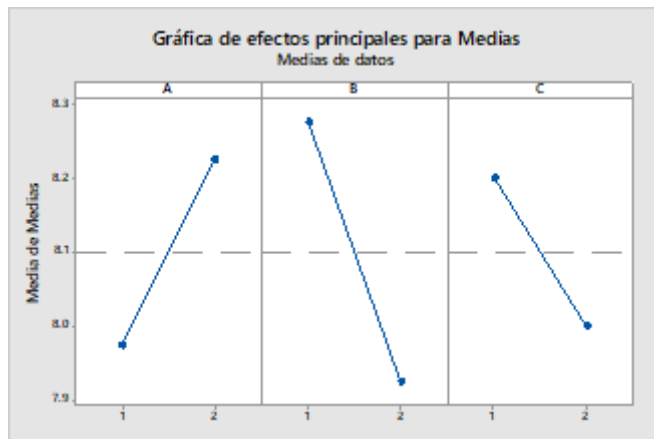


Figura 2: Gráfica de efectos principales para medias

Condiciones óptimas:

A₁, B₂, C₂

Resultado: Como se observa en la tabla 3 de respuestas de análisis regular y en la figura 2 gráfica de efectos, las condiciones óptimas son A₁ B₂ C₂, que son 20 gr de bicarbonato de sodio, 30 gr de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz.

Análisis de Varianza

En la tabla 4 se muestra el resultado de análisis de varianza

Fuente	GL	SS	S ²	Valor F	Valor p
A	1	0.125	0.125	3.85	0.121
B	1	0.245	0.245	7.54	0.052
C	1	0.080	0.080	2.46	0.192
Error	4	0.130	0.0325		
Total	7	0.0.58			

Tabla 4: Tabla de análisis de varianza

H₀ = Todas las medias son iguales

H_a = Hay diferencia entre las medias

Resultado: Con un nivel de confianza del 95 % y con F_{.05 (1,4)} = 7.71 se acepta la hipótesis nula por lo tanto se comprueba que no hay variación entre las medias de pH en las 3 fuentes de variación: bicarbonato de sodio, aceite de coco y la fécula de maíz.

Modelo de predicción de condiciones óptimas

$$\hat{y} = -2\bar{y} + A_1 + B_2 + C_2$$

$$\hat{y} = -2(8.10) + 7.975 + 7.925 + 8.0$$

$$\hat{y} = 7.70 \text{ pH}$$

Resultado: En el modelo de predicción de condiciones óptimas se aprecia que, al elaborar el desodorante con 20 gr bicarbonato de sodio, 30 gr de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz durante el proceso se obtiene un pH de 7.70.

CONCLUSIONES

El principal resultado que se encontró al realizar las pruebas fueron las condiciones óptimas de elaboración del desodorante artesanal las cuales son A₁B₂C₂ que son elaborar el desodorante con 20 gr de bicarbonato, 30 gr de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz. En el modelo de predicción de condiciones óptimas se aprecia que, al elaborar el desodorante con 20 gr de bicarbonato, 30 gr

de aceite de coco y 30 gr de fécula de maíz se obtiene un pH de 7.70. Otros hallazgos importantes es añadir el aceite de coco virgen ya que se comprobó que es un excelente hidratante, así como también se obtuvo que los ingredientes se pueden mezclar en cualquier tipo de orden específico. Se recomienda continuar con la investigación en su segunda etapa para seguir analizando las variables de entrada y ver el impacto en otras variables de respuesta utilizando experimentos debidamente preparados

BIBLIOGRAFÍA

1. Rodríguez C., Idaldo Montalvo., M., Portura Y. (2017). Extracción de aceite de Coco (Cocos nuciferas) como estrategias de aprovechamiento de los productos locales de Mitú. Revista Vaupés Innova.
2. Del Castillo Yáñez, T., & Quispe Condori, K. (2014). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. <http://repositorio.unsaac.edu.pe/handle/UNSAAC/1455?show=full>
3. F Bermúdez A, V. B. (2000). Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-02642000000200008
4. g-taguchi. (2019 de 2019). <https://www.coursehero.com>. <https://www.coursehero.com/file/54729725/g-taguchidocx/>
5. Marmolejo, J. (24 de enero de 2020). SPC Consulting Group. <https://spcgroup.com.mx/los-5-pasos-para-desarrollar-un-diseno-de-experimentos-doe/>
6. Montenegro Vivas, & León Bolívar. (2012). Universidad Técnica estatal de Quevedo. <http://repositorio.uteq.edu.ec/handle/43000/328>
7. Pareja, B. P. (2012). Antitranspirantes, desodorantes. Ciencia e investigación.
8. Publimetro. Nueva mujer. (15 de 07 de 2011). <https://www.fayerwayer.com/2011/07/el-origen-de-el-desodorante-antitranspirante/>
9. Vázquez, E. J. (2008). Seis- Sigma: Metodología y Técnicas. México: Limusa.

EVALUACIÓN NUMÉRICA DE CONVERTIDORES CD-CD NO AISLADOS CON UNA ETAPA DE RECTIFICACIÓN NO CONTROLADA

Juana Edith Romero Pérez, José Miguel Sosa Zúñiga, Christopher Jesús Rodríguez Cortés,
Gerardo Vázquez Guzmán y Gilberto Muñoz Moreno

TecNM, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
edithromerotw@gmail.com

RESUMEN

Los sistemas de rectificación se utilizan ampliamente para ajustar el suministro de energía eléctrica de CA a las cargas de CD. Tienen aplicaciones para energizar equipos electrónicos, en sistemas de iluminación, diferentes procesos industriales y son cada vez más importantes en sistemas fotovoltaicos y vehículos eléctricos.

En los sistemas de rectificación conectados a la red eléctrica, además de los requisitos específicos de la carga, la mejora del factor de potencia es fundamental para el uso eficiente de la energía eléctrica.

En este trabajo se estudian los convertidores de potencia CD-CD no aislados de las topologías Cuk y SEPIC, operando en modo de conducción discontinua y conectados a la red eléctrica mediante un rectificador monofásico no controlado. Se presenta una selección de componentes para los convertidores, considerando la misma frecuencia de conmutación, potencia y valores RMS de variables eléctricas de corriente y voltaje. Luego, se evalúa su desempeño, en estado estacionario, en las mismas condiciones de operación mediante simulaciones numéricas. Se registran los parámetros de rendimiento, en el lado de CA el factor de potencia y la distorsión armónica mientras que en el lado de CD, el rizo de voltaje de CD de salida. Los sistemas estudiados consiguen la mejora del factor de potencia en lazo abierto.

Estos sistemas son simples ya que no requieren una etapa de control a diferencia de los convertidores que operan en modo de conducción continua. Sin embargo, su aplicación está restringida a cargas eléctricas de baja potencia ya que el modo de conducción discontinua provoca estrés eléctrico en los dispositivos semiconductores.

INTRODUCCIÓN

El suministro de energía a cargas eléctricas de corriente directa, CD, desde la red eléctrica de corriente alterna, CA, es una práctica común tanto en aplicaciones residenciales como industriales. El proceso de adaptación de energía eléctrica de CA a CD se denomina rectificación y tiene aplicaciones en el suministro de energía a equipos electrónicos, sistemas de iluminación y diferentes procesos industriales que incluyen máquinas de soldar, sistemas de calentamiento por inducción y variadores de velocidad, entre otros. Son cada vez más importantes en los sistemas de generación fotovoltaica [1], [2] y en vehículos eléctricos [3], [4]. En uno de los casos más simples, el proceso de rectificación se realiza mediante diodos, inductores en el lado de CA o CD y capacitores voluminosos. Esta clase de rectificadores, aunque es de construcción simple, tiene serias desventajas en términos de calidad de la energía, ya que la corriente de la red tiene un alto contenido armónico y, en consecuencia, un factor de potencia, FP, bajo. Las normas internacionales, por ejemplo IEC 61000-3-2 e IEEE Std 519, regulan el funcionamiento de las diferentes cargas que se conectan a la red eléctrica. El consumo de energía eléctrica por cargas eléctricas con bajo factor de potencia provoca problemas en los sistemas de potencia como sobrecalentamiento de transformadores, conductores y motores eléctricos, sobrecalentamiento de capacitores utilizados para la corrección del factor de desplazamiento, distorsión de voltaje, parpadeo de voltaje e interferencia electromagnética en dispositivos electrónicos. Se han propuesto diferentes rectificadores para mejorar el factor de potencia. En particular, hay rectificadores formados por un rectificador no controlado seguido de una topología de convertidor CD-CD no aislado. Estos sistemas tienen un flujo de potencia unidireccional y dependiendo del tipo de convertidor CD-CD usado, se pueden operar en modo de conducción discontinua y en lazo abierto y lograr una mejora en el factor de potencia. Además, incluso pueden permitir operar en modo de conducción continua y en lazo cerrado, cumpliendo los objetivos de control de seguimiento de la corriente de la red eléctrica orientado a la mejora del factor de potencia

y la regulación del voltaje de CD en la salida del convertidor. Este tipo de sistemas que logran una mejora en el factor de potencia, ya sea que operen en lazo abierto o en lazo cerrado, se denominan convertidores de corrección del factor de potencia o PFC (Power Factor Correction). Los convertidores PFC tienen la característica de emular el comportamiento de una resistencia, lo que implica que el factor de potencia es unitario. Algunas de las topologías de convertidores CD-CD que se han utilizado como convertidores PFC unidireccionales son los convertidores reductor, elevador, reductor-elevador, Cuk y SEPIC.

TEORÍA

En este artículo se consideran convertidores CD-CD de electrónica de potencia, que son circuitos de modo conmutado que permiten ajustar el nivel de voltaje proporcionado por una fuente de voltaje CD. Estos convertidores pueden elevar o reducir el voltaje y hay configuraciones no aisladas y aisladas [5]. Entre estos convertidores se encuentra el convertidor Cuk, que debe su nombre a Slobodan Cuk, y que se puede considerar como la conexión en cascada del convertidor elevador y el convertidor reductor, Figura 1, a). Este convertidor permite que el voltaje en la salida sea mayor, menor o igual que el voltaje de entrada pero con la polaridad invertida. Otro convertidor es el SEPIC, cuyo nombre es el acrónimo en inglés de convertidor de inductor primario de un solo extremo, Figura 1, b). Este convertidor se puede considerar como un convertidor elevador seguido de un convertidor reductor-elevador invertido y, al igual que el convertidor Cuk, permite que el voltaje en la salida sea mayor, menor o igual al de su entrada. Sin embargo, el voltaje de salida tiene la misma polaridad de voltaje que la entrada.

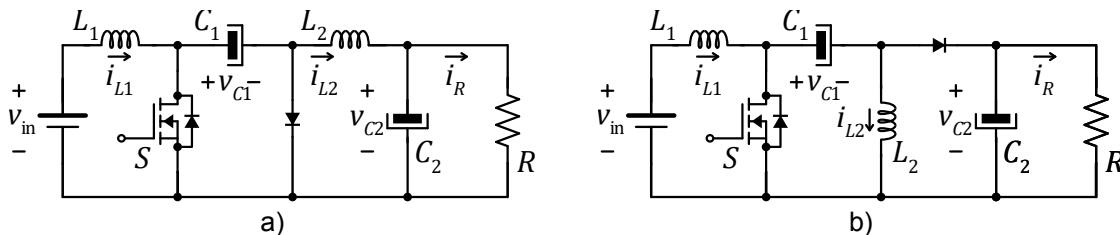


Figura 1. Diagramas eléctricos de los convertidores a) Cuk y b) SEPIC.

El convertidor Cuk y el SEPIC están formados por dos inductores L_1 y L_2 , denominados en este trabajo, inductor de entrada e inductor de salida, respectivamente, y dos capacitores C_1 y C_2 , que denominaremos capacitor de entrada y de salida, respectivamente. También tienen un MOSFET S y un diodo de conmutación, aunque con diferentes conexiones. Para un análisis simplificado, se considera que el voltaje de entrada v_{in} es suministrado por una fuente de voltaje constante y se supone que el valor de la resistencia de carga R es positivo y constante, o al menos positivo y acotado. Además se asumen a los semiconductores como interruptores ideales. El funcionamiento del convertidor se basa en la conmutación periódica del MOSFET en un periodo de conmutación $T = 1/f$, donde f es la frecuencia de conmutación y se considera constante. En un periodo de conmutación el MOSFET conduce durante t_1 s, y MOSFET está abierto durante t_2 s, entonces $T = t_1 + t_2$. La relación $k = t_2/T$ se denomina ciclo de trabajo y su variación, en teoría entre los valores de cero y uno, permite modificar el voltaje de salida del convertidor.

Los convertidores pueden operar en modo de conducción continua o discontinua. El modo de conducción discontinua se presenta si, en estado estacionario, la corriente de algún inductor es discontinua. Es decir, si durante un periodo de conmutación la corriente es cero. De acuerdo con [6] ambos convertidores, Cuk y SEPIC, en la Figura 1, operan en modo de conducción discontinua si se cumple la siguiente desigualdad.

$$\frac{2L_E f}{R_0} < (1 - k)^2, \quad L_E = \frac{L_1 L_2}{L_1 + L_2} \quad (1)$$

En este trabajo se consideran los convertidores Cuk y SEPIC, cada uno conectado independientemente a la red eléctrica por medio de un rectificador no controlado como se muestra

en la Figura 2. La fuente de voltaje CD constante es reemplazada por una fuente de voltaje sinusoidal seguida de un puente de diodos completo. Por lo tanto, el voltaje de entrada al convertidor no es constante, pero tiene un valor promedio positivo y la forma de onda de rectificación de onda completa. Este voltaje de entrada tiene un componente armónico alto en segundo armónico de la frecuencia de red eléctrica.

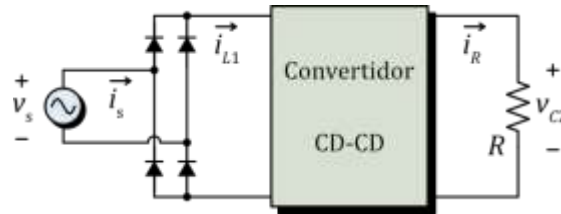


Figura 2. Convertidor CD-CD conectado a la red eléctrica mediante un rectificador no controlado.

El objetivo es operar el convertidor CD-CD, Cuk o SEPIC, en modo de conducción discontinua y en lazo abierto. Estos convertidores CD-CD en modo de conducción discontinua, a diferencia de los convertidores elevador y flyback, tienen una corriente de entrada con bajo contenido de armónicos de conmutación al seleccionar correctamente los inductores del convertidor [7]. Además presentan una corriente de entrada sinusoidal y no requieren filtro de entrada. Esto se debe a que la operación en modo de conducción discontinua está presente en el inductor del convertidor de salida y no en la entrada [7].

RESULTADOS

Los siguientes resultados de simulación numérica muestran el desempeño de los convertidores Cuk y SEPIC conectados como se muestra en la Figura 2. Los convertidores se diseñaron de manera que la corriente del inductor de entrada fuera continua y que la corriente del inductor de salida fuera discontinua, basándose en (1). El diseño para el modo de conducción discontinua es válido si la frecuencia de conmutación es mucho más alta que la frecuencia del voltaje de la red eléctrica. Para el diseño, también se debe considerar que la frecuencia de resonancia de C_1 , L_1 y L_2 en cualquiera, Cuk o SEPIC, debe ser mucho mayor que la frecuencia de la red eléctrica para evitar oscilaciones en la corriente de entrada, y además la frecuencia de resonancia también debe estar alejada de la frecuencia de conmutación para no disminuir el factor de potencia [7]. Se considera un voltaje de red de 35 Vrms con una frecuencia de 60 Hz. La potencia nominal de los convertidores se fijó en 100 W con un voltaje de salida de 100 V. La frecuencia de conmutación se estableció en 20 kHz. Los valores de los inductores y capacitores de cada diseño se indican en la Tabla 1. El ciclo de trabajo para el convertidor Cuk se estableció en 47% mientras que para el SEPIC en 31%.

Tabla 1. Parámetros de los convertidores

Convertidor Cuk		SEPIC	
Inductor L_1	1 mH	Inductor L_1	0.7 mH
Inductor L_2	100 uH	Inductor L_2	40 uH
Capacitor C_1	1.67 uF	Capacitor C_1	3.3 uF
Capacitor C_2	470 uF	Capacitor C_2	470 uF
Resistencia R	100 Ω	Resistencia R	100 Ω
Frecuencia f	20 kHz	Frecuencia f	20 kHz
Ciclo de trabajo	46.58%	Ciclo de trabajo	31.43%
Voltaje de salida	100 V	Voltaje de salida	100 V
Potencia	100 W	Potencia	100 W
Voltaje de red V_s	35 Vrms, 60 Hz	Voltaje de red V_s	35 Vrms, 60 Hz

Bajo estas consideraciones de diseño, el voltaje de entrada a cada convertidor tiene formas de onda de rectificación de puente completo y la corriente a través del inductor de entrada es continua y sigue la forma de onda del voltaje de entrada del convertidor. La corriente a través del inductor de salida es discontinua. El capacitor de salida es de un valor suficientemente grande para mitigar el segundo armónico de la frecuencia de red en el voltaje de salida del convertidor. A continuación se muestran las gráficas de las variables eléctricas en estado estacionario de los convertidores diseñados.

Voltaje de la red y corriente de la red

En la gráfica superior de la Figura 3 se presentan el voltaje de la red eléctrica v_s y la corriente de la red eléctrica i_s para el convertidor Cuk mientras que en la gráfica inferior de la misma figura se presentan para el SEPIC. En ambos casos, la corriente de la red ha sido multiplicada por un factor de cinco para apreciar mejor la forma de onda.

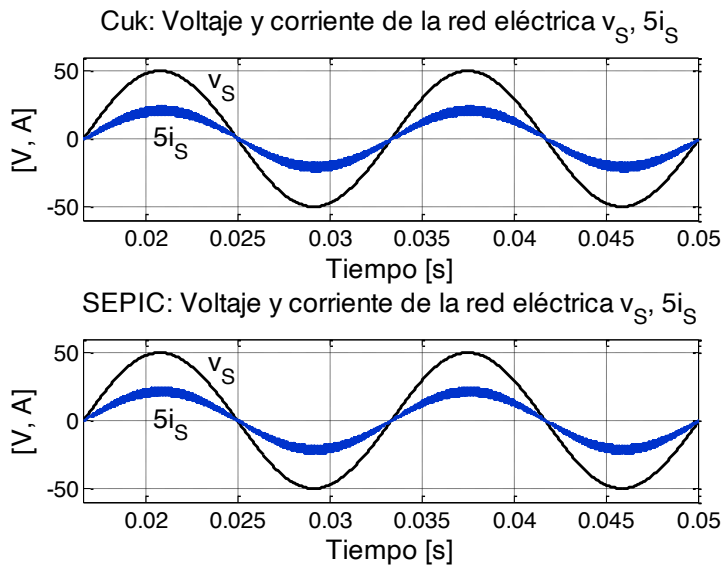


Figura 3. Formas de onda de voltaje y corriente de la red eléctrica. (Superior) Para el convertidor Cuk v_s (50 V/div) y $5i_s$ (50 A/div) y (inferior) para el SEPIC v_s (50 V/div) y $5i_s$ (50 A/div).

La corriente de red muestra un rizado de frecuencia de conmutación que en ambos casos es comparable y su amplitud está determinada por la frecuencia de conmutación y el valor de la inductancia de entrada L_1 . Se puede observar que la corriente de la red sigue la forma de onda del voltaje de red y no tiene desplazamiento. Los resultados de simulación numérica indican un factor de potencia para el convertidor Cuk de 0.996 mientras que el factor de potencia para el SEPIC es de 0.997. El índice de distorsión armónica THD de corriente de la red para el Cuk es de 9.09% mientras que para el SEPIC es de 7.71%. Estos resultados se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Parámetros de la calidad de la energía

Convertidor Cuk		SEPIC	
Factor de potencia FP	0.996	Factor de potencia FP	0.997
THD de corriente	9.09%	THD de corriente	7.71%
Valor RMS de i_s	2.87 A	Valor RMS de i_s	2.88 A

Corriente a través de los inductores

La Figura 4 a) muestra la corriente a través de los inductores de entrada i_{L1} (superior) e i_{L2} (inferior) para el convertidor Cuk. Por otra parte, la Figura 4 b) muestra la corriente a través de los inductores de entrada i_{L1} (superior) e i_{L2} (inferior) para el SEPIC.

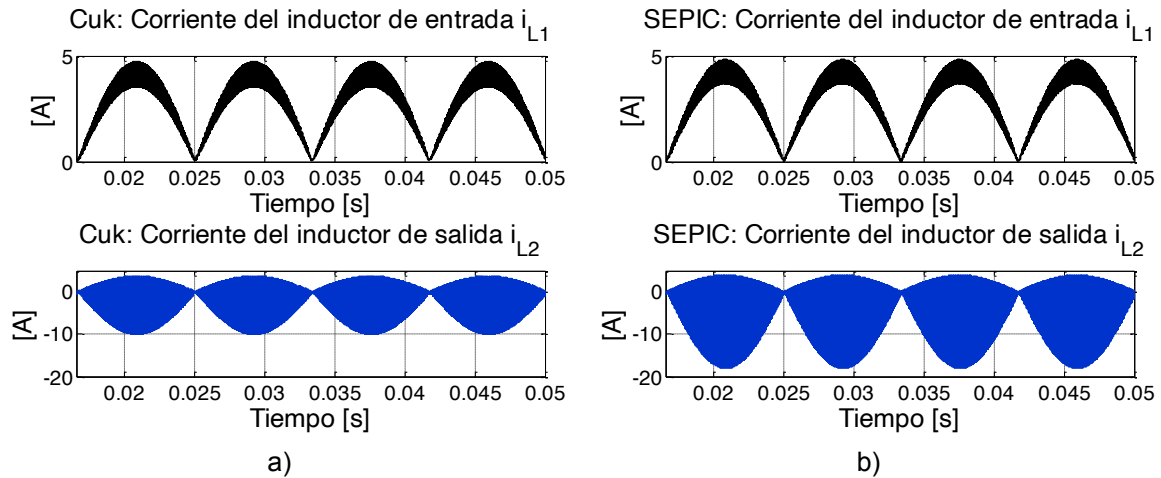


Figura 4. Formas de onda de corrientes de los inductores. a) Corrientes en el convertidor Cuk, (superior) i_{L1} (5 A/div) y (inferior) i_{L2} (10 A/div). b) Corrientes en el SEPIC, (superior) i_{L1} (5 A/div) y (inferior) i_{L2} (10 A/div).

Las corrientes de los inductores de entrada son continuas y con un rizado de componente de frecuencia de conmutación. Además está presente el segundo armónico de la frecuencia de red. Estas corrientes son iguales que las respectivas corrientes de red excepto por que el semiciclo negativo de la corriente de red ha sido rectificado. La Tabla 3 muestra un resumen de los valores RMS y promedio absolutos de las corrientes de los convertidores.

Tabla 3. Valores absolutos RMS y promedio de corrientes en los inductores

Convertidor Cuk			SEPIC		
Corriente del inductor	RMS	Promedio	Corriente del inductor	RMS	Promedio
i_{L1}	2.86 A	2.57 A	i_{L1}	2.88 A	2.57 A
i_{L2}	3.70 A	1.0 A	i_{L2}	5.41 A	1.0 A

Las corrientes en los primeros inductores son comparables y tiene el mismo valor promedio y aproximadamente el mismo valor RMS. Las corrientes de los segundos inductores son discontinuas, sin embargo los picos de corriente en inductor de salida del SEPIC son mayores que en el convertidor Cuk. Esto también se refleja en que el valor RMS de la corriente del inductor de salida del SEPIC es mayor que en el convertidor Cuk, aunque ambos valores promedio sean iguales. Los picos de corriente más grandes en el inductor de salida del SEPIC se deben principalmente a que tiene un valor menor de inductancia que el inductor de salida del convertidor Cuk.

Voltaje de los capacitores

La Figura 5 a) muestra el voltaje en el capacitor de entrada v_{c1} (superior) y de salida v_{c2} (inferior) para el convertidor Cuk. Por otra parte, la Figura 5 b) muestra el voltaje en el capacitor de entrada v_{c1} (superior) y de salida v_{c2} (inferior) para el SEPIC.

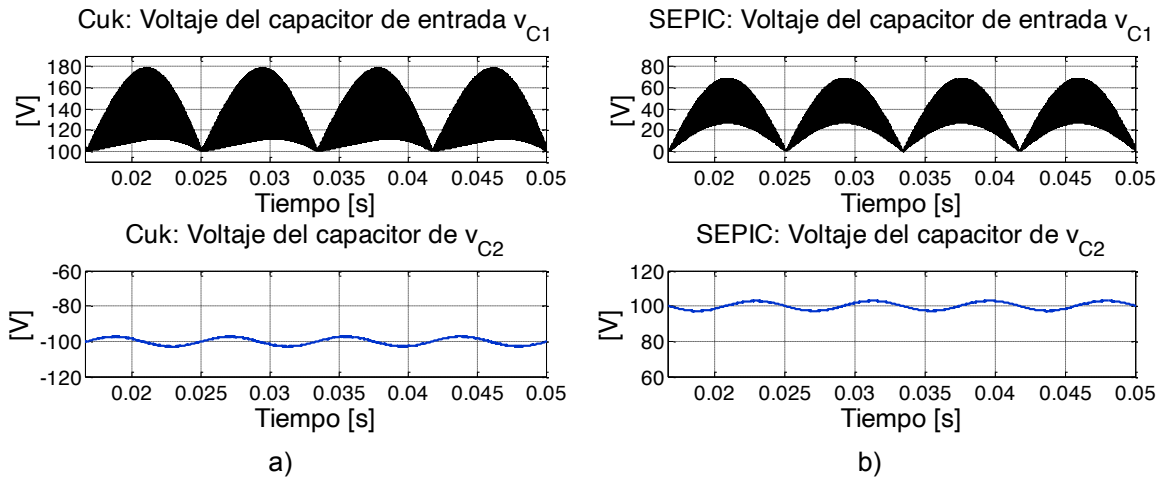


Figura 5. Formas de onda de los voltajes de los capacitores. a) Voltajes en el convertidor Cuk, (superior) v_{C1} (20 V/div) y (inferior) v_{C2} (20 V/div). b) Voltajes en el SEPIC, (superior) v_{C1} (20 V/div) y (inferior) v_{C2} (20 V/div).

Los voltajes son continuos aunque los voltajes de los capacitores de entrada para ambos convertidores tienen una componente de frecuencia de conmutación alta. Los voltajes de salida son comparables aunque en el caso del convertidor Cuk, el voltaje es negativo. La Tabla 4 muestra un resumen de los valores RMS y promedio absoluto de los voltajes en los capacitores para cada convertidor.

Tabla 4. Valores absolutos RMS y promedio de voltajes en los capacitores

Convertidor Cuk			SEPIC		
Voltaje del capacitor	RMS	Promedio	Voltaje del capacitor	RMS	Promedio
v_{C1}	133.7 V	132.0 V	v_{C1}	36.5 V	31.9 V
v_{C2}	100.0 V	100.0 V	v_{C2}	100.0 V	100.0 V

Los voltajes de los capacitores de entrada tienen una forma de onda similar excepto por el hecho de que el valor promedio del capacitor de entrada del Cuk es mayor que en el SEPIC. Esta es una característica de este convertidor. Otra diferencia es la amplitud del rizo de conmutación que es mayor para el convertidor Cuk que para el SEPIC debido principalmente a la diferencia en los valores de capacitancia en dichos capacitores. La magnitud de los voltajes de salida de los convertidores permanece casi constante en 100 V aunque, debido al proceso de rectificación, presentan una oscilación que corresponde al segundo armónico de la frecuencia de red 120 Hz. La magnitud de esta oscilación puede mitigarse aún más seleccionando un valor de capacitancia más grande para el capacitor de salida.

CONCLUSIONES

Los convertidores Cuk y SEPIC se pueden utilizar como rectificadores de corrección del factor de potencia en lazo abierto estableciendo que la corriente del inductor de salida opere en modo de conducción discontinua. Entonces, el factor de potencia es muy cercano a la unidad. Sin embargo, una desventaja es que existen picos de corriente altos en el inductor de salida y en el capacitor de entrada de ambos convertidores Cuk o SEPIC. Las principales diferencias son que el voltaje de salida del convertidor Cuk está invertida y que, en modo de conducción discontinua, los convertidores tienen diferentes relaciones de conversión de voltaje. En aplicaciones de corrección del factor de potencia, el capacitor de entrada del convertidor Cuk tiene un voltaje de CD más alto que el del SEPIC, sin embargo, la corriente a través del segundo inductor del SEPIC es más alta en valor RMS que la del convertidor Cuk. En general, podemos concluir que los valores de los inductores en el SEPIC pueden ser seleccionados de menor valor que en el convertidor Cuk requiriendo el mismo

voltaje de salida y condiciones de potencia. Además el capacitor de entrada del SEPIC debe soportar una magnitud de voltaje menor que en el convertidor Cuk. Esto implica una reducción del tamaño físico del convertidor SEPIC en contraste con el convertidor Cuk y también menores costos de implementación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Shen, H. Wang, Z. Shen, Y. Yang and F. Blaabjerg, "A 1-MHz Series Resonant DC–DC Converter With a Dual-Mode Rectifier for PV Microinverters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 34, no. 7, pp. 6544-6564, July 2019, doi: 10.1109/TPEL.2018.2876346.
2. M. N. H. Khan, Y. P. Siwakoti, L. Li and F. Blaabjerg, "H-Bridge Zero-Voltage Switch-Controlled Rectifier Transformerless Midpoint-Clamped Inverter for Photovoltaic Applications," in *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, vol. 8, no. 4, pp. 4382-4394, Dec. 2020, doi: 10.1109/JESTPE.2019.2938224.
3. S. S. Williamson, A. K. Rathore and F. Musavi, "Industrial Electronics for Electric Transportation: Current State-of-the-Art and Future Challenges," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 62, no. 5, pp. 3021-3032, May 2015, doi: 10.1109/TIE.2015.2409052.
4. A. Khaligh and S. Dusmez, "Comprehensive Topological Analysis of Conductive and Inductive Charging Solutions for Plug-In Electric Vehicles," in *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 61, no. 8, pp. 3475-3489, Oct. 2012, doi: 10.1109/TVT.2012.2213104.
5. Hebertt Sira-Ramirez, Ramón Silva-Ortigoza, "Control Design Techniques in Power Electronics Devices", *Power Systems Series*, 2006, Springer-Verlag London, ISBN 978-1-84628-458-8, 1er edición, doi: 10.1007/1-84628-459-7
6. L. G. De Vicuna, F. Guinjoan, J. Majo and L. Martinez, "Discontinuous conduction mode in the SEPIC converter," *Proceedings. Electrotechnical Conference Integrating Research, Industry and Education in Energy and Communication Engineering'*,, 1989, pp. 38-42, doi: 10.1109/MELCON.1989.49976.
7. D. S. L. Simonetti, J. Sebastian, F. S. dos Reis and J. Uceda, "Design criteria for SEPIC and Cuk converters as power factor preregulators in discontinuous conduction mode," *Proceedings of the 1992 International Conference on Industrial Electronics, Control, Instrumentation, and Automation*, 1992, pp. 283-288 vol.1, doi: 10.1109/IECON.1992.254619.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DIFERENTES TIPOS DE PIÑA PARA LA ELABORACIÓN DE UNA CERVEZA ARTESANAL

Rubí Alcalá González¹, Josué Antonio Pérez Huerta², Tania Lizbeth Núñez Vázquez², Rene Emmanuel Segovia Padilla² y Juan José Flores Picazo²

¹ Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera, ² Alumnos del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera.
9617@rcarbonifera.tecnm.mx

RESUMEN

El siguiente trabajo muestra la realización de un análisis estadístico para determinar qué tipo de piña posee más concentrado de azúcar. La investigación es de gran importancia ya que con los resultados obtenidos podremos saber con exactitud el tipo de piña que vamos a utilizar en la elaboración de la cerveza artesanal. Las características y propiedades que posee esta fruta encontramos en las concentraciones de azúcar un área de oportunidad para incluirla como ingrediente de una cerveza artesanal. Para el desarrollo experimental del proyecto se utilizaron solo dos tipos de piña las cuales son comercializadas en la Región Carbonífera; La piña esmeralda y la piña miel, dichas frutas se sometieron a varios procesos como lavado, corte, y extracción de muestras de jugo. dichos procesos fueron documentados a fin de analizar sus características físicas, y las cualidades de su jugo, las muestras de piña fueron agrupadas en 4 grupos de 10 muestras; Un grupo de piña miel y un grupo de piña esmeralda se colocaron en un congelador por un lapso de doce días esto para corroborar si el clima frío es un factor que modifica los niveles de concentración de azúcar. Pasados los doce días se retiró del congelador las muestras y se procedió a realizar la lectura de concentraciones de azúcar de ambos grupos, se utilizó una herramienta de medición llamado refractómetro el cual tiene como función supervisar y controlar las concentraciones de azúcar en los alimentos, ya documentados los niveles de concentrados se procedió a realizar un análisis de varianza de un solo factor para comprobar las hipótesis con un nivel de significancia de 95% y con F.05 (1,18) que la F calculada de 40.91 es mayor que la F crítica de 4.41 y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna que nos dice que si existe variación en los niveles de concentrados de azúcar dependiendo del tipo de piña. Se realizó una segunda prueba con los grupos restantes que no fueron congelados para conocer el nivel de concentración de azúcar de cada una de las muestras de piña éstas se realizaron después del proceso de corte utilizando nuevamente el refractómetro, posteriormente se realizó un análisis de varianza de un factor, y se obtuvo con un nivel de confianza de 95% y un valor F.05 (1,18) que la F calculada de 134.2 es mayor que la F crítica de 4.41, y por lo tanto se rechaza la hipótesis nula y se comprueba estadísticamente que si existe variación en los niveles de concentrados de azúcar de los dos tipos de piña. Lo anterior nos arrojó que la piña mantiene su dulzor ya sea a temperatura ambiente o congelada y nos ayuda a tomar la decisión de utilizar la piña miel ya que sus cualidades físicas acompañadas con el alto nivel de azúcar que posee ayudaran en la siguiente etapa que será desarrollar el proceso de producción de una cerveza artesanal más dulce.

INTRODUCCIÓN

Nuestro proyecto tiene como propósito hacer un análisis estadístico para determinar qué tipo de piña posee más concentrado de azúcar. En este estudio se mencionarán las actividades necesarias para comprobar si realmente el nivel de azúcar depende del tipo de piña. La investigación es de gran importancia ya que con los resultados obtenidos podremos saber con exactitud el tipo de piña que vamos a utilizar en la elaboración de la cerveza artesanal.

Toda persona requiere de un producto de calidad que satisfaga sus necesidades o gustos. Es por eso por lo que esta cerveza artesanal con piña y sábila entra al mercado como un producto único e inigualable.

Actualmente Coahuila es el estado que más consume cerveza en todo el país, ya que en el norte de México se encuentran los "consumidores intensos". Esto es un punto clave para la fabricación de nuestro producto, es considerada como una bebida "social", la cerveza ha desempeñado un papel

muy importante dentro de la industria de bebidas en México, ya que ha posicionado al país como el cuarto Productor a nivel internacional. Aunque se trata de una industria en crecimiento.

TEORÍA

La piña es originaria de Brasil y fue introducida en la Península Ibérica en el siglo XVI, de la mano de los conquistadores españoles del Nuevo Mundo. Durante este periodo también pasaría a formar parte de los cultivos localizados en Hawái, Costa de Marfil y otros puntos del continente africano, procediendo en la actualidad de estos puntos a la mitad de piña que se consume en Europa.

En el siglo XVIII, desde las islas Hawái se exportó una forma original de conservar esta fruta, el almíbar. Como dato significativo, hay que añadir que en las décadas centrales del siglo XX la producción de piñas se dobló a nivel mundial y desde esas fechas ha continuado aumentando. La piña representa en la actualidad el segundo fruto tropical más cultivado del mundo (aproximadamente el 20% de la producción comercial de estos productos), tan solo por detrás de la banana. Los principales países productores en el ámbito mundial son Brasil, Estados Unidos, Costa Rica, México, China, Indonesia, Filipinas, Tailandia, India, Kenia y Nigeria. (Regmurcia, 2018)

La piña tiene forma cilíndrica, una corteza escamosa de color marrón, una corona de hojas espinosas y una pulpa amarilla. Esta exótica fruta se forma de muchas frutas pequeñas que se funden juntas. Es una fruta tropical originaria de América del Sur. Los estudios señalan a Brasil, Paraguay y Argentina. De ahí se propaga principalmente al Amazonas, Venezuela y Perú, para luego emigrar a Europa y Asia. Con su forma y corona distintiva la piña es una fruta muy disfrutada en la gastronomía latina caribeña y ha sido el productor procedente de América Latina que más éxito y aceptación ha tenido en Europa. Los indígenas la llamaron Ananás que significa fruta excelente. El nombre piña proviene de la similitud de la fruta a la semilla o cono de los pinos. (Rodríguez, 2015)

El uso culinario de la piña para su consumo puede ser fresco y en conserva. En Occidente se usa habitualmente como postre y en ensaladas, aunque cada vez más como ingrediente dulce en preparaciones de comida oriental. Cuando la piña está madura, la pulpa es firme pero flexible, las hojas se pueden arrancar de un fuerte tirón y el aroma es más intenso en la parte inferior. Debido al coste del transporte del fruto fresco y la concentración del consumo, se producen numerosos subproductos industrializados, en especial zumos, yogures, helados y mermeladas. Del jugo se produce un vinagre excelente y muy aromático. Es el ingrediente principal de algunos cócteles, como la piña colada. En México se elabora el tepache, una bebida refrescante fermentada que utiliza como base la cáscara de la piña. Entre las propiedades medicinales del fruto, la más notable es la de la bromelina, que ayuda a metabolizar los alimentos. Es también diurético, ligeramente antiséptico, desintoxicante, antiácido y vermífugo. Se ha estudiado su uso como auxiliar en el tratamiento de la artritis reumatoide, la ciática, y el control de la obesidad.

El cultivo de la piña puede plantarse en cualquier momento del año en suelos húmedos, aunque la mejor época es el otoño. Es rara la reproducción a partir de semilla. Más frecuentemente se utilizan los retoños del tallo central; los mejores proceden de la parte basal del mismo, aunque también pueden usarse las yemas del tallo distal o la corona de brácteas de la fruta. Naturalmente, los brotes basales se desarrollan, fructifican y dan a su vez origen a nuevos tallos. Los distintos tipos de retoños se conocen como corona (el meristemo apical), gallo (las yemas pedunculares) y clavos (vástagos de la yema peduncular).

Los beneficios de la piña primeramente son fuente de vitaminas y minerales, tiene vitamina A, 58 IU, vitamina C 48 mg, vitamina B6, Potasio 109 mg, fibra alimentaria, calcio 13 mg, magnesio, cobre, manganeso y ácido fólico. También tiene y pequeñas cantidades de hierro. Es rica en antioxidantes Como las antocianinas un tipo de flavonoides (metabolitos de las plantas). Las antocianinas son pigmentos solubles en agua que presentes en frutas y verduras. Son lo que otorga una amplia variedad de colores frutas y verduras. Las antocianinas han demostrado tener efectos beneficiosos sobre la salud humana. Las antocianinas están relacionadas con la prevención de enfermedades como las del corazón. La piña contiene un 86% de agua. Es un alimento hidratante que además de nutrientes nos aporta agua. Es baja en calorías, además de los beneficios anteriores las piñas frescas tienen pocas calorías, puedes tomarlas sin preocupaciones aun estando a dieta. 100 gr de piña tienen unas 50 calorías. (OKDIARIO, 2016)

Las variedades utilizadas principalmente en el mercado de exportación son del tipo Golden, con excelente sabor y dulzura. El problema de estas variedades es que la cascara o piel de la piña

permanece verde aun cuando la fruta ha llegado a su madurez interna (color, azúcar y sabor) justa para la exportación. Sin embargo, el color atractivo de la piña es cuando la cascara vira de color verde a anaranjado, es decir, cuando se degrada el pigmento clorofilo de su cascara.

El criterio de cosecha para piña está basado en los días desde floración, color interno (según unas tablas estándar de color interno), y los grados Brix (una indicación del contenido de azúcar).

Para el objeto de la presente invención, se entiende por "color" en relación con estado de maduración al nivel externo de color amarillo anaranjado y degradación de clorofila de acuerdo con una escala visual estándar de la industria de la piña fresca conocida en el estado de la técnica, que va de 0 a 6; donde 0 es completamente verde y 6 es completamente anaranjada. Se entiende por "grados Brix" al cociente total de sólidos solubles presentes en una fruta, también utilizado con el símbolo "°Bx". Los grados Brix están directamente relacionados con el contenido de azúcares de la fruta. Para la medición de grados Brix, existe la escala Brix que se utiliza en el sector de alimentos, para medir la cantidad aproximada de azúcares en la fruta, generalmente en zumos de fruta, así un grado Brix indica cerca de un 1% de azúcar por peso de fruta o volumen total de zumo de fruta.

PARTE EXPERIMENTAL

Experimental:

El estudio es experimental ya que se manipularán los factores del estudio (piña) con la ayuda de distintas pruebas que nos ayudaran a determinar los niveles de concentraciones de azúcar que se pueden obtener de esta fruta, dichos resultados nos ayudaran a diseñar una receta maestra de producción de cerveza artesanal.

Población y muestra.

Población:

La población o universo al cual está dirigida esta investigación, la constituyen los 2 tipos de piña que se comercializan en nuestra región, La Piña miel y la piña esmeralda

Las muestras tomadas para la investigación son compuestas por grupos de 10 muestras por piña, estas se constituyen en 2 grupos, congeladas y no congeladas, dando un total de 40 muestras

Realizar un diccionario de datos con la información obtenida de las pruebas realizadas:

Realizaremos un diccionario de datos que contendrá, el tipo de fruta que es, sus características, y nivel de concentraciones de azúcar

Análisis de los Datos.

Una vez recolectados los datos (Nivel de amargor) proporcionados por el instrumento (Brix), se procederá al análisis estadístico. Los datos serán tabulados y presentados en tablas y gráficos de distribución de frecuencias.

Software utilizado: Minitab Y Microsoft Excel

Herramientas Estadísticas: Análisis de varianza de un solo factor.

Tabla de Recolección de datos

La tabla 1 es el formato que fue utilizado para la recolección de los niveles de dulzor (°Bx) de cada piña (congelada, normal)

Muestra(X)	Nivel Bx(Y)
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	

Tabla 1. Formato de captura de datos

Los Factores de entrada y salida que se van a analizar se muestran en la figura 1.

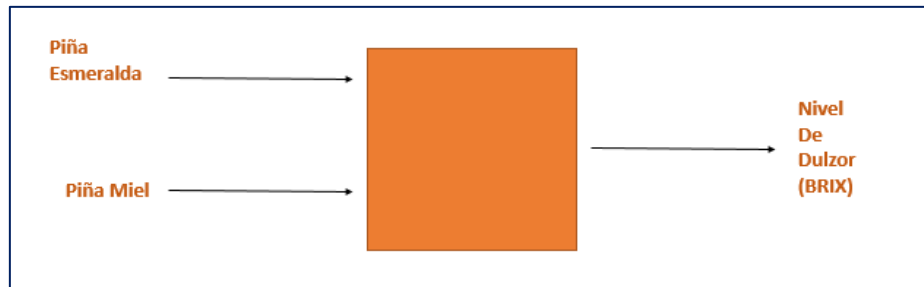


Figura 1. Variables de entrada y de salida

Tabla de Recolección de datos

La tabla 2 que se muestra a continuación fue utilizada para la recolección de los niveles de dulzor °Bx de piña esmeralda (congelada)

Tiempo de congelado: 12 días

Muestra(X)	Nivel °Bx %(Y)	Color	Hora	Observaciones
1	8.5	Amarillo Blancoso	5:23 PM	
2	9.0	Amarillo Blancoso	5:25 PM	
3	10	Amarillo Blancoso	5:26 PM	
4	10.2	Amarillo Blancoso	5:28 PM	Color más fuerte
5	10.5	Amarillo Blancoso	5:29 PM	
6	10	Amarillo Blancoso	5:30 PM	
7	9.5	Amarillo Blancoso	5:31 PM	
8	11.4	Amarillo Blancoso	5:32 PM	Nivel más alto
9	9.2	Amarillo Blancoso	5:33 PM	
10	8.4	Amarillo Blancoso	5:34 PM	Nivel más bajo

Rango: 8-11 °Bx

Tabla 2. niveles de dulzor °Bx de cada piña (congelada, normal)

Tablas de Recopilación de datos

La tabla 3 que se muestra a continuación fue utilizada para la recolección de los niveles de dulzor °Bx de piña miel (congelada)

Tiempo de Congelado: 12 días

Muestra(X)	Nivel BX(Y)	Color	Hora	Observaciones
1	13.5	Amarillo	5:36 PM	
2	12.6	Amarillo	5:37 PM	
3	11.8	Amarillo	5:38 PM	
4	12.6	Amarillo	5:39 PM	
5	11.4	Amarillo	5:39 PM	Nivel bajo
6	15	Amarillo	5:40 PM	Nivel más alto en color y Brix
7	13	Amarillo	5:41 PM	
8	12.4	Amarillo	5:42 PM	
9	12	Amarillo	5:43 PM	
10	11.4	Amarillo	5:44 PM	Nivel bajo

Rango: 11-15 °Bx

Tabla 3. niveles de dulzor °Bx de piña miel (congelada)

Tablas de Recopilación de datos

La tabla 4 muestra la recolección de los niveles de dulzor °Bx de piña esmeralda (sin congelar).

Muestra(X)	Nivel BX(Y)	Color	Hora	Observaciones
1	10	Amarillo plátano	6:12 PM	Nivel alto
2	10	Amarillo plátano	6:12 PM	Nivel alto
3	9.2	Amarillo plátano	6:13 PM	
4	8.2	Amarillo plátano	6:14 PM	Nivel más bajo
5	9	Amarillo plátano	6:15 PM	
6	8.8	Amarillo plátano	6:15 PM	
7	8.8	Amarillo plátano	6:15 PM	Color más fuerte
8	9	Amarillo plátano	6:16 PM	
9	8.6	Amarillo plátano	6:16 PM	
10	9.2	Amarillo plátano	6:17 PM	

Rango: 8-10 °Bx

Tabla 4. niveles de dulzor °Bx de piña esmeralda (sin congelar)

Tablas de Recopilación de datos

La tabla 6 muestra la recolección de los niveles de dulzor °Bx de piña miel (sin congelar)

Muestra(X)	Nivel BX(Y)	Color	Hora	Observaciones
1	13.8	Amarillo canario	6:20 PM	
2	13.4	Amarillo rubio	6:21 PM	
3	14.8	Amarillo Mantequilla	6:22 PM	Nivel más Alto
4	12.6	Amarillo Plátano	6:23 PM	
5	13.6	Amarillo rubio	6:23 PM	
6	13.8	Amarillo Plátano	6:24 PM	
7	11.8	Amarillo rubio	6:25 PM	Nivel más Bajo
8	12.4	Amarillo rubio	6:26 PM	
9	12.8	Amarillo Plátano	6:27 PM	
10	12	Amarillo rubio	6:27 PM	

Rango: 11-15 °Bx

Tabla 5. Niveles de dulzor °Bx de piña miel (sin congelar)

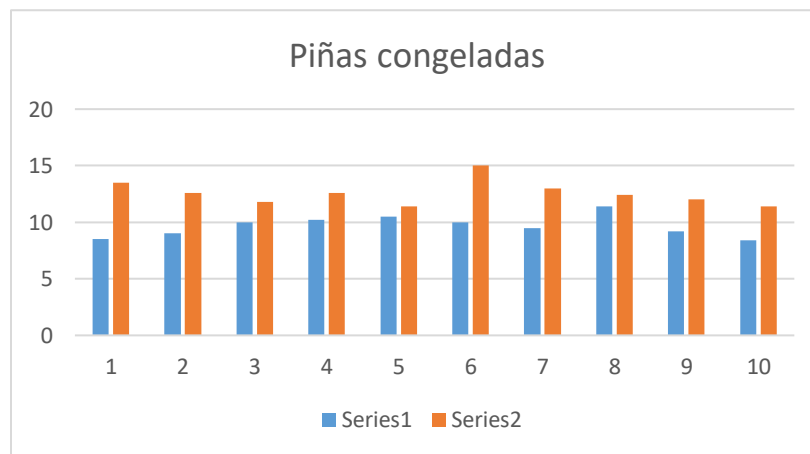


Figura 2. Gráfico de concentraciones de azúcar (brix)

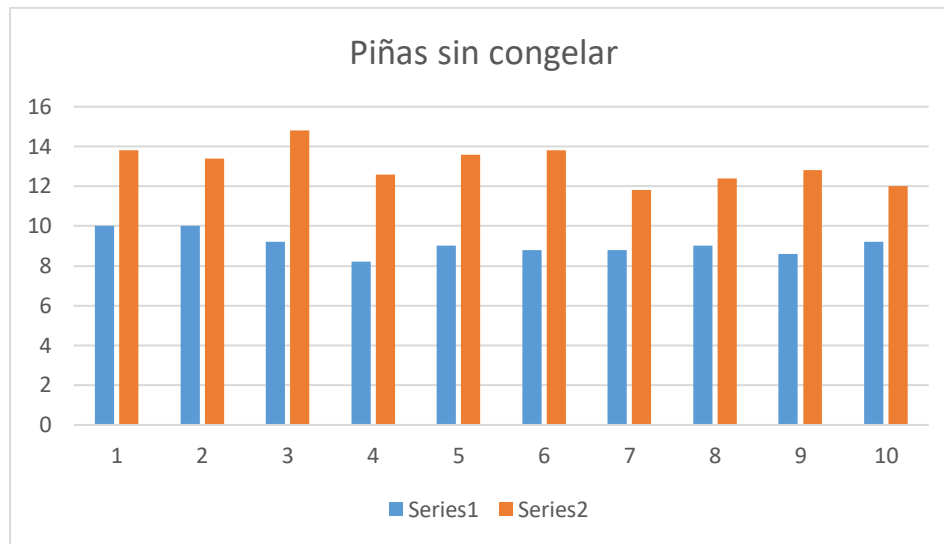
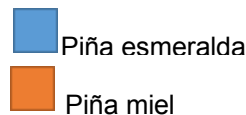


Figura 3. Gráfico de concentraciones de azúcar (brix)



Los gráficos que se mostraron con anterioridad corresponden a los niveles de dulzor de los diferentes tipos de piña que se utilizaron como objeto de estudio, en estas graficas se puede apreciar el comportamiento de los concentrados de azúcar al estar en contacto con diferentes tipos de temperatura, a continuación, se describirán los resultados obtenidos de las observaciones.

Observaciones de la piña congelada

Rango de Concentraciones en piña esmeralda: 9-12 °Bx

Rango de Concentraciones en piña miel: 12-16 °Bx

Muestra más Alta: 15 °Bx, muestra 6 piña miel

Muestra más Baja: 8.4 °Bx, muestra 10 Piña esmeralda

Observaciones de la piña sin congelar

Rango de Concentraciones en piña esmeralda: 9-11 °Bx

Rango de Concentraciones en piña miel: 12-16 °Bx

Muestra más Alta: 14.8 °Bx, muestra 3 piña miel

Muestra más Baja: 8.2 °Bx, muestra 4 Piña esmeralda

Análisis de varianza:

Para el desarrollo del método estadístico se utilizó el software Minitab 2018, para analizar la prueba de análisis de varianza (ANOVA) y posteriormente dar las conclusiones a nuestras hipótesis.

RESULTADOS

Análisis de varianza piñas congeladas

MINITAB 2018

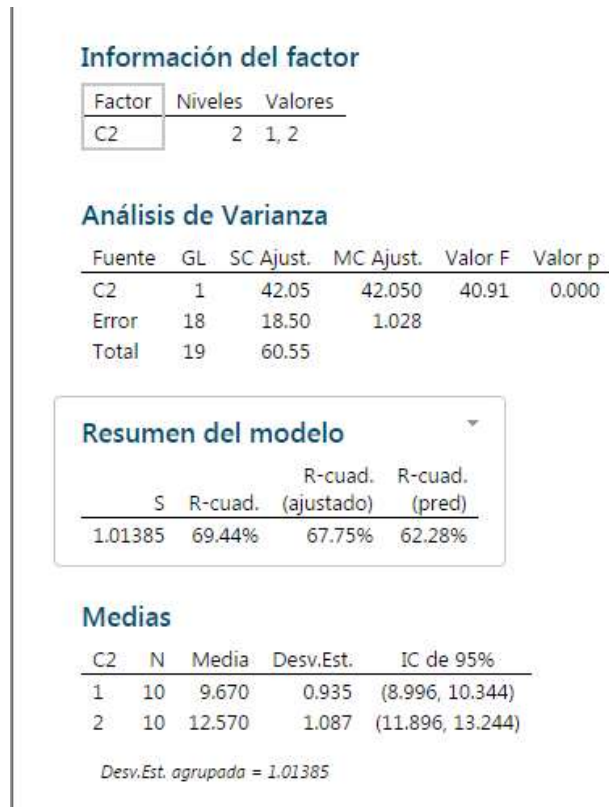


Figura 4 Resultados de análisis de varianza de piñas congeladas

Hipótesis

H₀= Todas las medias son iguales

H_A= Hay diferencia entre las medias

Resultado: Como se observa en la figura 4 con un nivel de confianza de 95% y un valor F_{0.05} (1,18) = 4.41, y un valor de F calculada de 40.91 se rechaza la hipótesis nula, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna. Comprobando estadísticamente que, si existe variación en los niveles de concentrados de azúcar de los dos tipos de piñas Congeladas.

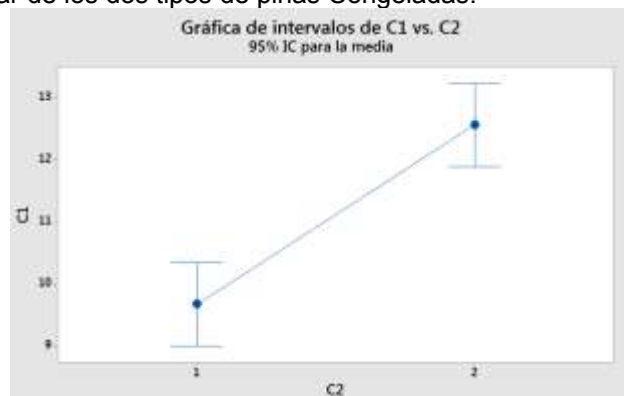


Figura 5. Gráfico de intervalos piñas congeladas

Análisis de varianza piñas sin congelar
MINITAB 2018

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	2	1, 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	1	80.80	80.8020	134.22	0.000
Error	18	10.84	0.6020		
Total	19	91.64			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.775887	88.18%	87.52%	85.40%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	10	9.080	0.567	(8.565, 9.595)
2	10	13.100	0.939	(12.585, 13.615)

Desv.Est. agrupada = 0.775887

Figura 5. Resultados de análisis de varianza de piñas sin congelar

Hipótesis

H₀= Todas las medias son iguales

H_A= Hay diferencia entre las medias

Resultado: Como se muestra en los resultados de la figura 5 con un nivel de confianza de 95% y un valor $F_{0.05}(1, 18) = 4.41$ y un valor de F calculada = 134.22, se rechaza la hipótesis nula por tanto se, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna y se comprueba estadísticamente que si existe variación en los niveles de concentrados de azúcar de los dos tipos de piña. En esta prueba no fue necesario el uso del congelador, ni esperar un lapso, ya que las lecturas de las unidades Brix se realizaron después del proceso de corte.

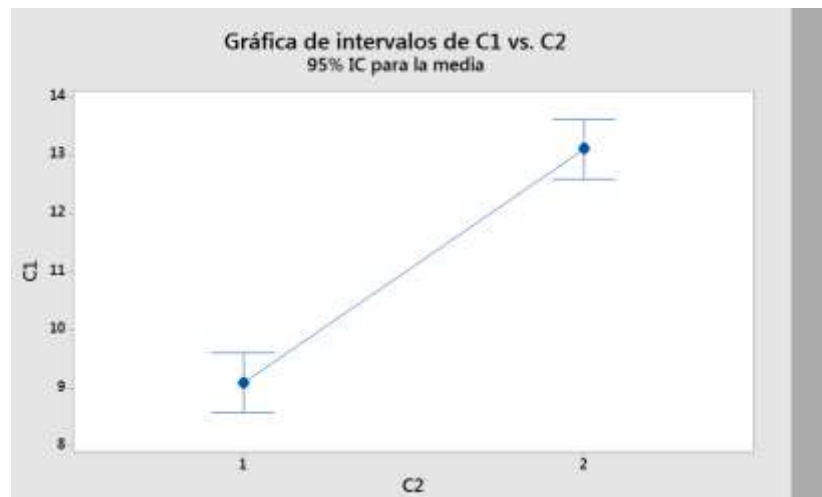


Figura 6 Grafico de intervalos piñas sin congelar

Se realizó un análisis de varianza para estudiar la diferencia entre las medias de dos grupos de piñas esmeralda de un mismo tipo, cuya única diferencia son sin congelar y congeladas. Los datos se encuentran en la tabla 6.

Muestra	Piña esmeralda congelada (Brix)	Piña esmeralda sin congelar (Brix)
1	8.5	10
2	9	10
3	10	9.2
4	10.2	8.2
5	10.5	9
6	10	8.8
7	9.5	8.8
8	11.4	9
9	9.2	8.6
10	8.4	9.2

Tabla 6. Datos de grados Brix de piña esmeralda congelada vs piña esmeralda normal

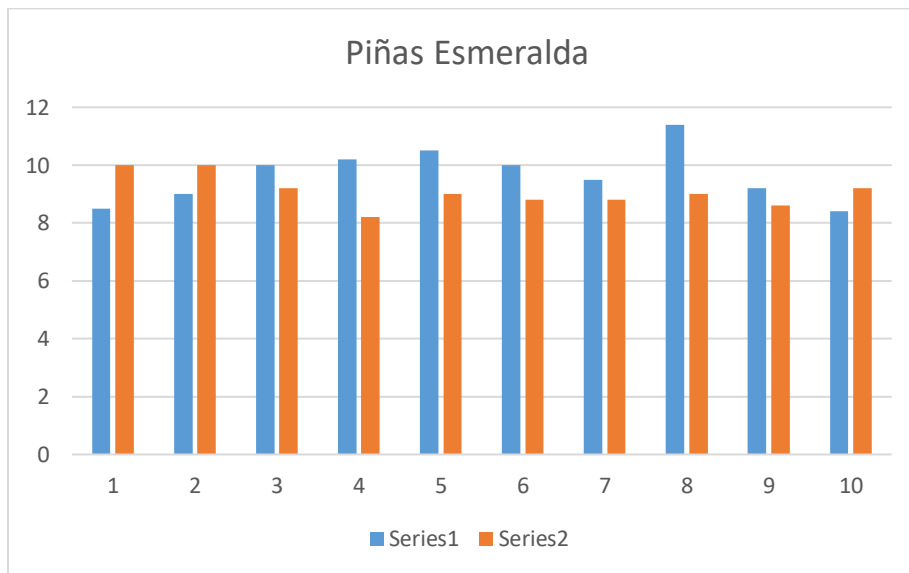
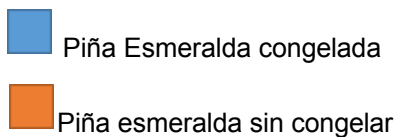


Figura 7. Grafico de comportamiento de concentrados de azúcar de piñas esmeralda



Observaciones de la piña esmeralda

Rango de Concentraciones en piña esmeralda congelada: 9-12 BX

Rango de Concentraciones en piña esmeralda sin congelar: 9-11 BX

Muestra más Alta: 11.4 Brix, Muestra 8, Piña esmeralda Congelada

Muestra más Baja: 8.4 Brix, Muestra 10, Piña esmeralda Congelada

Análisis de varianza piñas esmeraldas
MINITAB 2018

Hipótesis

H₀= Todas las medias son iguales

H_A= Hay diferencia entre las medias

Resultado: Como se muestra en los resultados de la figura 8 con un nivel de confianza de 95% y un valor $F_{0.05}(1,18) = 4.41$ y un valor de F calculada = 2.91, se acepta la hipótesis nula. Comprobando estadísticamente que no existe variación en los niveles de concentrados de azúcar en el grupo de las piñas esmeralda congeladas y sin congelar

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
C2	2	1, 2

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
C2	1	1.741	1.7405	2.91	0.105
Error	18	10.757	0.5976		
Total	19	12.498			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.773053	13.93%	9.14%	0.00%

Medias

C2	N	Media	Desv.Est.	IC de 95%
1	10	9.670	0.935	(9.156, 10.184)
2	10	9.080	0.567	(8.566, 9.594)

Desv.Est. agrupada = 0.773053

Figura 8. Resultados de Análisis de varianza de piñas esmeralda

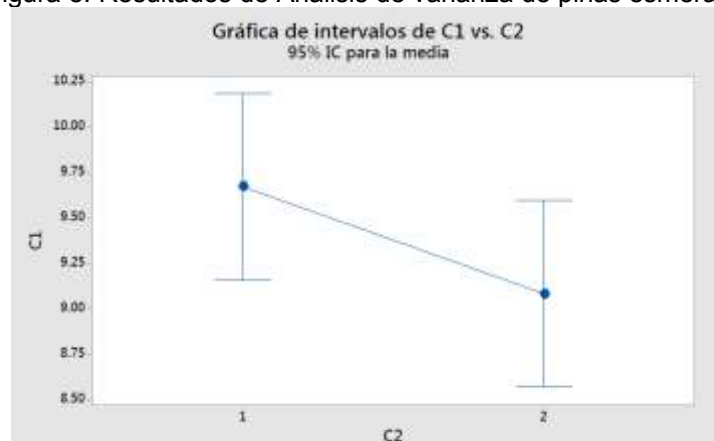


Figura 9. Gráfica de intervalos de piñas esmeralda

Se realizó un análisis de varianza para estudiar la diferencia entre las medias de dos grupos de piñas miel de un mismo tipo, cuya única diferencia son sin congelar y congeladas. Los datos se encuentran en la tabla 7.

Muestra	piña miel congelada (Brix)	piña miel sin congelar (Brix)
1	13.5	13.8
2	12.6	13.4
3	11.8	14.8
4	12.6	12.6
5	11.4	13.6
6	15	13.8
7	13	11.8
8	12.4	12.4
9	12	12.8
10	11.4	12

Tabla 7. Datos de grados Brix de piña miel congelada vs piña miel sin congelar

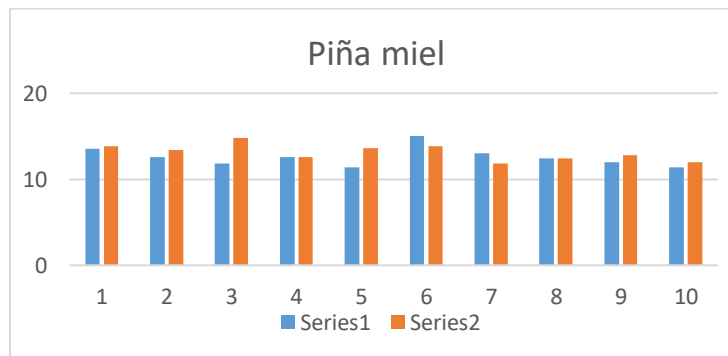
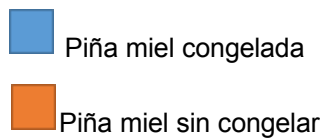


Figura 10. Gráfico de comportamiento de concentrados de azúcar de piña miel



Observaciones de la piña esmeralda

Rango de concentraciones en piña miel congelada: 12-16 Brix

Rango de concentraciones en piña miel sin congelar: 12-16 Brix

Muestra más alta: 15 Brix, muestra 6, piña miel congelada

Muestra más baja: 11.4 Brix, muestra 5 y 10, piña miel congelada

Muestras con niveles similares: 12.6, muestra 4, piña miel congelada, piña miel sin congelar

Análisis de varianza piñas miel

MINITAB 2018

Hipótesis

H₀= Todas las medias son iguales

H_A= Hay diferencia entre las medias

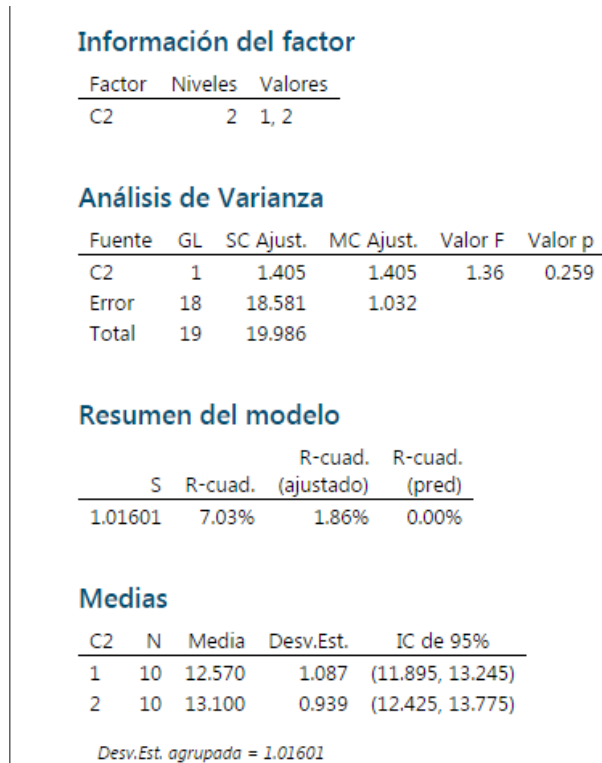


Figura 11. Resultados de Análisis de varianza de piñas miel

Resultado: Como se muestra en los resultados de la figura 11 con un nivel de confianza de 95% y un valor $F_{0.05}(1,18) = 4.41$ y un valor de F calculada = 1.36, se acepta la hipótesis nula. Comprobando estadísticamente que no existe variación en los niveles de concentrados de azúcar en el grupo de la piña miel.

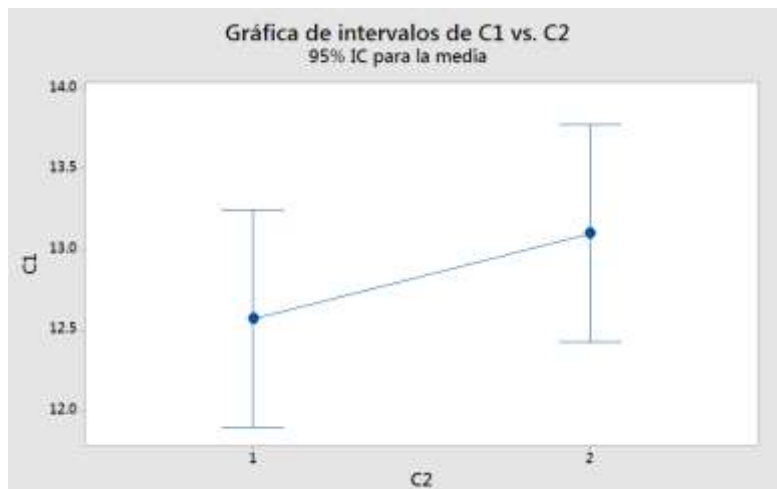


Figura 12. Gráficos de intervalos

CONCLUSIONES

El proyecto que realizamos ha contribuido de manera muy importante para identificar y analizar estadísticamente qué tipo de piña posee más concentrado de azúcar. La investigación es de gran

importancia ya que con los resultados se conoce con exactitud el tipo de piña que vamos a utilizar en la elaboración de la cerveza artesanal.

Después de un largo camino al documentar, analizar, observar, los diferentes tipos de piña que se comercializan en nuestra región, así como realizar muestreos con ayuda de un refractómetro que nos sirvió como herramienta de medición para conocer el nivel de dulzor (grados Brix) que poseían los dos tipos de piñas (esmeralda y miel) para posteriormente realizar un análisis de varianza de un solo factor que nos confirmaría la pregunta de investigación: ¿Qué tipo de piña contiene más concentrados de azúcar? y resolver la hipótesis planteada la cual es “El nivel de concentración de azúcar depende del tipo de piña”. Lo anterior nos arrojó que la piña mantiene su dulzor ya sea a temperatura ambiente o congelada y nos ayuda a tomar la decisión de utilizar la piña miel ya que sus cualidades físicas acompañadas con el alto nivel de azúcar que posee ayudaran en la siguiente etapa que será desarrollar el proceso de producción de una cerveza artesanal más dulce.

BIBLIOGRAFÍA

1. Artesana, C. (2016). Cerveza Artesana. <https://www.cervezartesana.es/blog/post/que-veo-cuando-veo-una-cerveza.html>
2. Barrado, V. (2019). Mi Casa. <https://www.micasarevista.com/recetas-trucos-cocina/a22712838/cerveza-saludable/>
3. Cervecero, (2017). Observatorio cervecero. <https://observatoriocervecero.wordpress.com/tag/teoria-2/>
4. Gastronómica, (2017). Información gastronómica. <https://informaciongastronomica.com/cerveza-artesana-producto-calidad/>
5. Lechuga, I. (2016). Warp. <http://warp.la/editoriales/el-origen-de-la-cerveza-artesanal-en-mexico-warprbeer>
6. México, G. A. (2019). Gourmet Awards México. <http://gourmetawards.mx/mas-noticias/2017/11/14/por-que-una-cerveza-artesanal-es-artesanal/>
7. Molino., c. e. (2016). Expo Gourmet. <https://www.expob2b.es/es/n-7630/historia-de-la-cerveza-y-la-moda-de-la-cerveza-artesanal>
8. MX, D. (2018). Definición MX. <https://definicion.mx/proceso/>
9. Oralla. (2019). elrincondelcervecero.com. [elrincondelcervecero.com: https://elrincondelcervecero.com/el-color-de-la-cerveza/](https://elrincondelcervecero.com/el-color-de-la-cerveza/)
10. Peiró, R. (2019). economipedia. <https://economipedia.com/definiciones/satisfaccion-del-cliente.html>
11. Punto, C. E. (2016). Cerveza En Su Punto. <http://cervezaenpunto.com/archivos/noticia/los-ingredientes-de-la-cerveza-artesanal>
12. QA BREWER. (2016). QA BREWER. <https://qabrewer.com/requisitos-de-calidad-de-la-cerveza/>
13. Romin, I. (1 de ene de 2015). Ingeniería Romin. Obtenido de Ingeniería Romin: <https://romin.com/tratamientos-agua-la-produccion-cerveza-artesanal/>
14. Tovar, M. (20 de jun de 2018). Cervexxa. Obtenido de cervexxa: <https://www.cervezaartesanalmexicana.mx/cultura-cervecera/que-es-la-cerveza-artesanal>

SISTEMA DE CONTROL PARA LA PREVENCIÓN DE ACCIDENTES EN VEHÍCULOS UTILIZANDO EL RECONOCIMIENTO DE ACCIONES FACIALES

Mirolava Cano Lara^{1*}, Horacio Rostro González², Ma. Carmen Salazar Hernández³, Santiago Camacho López⁴

¹Ing. Mecatrónica, TecNM/ITES de Irapuato, ²Ing. Electrónica, Universidad de Guanajuato,

³Depto. Profesional Genérica, Instituto Politécnico Nacional, ⁴Depto. Óptica, CICESE.

*mirolava.cl@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

En la actualidad la tecnología automotriz contempla sistemas para cumplir con la seguridad de los pasajeros, uno de ellos es el monitoreo del conductor en el transcurso de su trayecto. Los factores como el estado cansado o somnoliento puede ocasionar accidentes por una conducción inadecuada. En este trabajo se presenta un estudio básico para la detección del rostro y regiones faciales en un conductor de un vehículo. Se emplea la programación en Matlab, visión computacional y el algoritmo de Viola-Jones para percibir el rostro del conductor en imagen y frames de video adquiridos con una cámara de dispositivo móvil. Se crea un mapa geométrico donde se localizan los ojos abiertos/cerrados, fuera de ubicación y la posición correcta al momento del manejo. La interfaz electrónica utiliza una placa Arduino y módulos de captura/envío de datos, se monitorea con alertas visuales si se encuentran los ojos cerrados, fuera de la región de captura y a una distancia adecuada para el manejo del vehículo.

Palabras clave: **reconocimiento facial, seguimiento ocular, visión computacional.**

INTRODUCCIÓN

La tecnología y el desarrollo de unidades de computo automotriz compactas y eficientes contemplan la aplicación de manejo de seguridad en vehículos, desde las alarmas y sensores que avisan de algún percance, hasta el cambio de algún líquido del motor o baja presión en neumáticos. La seguridad vehicular, ha manejado sistemas de reconocimiento de huella, sistemas biométricos de seguridad y manejo autónomo de vehículos.

El manejo de seguridad con reconocimiento facial se considera tanto para la puesta en marcha de un vehículo, generar un historial de uso del vehículo, apoyo en el robo del mismo. Sin embargo, otra área importante y poco estudiada es evitar accidentes vehiculares por acciones del conductor. El manejar en estado alcohólico, cansado o somnoliento implica responsabilidad en la seguridad de los pasajeros que pueden finalizar en un accidente.

La detección del rostro tiene una extensa aplicación en el área de visión computacional, se puede identificar patrones como los ojos, labios, boca, nariz, etc. A través de una simple cámara y con una computadora se puede detectar de forma rápida todas estas particularidades. La capacidad de procesamiento y el tiempo para determinar la ubicación de las características faciales de interés sería de vital importancia para la programación en tiempo real. La secuencia de video, o la grabación en directo desde una cámara es posible conocer en qué lugar nos encontramos y hacia donde estamos mirando, algo que abre un gran abanico de posibilidades en campos como control de elementos en base de gestos técnicas para reconocer personas en fotos, herramientas software mediante movimiento de regiones faciales. La mayoría de los sistemas de reconocimiento facial están diseñados para crear un mapa geométrico del rostro utilizando puntos de interés.

El Algoritmo Viola-Jones es empleado para la detección de objetos, en particular para la detección de rostros. Requiere las imágenes de manera vertical hacia la cámara considerando un cierto grado de inclinación. Si bien esto podría ser un límite, este tipo de algoritmos es práctico y muy utilizado.

El algoritmo de Viola-Jones puede ser complementado con las características del algoritmo de Michael Jones donde se trabaja con regiones rectangulares en una ubicación específica en una ventana de detección. Las características suman las intensidades de los píxeles en cada región y calculan la diferencia entre esas sumas para categorizar subsecciones de imagen. Esto podría ser utilizar conjuntos de rectángulos para detección de rostro, ojos, boca, etc.

PARTE EXPERIMENTAL

El estudio básico de detección de rostro y ojos emplea la aplicación del software Matlab, DroidCam-WebCam for PC y una cámara de dispositivo móvil con características de 12MP(4000 x 3000) y resolución de video de 4K(3840x2160). Se trabaja la detección de ojos del conductor y se procesa el abrir/cerrar los ojos en tiempo real para asemejar el comportamiento del conductor en el momento de algún percance o una distracción. El sistema contempla 3 actividades:

- Detección de ojos y accionamiento de Led de activación.
- Pérdida de posición de ojos y accionamiento de Led de aviso.
- Detección y análisis de un objeto de obstrucción entre cámara y ojos.

En la parte experimenta en la Fig. 1a se observa la posición del conductor frente al volante, así como la distancia correcta de separación mínima de 25 cm. En la Fig. 1b se representa el sistema de trabajo, se ubica un asiento frente a la cámara, los transductores y actuadores que apoyarán en los resultados de la detección del rostro, ojos y la distancia en la que se encuentra el conductor. El control del sistema es por medio de la laptop, si se detecta algún objeto que obstruye la visión del conductor se considera con un actuador LED.

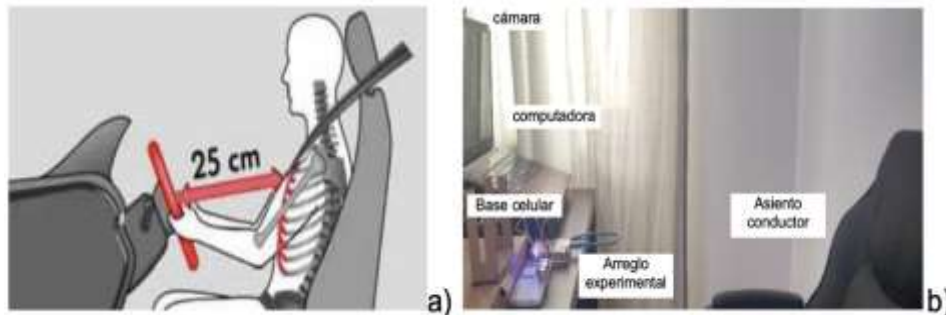


Figura 1. Sistema representativo del conductor en el asiento del vehículo.

Las imágenes captadas por el sistema de control son enviadas por medio de la cámara y la app DroidCam-WebCam hacia la computadora y como salida a la placa Arduino. Por medio de programación en Matlab se ejecutan acciones de 1/0 en actuadores como LEDs, así como registro de gráficos.

La captura de la foto inicial del conductor y la secuencia de fotos del proceso se realiza en un intervalo de unos cuantos segundos. La primera etapa de captura requiere el paquete *MATLAB Support Package for USB Webcams*, este programa permite tomar en tiempo real las imágenes de la cámara webcam de la computadora. La segunda etapa de captura se maneja con un dispositivo móvil y la computadora la habilita con la app DroidCam, con interface USB o de manera inalámbrica donde se proporcionó una IP para conexión.

La programación Matlab utiliza el comando *vision.CascadeObjectDetector* junto con el detector de objetos en cascada del algoritmo Viola-Jones reconocer el rostro facial y partes de interés como cara y ojos. En la Fig. 2 se muestra el diagrama de los pasos para la detección de ojos, abarca la activación y vinculación del dispositivo móvil/computadora y realiza la captura de imagen. La programación trabaja con la percepción de los ojos, su pérdida en la cámara y abrir/cerrar ojos.

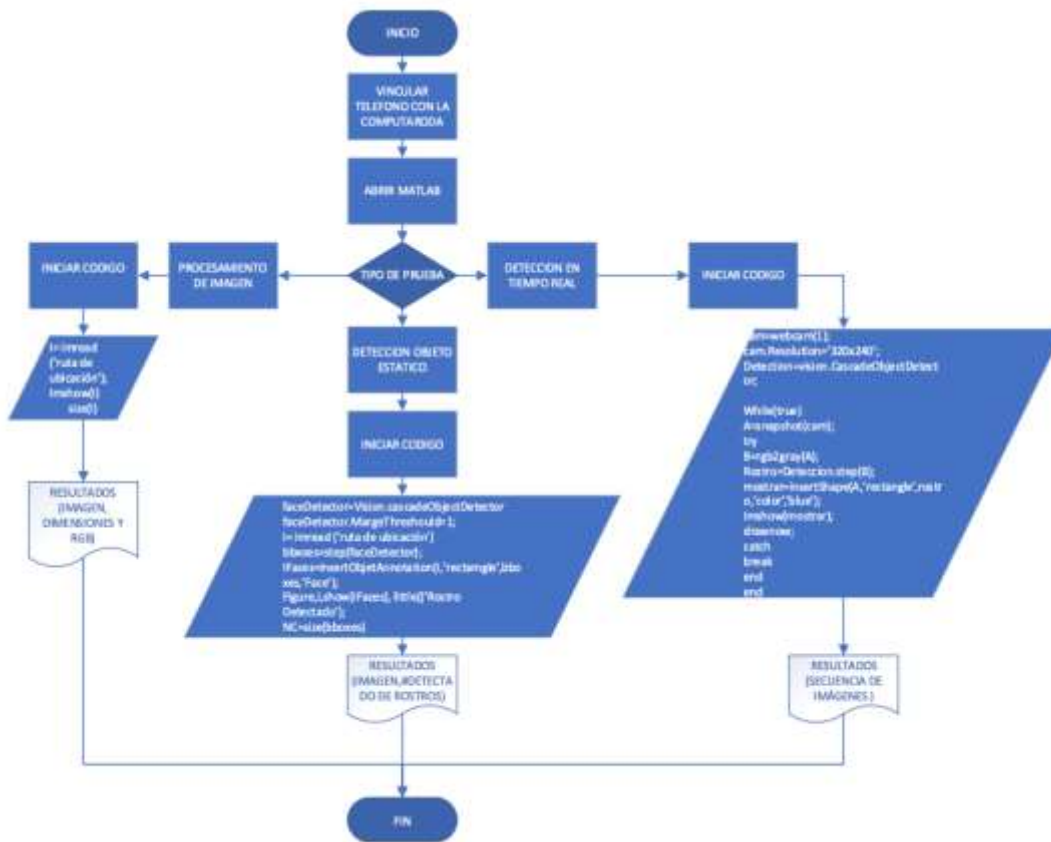


Figura 2. Diagrama de flujo de la secuencia de programación.

El circuito electrónico usa la placa Arduino, un sensor ultrasónico, leds de varios colores y alimentación de 5V. El estudio básico contempla la posición del rostro, ojos, pérdida de ubicación de ojos y variación en la posición del conductor hacia el volante. Las señales serán monitoreadas con los leds de manera independiente (ver Fig. 3).

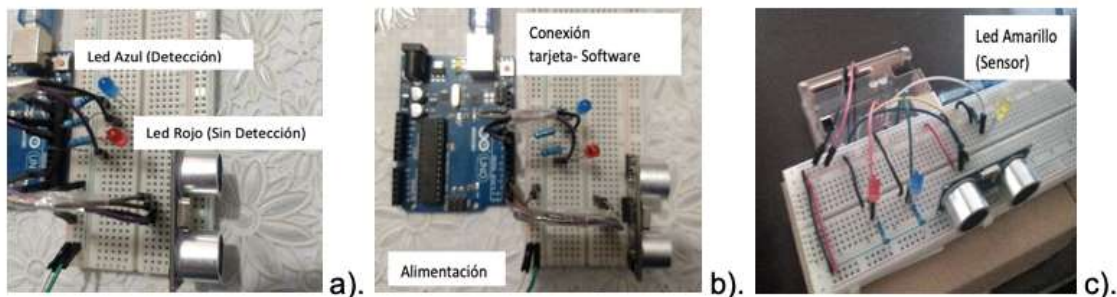


Figura 3. Circuito electrónico empleado para el estudio de detección de acciones faciales.

RESULTADOS

El programa identifica la colocación de la cara con el comando faceDetector, se registra con un recuadro amarillo (ver Fig. 4a). La ubicación de los ojos se trabaja con el comando EyeDetect, el cual puede ser asignado con otro rectángulo de color azul (Fig. 4b), de la misma manera cuando el conductor tiene algún ángulo de inclinación (ver Fig. 4c), hasta 30° aprox. En la Fig. 4d se muestra el tiempo de la ejecución fue de 15 seg.

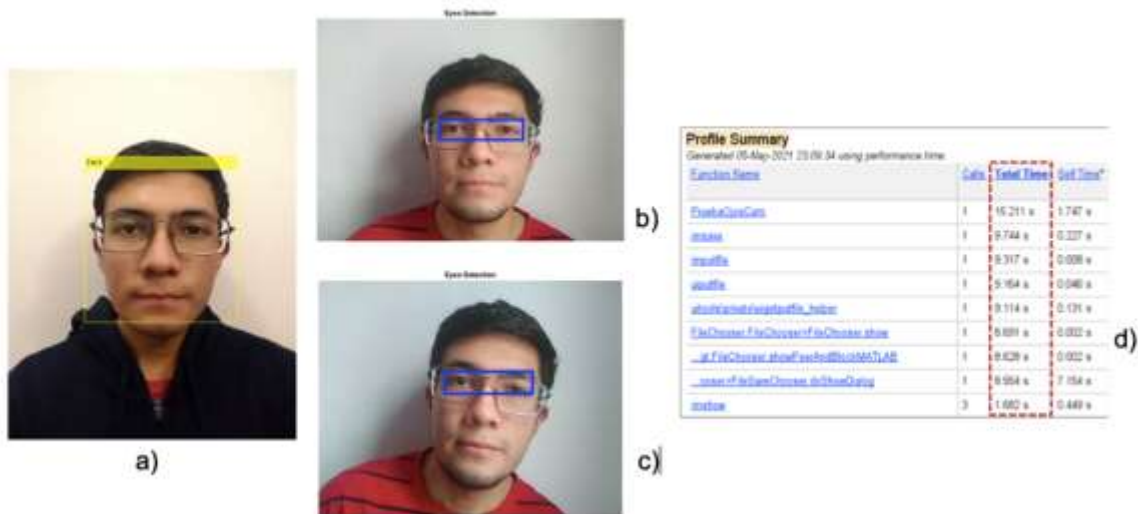


Figura 4. Imágenes de reconocimiento: a). Detección de rostro, b). Detección de ojos en posición horizontal, c). Detección de ojos con inclinación, d). Tiempo de entrega de resultados.

Para las pruebas de video *.avi, la ejecución del programa detecta el rostro y lleva el seguimiento de la misma. Se emplea el comando videoReader y videoFrame para trabajar las imágenes del estudio del rostro y ojos.

El video procesado detecta los ojos además de identificar cuando se aleja o acerca el rostro del conductor, finalmente se genera un nuevo video con los resultados de la detección. Esta última parte estudia la seguridad del mismo al momento de tener algún percance y llegar repentinamente al volante, apoyando en enviar una alerta visual o auditiva (ver Fig. 5).



Figura 5. Detección de ojos al acercar y alejar a la persona en video.

La siguiente figura presenta la secuencia de estudio del conductor a diversas actividades: (caso 6a) se tiene los ojos cerrados, para esto el programa no detecta los ojos y envía una señal a la placa arduino, junto con el led color rojo (caso 6b), segundos después se activa el video donde se detecta los ojos del conductor y la distancia recomendada de 35 cm captada por el transductor ultrasónico de presencia (caso 6c), se apoya con el led en color azul cuando se tiene identificado la posición de los ojos. Al momento de perder el rostro de la persona y ojos, el sistema envía nuevamente el caso 6b. Para estudiar el efecto de obstrucción de la vista en el conductor, se emplea una libreta como objeto, en ese momento el sistema envía a la placa arduino la indicación de encender el led amarillo (caso 6e-f).

El proceso abarca 60 frames de medición, en ese lapso el sensor capta la obstrucción de la vista del conductor, hasta localizar nuevamente los ojos, posteriormente se recupera en unos segundos y muestra el sistema equilibrado. El programa termina cuando el conteo de frames llega a 500.

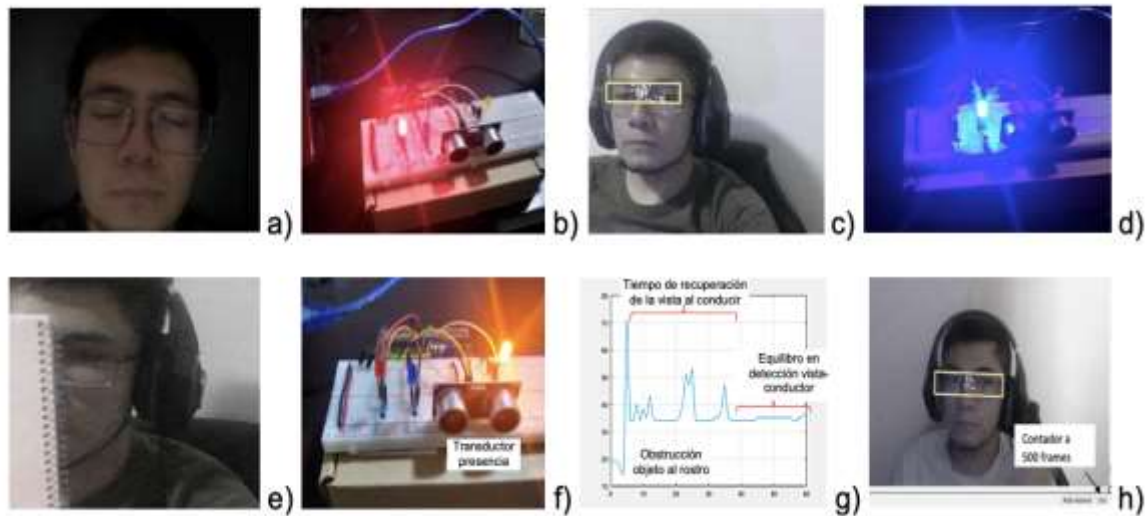


Figura 6. Secuencia de imágenes resultantes de estudio del reconocimiento de movimiento de ojos y posición de persona.

CONCLUSIONES

El estudio presentado permite identificar parámetros importantes para la detección de acciones faciales como rostro, ojos y posición de conductor. La aplicación DroidCam-WebCam, el Matlab junto con el algoritmo de Viola-Jones y una cámara de dispositivo móvil ayudan al entendimiento práctico del reconocimiento facial necesarios en los sistemas de seguridad vehicular. El monitoreo de las acciones aquí mostradas pueden ser mostradas con avisos visuales o auditivos.

Agradecimiento

Se agradece al estudiante Sánchez Ramirez Kevin Arnold de Ingeniería en Mecatrónica TecNM/ITES de Irapuato, por el apoyo en las pruebas experimentales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Revelo Álvala A. "Implementación de un algoritmo para la detección de somnolencia humana, en tiempo real basado en visión artificial". Escuela politécnica nacional. 2019
2. Garzon S. V. "Diseño e implementación de un seguidor de objetos en movimiento mediante el uso de una cámara". Universidad Autonoma de Occidente. 2011.
3. Pratt William K. "Digital image processing", 4th Edition. Wiley.2007.
4. García Santillán. "Visión Artificial y procesamiento digital de imágenes usando Matlab".2008.
5. Barroso H. C. "Implementación del algoritmo de detección de caras de Viola y Jones sobre una FPGA". Universidad carlos III de Madrid.

IMPLEMENTACIÓN DE LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA ESTIMACIÓN DEL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL EN LA CIUDAD DE GUANAJUATO.

Sergio Andrés Chávez Espínola¹, Eladio Delgadillo Ruiz¹, Jesús Fernando Valdés Vazquez¹, Felicitas Calderón Vega¹, Luz Adriana Arias Hernandez¹, Lucía Delgadillo Ruiz²

¹Universidad de Guanajuato, ²Benemérita Universidad Autónoma de Zacatecas.
sa.chavezespínola@ugto.mx

RESUMEN

En el balance hídrico de superficie, la estimación del escurrimiento superficial forma parte primordial en la determinación del volumen de agua disponible necesaria para llevar a cabo el diseño de la mayoría de las obras hidráulicas y de algunas acciones de conservación. El balance hídrico es uno de los principales métodos utilizados para determinar el volumen de agua que se traslada desde el punto más alejado de la cuenca hidrológica hasta un punto de salida, de igual manera, el componente de entrada principal al sistema es la precipitación y dejamos como datos de salida la evapotranspiración, el escurrimiento superficial, la infiltración y el cambio de almacenamiento. En este sentido, para la mayoría de las cuencas hidrológicas, el escurrimiento superficial se estima mediante modelos físicos y/o matemáticos que resultan ser más económicos en su implementación en comparación de las mediciones puntuales hechas con instrumentos que requiere una gran inversión económica, para el caso de la Ciudad de Guanajuato no se cuenta con alguna red hidrométrica que permita disponer de registros de este componente y en el país son muy pocas las cuencas que se encuentran instrumentadas. Por lo anterior, en este estudio se utilizan los sistemas de información geográfica (SIG) para delimitar el área de estudio y llevar a cabo una regionalización de las características físicas de la cuenca, así como el establecimiento del coeficiente de escurrimiento, con ayuda del programa de cómputo ArcGis y las herramientas de análisis espacial e hidrología, se llevó a cabo la delimitación de la cuenca de estudio a partir del mapa de las curvas de nivel a una escala de 1:20000. Con el SIG se realizó un modelo digital de elevaciones en el cual se obtuvieron los mapas de pendiente, los cauces principales y la longitud de estos, además, se tomaron en cuenta los diferentes usos y tipos de suelo a través de una delimitación de polígonos en función del uso de suelo actual, para estimar un coeficiente de escurrimiento ponderado para el área de estudio. Para el caso de los datos climatológicos, se utilizaron los registros diarios de precipitación obtenidos de estaciones tipo tradicional administradas por diferentes organismos gubernamentales, las cuales además registran datos de velocidad y dirección del viento, precipitación, humedad relativa, y temperatura ambiente. Dentro de la cuenca se encuentran instaladas 5 estaciones climatológicas tradicionales de las cuales se obtuvieron los datos de precipitación diaria, además de 2 más que se encuentran en la periferia de la cuenca a un radio de 10 km. Mediante el ArcGis se llevaron a cabo interpolaciones con el método IDW para poder establecer la precipitación probable para un periodo de retorno de 10 años y una duración de 113 minutos correspondiente al tiempo de concentración de la cuenca. Por último, se aplicó el modelo de HEC-RAS para estimar el escurrimiento superficial en la ciudad de Guanajuato. Los resultados obtenidos de la aplicación de este modelo permitirán la elaboración de mapas apoyan en la identificación de las zonas dentro de la ciudad con posibilidades de inundaciones lo que ayudará a que se elabore un esquema de prevención ante escenarios de eventos extremos de precipitación.

INTRODUCCIÓN

Dentro de los componentes del balance hídrico superficial, la medición o estimación del escurrimiento forma parte primordial en la determinación del volumen de agua disponible para poder llevar a cabo el diseño de la mayoría de las obras hidráulicas, para realizar acciones de conservación, para estimar aspectos económicos y sobre todo para la evaluación del uso del suelo dentro de las cuencas hidrológicas (Flores-López et al., 2003). El escurrimiento superficial está en función de muchos factores físicos tales como el uso y tipo de suelo presentes en la cuenca, la intensidad de las precipitaciones, las características físicas, la evapotranspiración, entre otros (Ares et al., 2012). El balance hídrico es uno de los principales métodos utilizados para determinar el volumen de agua que se traslada desde el punto más alejado de la cuenca hasta un punto de salida, generalmente el

componente principal de entrada al sistema es la precipitación y dejamos como datos de salida la evapotranspiración, el escurrimiento superficial, la infiltración y el cambio de almacenamiento. Tomando en cuenta el régimen climático de la zona, la lluvia define en la mayoría de las cuencas de manera directa el comportamiento de los flujos superficiales (Bohn & Campo, 2010), por lo que en este tipo de modelos de balance hídrico se deja como incógnita de cálculo el escurrimiento superficial.

En general, el escurrimiento superficial constituye uno de los elementos que provocan algunos problemas ambientales en las cuencas hidrológicas, como por ejemplo el acarreo de sedimentos, la erosión hídrica del suelo, aumento del caudal y el transporte y mezcla de otros contaminantes en el agua (Francisco-Nicolás et al., 2010). Si bien es cierto que el escurrimiento superficial es un elemento del balance hídrico que se puede medir de manera directa en las corrientes naturales, se requiere de una gran inversión económica para la adquisición de sensores de nivel que reporten el paso del flujo por el área de estudio inclusive por medio de imágenes satelitales (Revilla-Romero et al., 2015), por lo cual, en la mayoría de los cauces de cuencas hidrológicas se elige la utilización de modelos de estimación basados en la incorporación de sistemas de información geográfica y de modelos matemáticos como por ejemplo el Hec-Hms, Hec-Ras, Idrisi (Delgado, 2013), entre otros, que son de bajo costo, se requiere de menos infraestructura, pocos recursos humanos, y sobre todo, se aproximan al valor de volumen obtenido por medio de sensores de medición directa.

El modelo HEC-RAS incluye en su motor de cálculo el uso de la ecuación de la energía (Parhi, 2013) para poder realizar el balance entre dos secciones cualesquiera de estudio y se recomienda su uso en problemas hidráulicos de gran escala, así como el HEC-HMS para cálculos hidrológicos (Ardıçlıođlu & Kuriqi, 2019). Este tipo de modelos son ampliamente utilizados en las predicciones y simulaciones de zonas con riesgo de inundación, considerando diferentes tormentas de diseño con diferentes periodos de retorno (García & Conesa, 2011). Además, estos modelos de estimación son implementados en cuencas urbanas en donde la calibración y validación son prerrequisitos esenciales para obtener un caudal asociado con cada uno de los usos de suelo en la mayoría de los casos con recubrimientos de concreto o asfalto, cuyas características hidráulicas están asociadas a la capacidad y velocidad de infiltración que tienen estos materiales propios de la urbanización (Armson et al., 2013).

En este estudio se tomaron en cuenta los diferentes usos y tipos de suelo para poder estimar un coeficiente de escurrimiento ponderado para el área de estudio, luego aplicamos sistemas de información geográfica para poder llevar a cabo una regionalización de las características físicas de la cuenca y del coeficiente de escurrimiento. Por último, aplicamos el modelo de HEC-RAS para estimar el escurrimiento superficial en la ciudad de Guanajuato y que sirva de base para poder identificar en posteriores estudios las zonas de posible inundación (García & Conesa, 2011).

METODOLOGÍA

Delimitación de la zona de estudio

En esta parte de la metodología se utilizan los sistemas de información geográfica para delimitar el área de estudio, con ayuda de los programas de cómputo ArcGis y Qgis, apoyados de las herramientas de análisis espacial e hidrología, se llevará a cabo la delimitación de la cuenca de estudio a partir del mapa de las curvas de nivel a una escala de 1:25000. El sistema realizará un modelo digital de elevaciones en el cual se obtendrán los mapas de pendiente, los cauces principales y la longitud de estos.

El municipio de Guanajuato, que es capital del estado de Guanajuato se encuentra ubicado entre los paralelos 21°14' y 20°49' de latitud norte; entre los meridianos 101°03' y 101°27' de longitud oeste; con una altitud entre 1700 y 3000 metros sobre el nivel del mar. El municipio tiene colindancia con los municipios de Dolores Hidalgo y San Felipe al norte, al este está colindando con el municipio de Dolores Hidalgo, nuevamente; al oeste colinda con los municipios de León y Silao (Figura1). La Fisiografía del municipio es localizada en la Mesa del Centro (78.4%) y el Eje Neovolcánico (21.6%). El rango de temperatura y de precipitación media anual con el que cuenta el municipio son de 12–20 °C y de 600-900 mm, y maneja una región hidrológica conocida como Lerma-Santiago (100%), cuya cuenca está definida por Río Lerma-Salamanca (73.9%) y Río Laja (25.5%) (INEGI,2009).

Determinación del coeficiente de escurrimiento

En el área de estudio el uso de suelo no es uniforme, por lo que existen polígonos de superficie habitacional, zonas pavimentadas, parques, entre otras, que retienen diferente cantidad de agua debido a su capacidad de infiltración y de escurrimiento. Por lo tanto, se llevará a cabo una delimitación de polígonos en función del uso de suelo actual, para determinar el coeficiente de escurrimiento en la cuenca urbana utilizando una media ponderada.

USO DE SUELO Y VEGETACIÓN	Area (Km2)	Coef. C	No. Curva
AGRICULTURA DE RIEGO	7.89	0.53	72
AGRICULTURA DE TEMPORAL	82.33	0.62	85
AGRICULTURA DE TEMPORAL CON EROSIÓN	7.61	0.62	85
BOSQUE CULTIVADO PLANTACION FORESTAL	1.89	0.7	60
BOSQUE DE ENCINO	81.26	0.24	55
BOSQUE DE ENCINO CON EROSIÓN	9.74	0.7	70
PASTIZAL INDUCIDO	30.38	0.2	39
PASTIZAL INDUCIDO CON EROSIÓN	96.07	0.35	60
PASTIZAL NATURAL	35.12	0.33	74
PASTIZAL NATURAL CON EROSIÓN	76.11	0.25	65
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO	54.87	0.3	71
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE BOSQUE DE ENCINO CON EROSIÓN	4.64	0.3	78
VEGETACIÓN SECUNDARIA ARBUSTIVA DE MATORRAL SUBTROPICAL	0.30	0.4	70
ZONA URBANA	2.34	0.74	80
TOTAL	490.54		

Tabla 7.- Uso de suelo y vegetación de la cuenca de estudio Guanajuato, México

Análisis y recopilación de datos de precipitación

En el caso de la precipitación, se utilizará información de registros obtenidas de estaciones tipo tradicional administradas por diferentes organismos gubernamentales como el Servicio Meteorológico Nacional, el Observatorio meteorológico de Guanajuato y Universidad de Guanajuato, las cuales ayudan en el registro de datos de velocidad y dirección del viento, precipitación, humedad relativa, y temperatura ambiente. Dentro de la cuenca se encuentran instaladas 7 estaciones climatológicas tradicionales de las cuales se obtuvieron los datos de precipitación máxima en 24 horas, luego se aplicaron algunos modelos de distribución probabilístico para determinar la precipitación para el tiempo de concentración de la cuenca y a diferentes periodos de retorno.

En la Tabla 8 se muestra un resumen de los parámetros estadísticos de la estación Calderones, luego en la Tabla 9 se muestran los diferentes métodos de ajuste para la información obtenida de precipitación, en el ejemplo de la estación de Calderones podemos observar que el método Normal es el que presenta menor error estándar por lo que se elige para la estimación de la precipitación. Luego en la Tabla 10 se observa la estimación de los datos de precipitación correspondientes a cada uno de los periodos de retorno con diferentes intervalos de duración del evento de precipitación probable.

Datos Paramétricos Estación Calderones	
Número de datos:	671.00
Media de precipitaciones:	65.43
Desv. Est. De las precipitaciones:	22.08
Media de los log. de las precipitaciones:	4.10
Desv. Est de los log. de las precipitaciones:	0.49

Tabla 8.- Resumen de parámetros estadísticos de la estación Calderones

Error estándar	
Método	Error estándar
Nash	8.58
Gumbel	5.24
Exponencial con b y x0	13.26
Log Normal 2	5.33
Gamma 2	4.52
Normal	3.81
Exponencial con b	40.11

Tabla 9.- Métodos de ajuste para la estación Calderones

Precipitación Estación Calderones												
Tr/Minutos	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	17.81	27.86	34.45	39.17	42.76	45.60	47.93	49.88	51.55	53.00	54.27	55.41
5	19.92	31.16	38.53	43.81	47.82	51.00	53.60	55.78	57.65	59.27	60.69	61.96
10	21.51	33.66	41.61	47.31	51.65	55.08	57.89	60.25	62.26	64.01	65.55	66.92
20	23.11	36.15	44.70	50.82	55.47	59.16	62.18	64.71	66.87	68.75	70.41	71.88
25	23.62	36.95	45.69	51.95	56.70	60.48	63.56	66.15	68.36	70.28	71.97	73.47
50	25.21	39.45	48.77	55.45	60.53	64.56	67.85	70.61	72.97	75.02	76.83	78.43
100	26.81	41.94	51.86	58.96	64.36	68.64	72.14	75.08	77.59	79.77	81.69	83.39
200	28.40	44.43	54.94	62.47	68.19	72.72	76.43	79.54	82.20	84.51	86.54	88.35
500	30.51	47.73	59.02	67.10	73.25	78.12	82.10	85.44	88.30	90.78	92.96	94.91
1000	32.10	50.22	62.10	70.61	77.07	82.20	86.39	89.91	92.91	95.52	97.82	99.87
2000	33.70	52.72	65.18	74.11	80.90	86.28	90.68	94.37	97.53	100.27	102.68	104.82
5000	35.81	56.02	69.26	78.75	85.96	91.67	96.35	100.27	103.62	106.54	109.10	111.38

Tabla 10.- Precipitación Estación Calderones

Determinación de las curvas IDTr

Se llevará a cabo la obtención de las curvas IDTr para la cuenca de estudio y asociadas al tiempo de concentración de la cuenca el cual se estimó mediante el método de Kirpich, la determinación de estas curvas para periodos de retorno menores a 10 años se realizará mediante el método de Bell y para periodos de retorno mayores a 10 años se utilizará el método de Chen Lung Chen, en los cuales se aplicarán los parámetros regionales propios de las ecuaciones características de estos métodos. Finalmente, mediante el uso de ArcGis se realizarán interpolaciones con el método IDW para poder establecer la precipitación probable para diferentes periodos de retorno y para una duración asociada al tiempo de concentración.

Obtención del modelo hidrológico

El modelo hidrológico se llevó a cabo siguiendo la metodología de García y Conesa (2011), el cual se basa en la obtención de diferentes características físicas del suelo para determinar las subcuencas dentro de un área total de la cuenca de estudio, luego aplicando el método racional se obtendrá una primera estimación de escurrimiento superficial, para después ser comparado con el método del Servicio de Conservación del Suelo (SCS) de Estados Unidos que emplea el número de curva asociado al tipo de uso de suelo presente en la zona.

Aplicando el modelo HEC-HMS se determinaron utilizando las características físicas de la cuenca obtenidas mediante el ArcGis, como lo fueron el área, las longitudes de cauce, las pendientes y

aplicando el método de Kirpich se obtuvieron el tiempo de concentración para cada una de las subcuencas.

RESULTADOS

Delimitación de la zona de estudio

En las ilustraciones 1 y 2 se muestra la delimitación de la zona de estudio, la cual se realizó mediante el empleo de las herramientas de ArcGis, el punto de salida de la delimitación es la cortina de la presa la Purísima.



Ilustración 5.- Ubicación de la cuenca de estudio Guanajuato, México

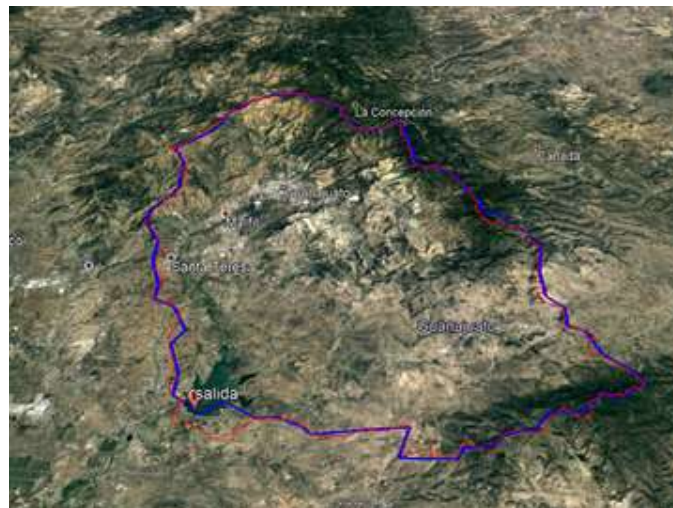


Ilustración 6.- Ubicación de la cuenca de estudio Guanajuato, México

Determinación del coeficiente de escurrimiento

En la Ilustración 7 se muestra la distribución del uso de suelo y vegetación en la zona de estudio, la Ilustración 8 muestra el valor del coeficiente c correspondiente a cada uso de suelo y en la Ilustración 9 se puede observar el número de curva para ser aplicado en el método propuesto por el servicio de conservación de suelo de EU.

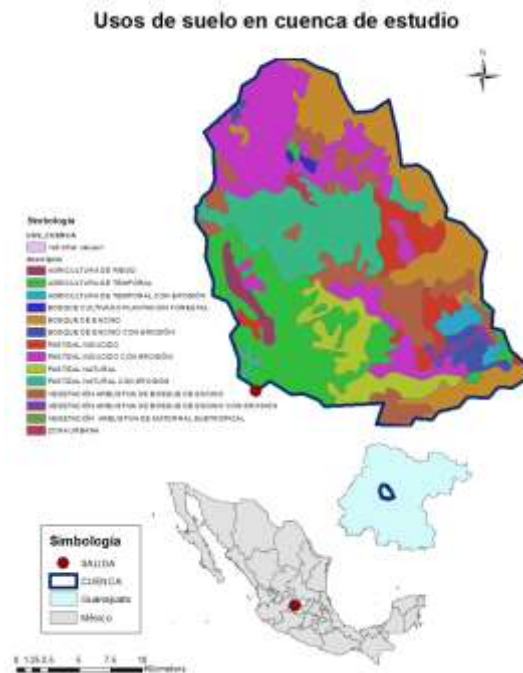


Ilustración 7.- Usos de suelo en cuenca de estudio Guanajuato, México



Ilustración 8.- Mapa de la distribución espacial del Coeficiente de escurrimiento C.



Ilustración 9.- Mapa de la distribución espacial del Número de curva CN.

Análisis y recopilación de datos de precipitación y Determinación de las curvas IDTr

La Ilustración 6 muestra una gráfica de las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (IDTr) para una estación en particular, cabe mencionar que este proceso se realizó para cada una de las 7 estaciones que se encuentran dentro de la cuenca, con la finalidad de encontrar una intensidad generalizada para la cuenca, utilizando el método de isoyetas de ArcGis e igualando el tiempo de concentración obtenido con el método de Kirpich con la duración de la tormenta en un periodo de retorno de 10 años.

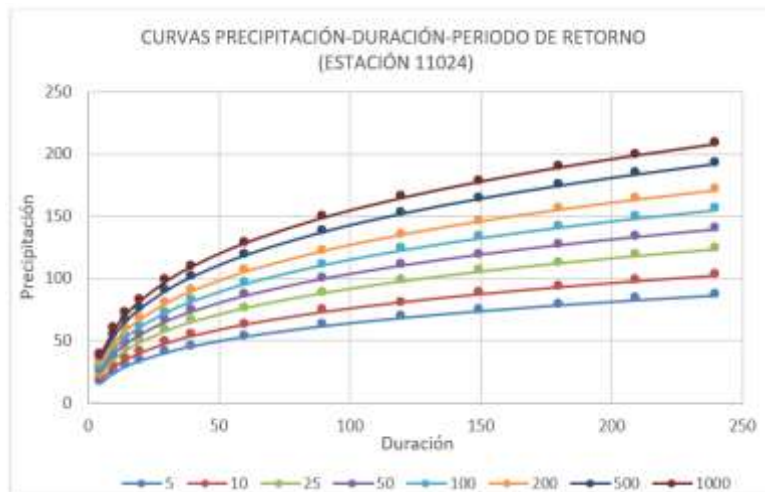


Ilustración 6.- Grafica de altura de Precipitación para la estación 11024.

En la Ilustración 7 se puede observar las curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno (IDTr) obtenidas mediante el método de Bell y de Chen Lung Chen.



Ilustración 7.- Curvas IDTr estación 11024

Obtención del modelo hidrológico

En el modelo hidrológico HEC-HMS se requiere ubicar todos los reservorios dentro del área de estudio como lo son pequeñas presas o bordos, además se requiere ubicar las corrientes principales asociadas al tipo de material por el que van pasando los cauces en su recorrido hasta llegar al punto de salida en el cual se llevara a cabo la sumatoria del volumen escurrido por cada uno de los ramales presentes en la superficie como se puede observar en la Ilustración 88.

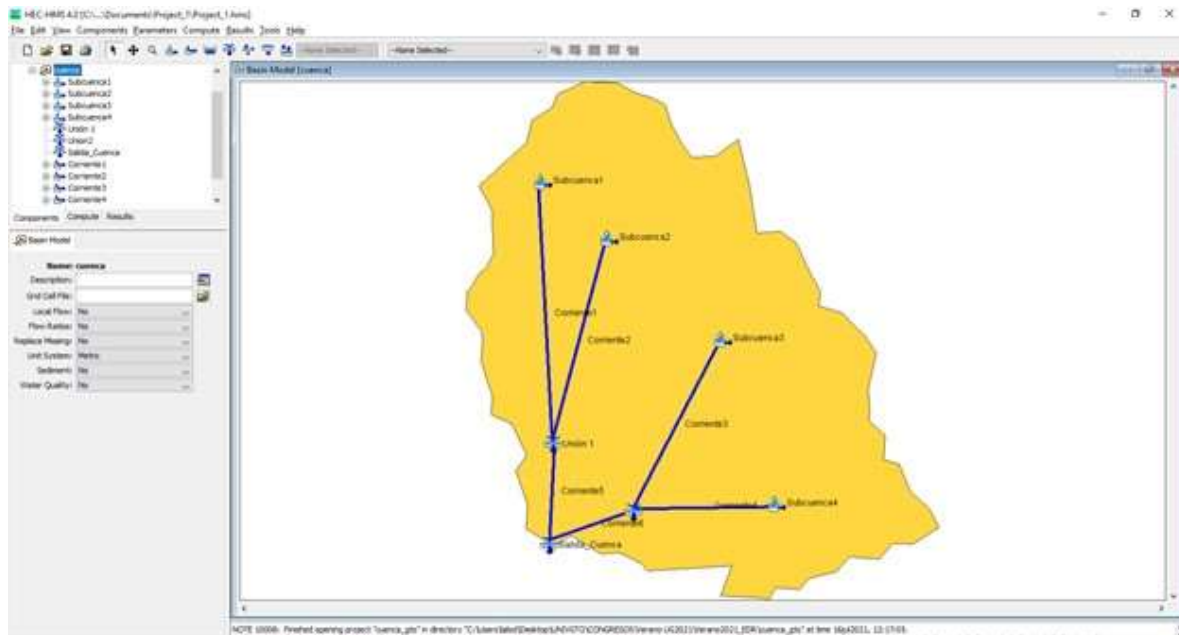


Ilustración 8.- Determinación de las subcuencas con el modelo HEC-HMS para la zona de estudio Guanajuato, México

El total del flujo modelado utilizando los sistemas de información geográfica y los mapas de usos de suelo es aproximadamente en la subcuenca 1: 190 m³/s, subcuenca 2: 250 m³/s, subcuenca 3: 270 m³/s, subcuenca 4: 210 m³/s.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos de este estudio a través de la elaboración de mapas apoyan en la identificación de las zonas dentro de la ciudad con posibilidades de inundaciones lo que ayudará a que se elabore un esquema de prevención ante escenarios de eventos extremos de precipitación. La utilización de sistemas de información geográfica en este caso del ArcGis en conjunto de un modelo de tránsito de avenidas en cuencas hidrográficas, representan una herramienta indispensable en el cálculo del escurrimiento superficial, ya que facilita la elaboración de mapas temáticos correspondientes a los usos de suelo y vegetación presente en el avance de los ríos principales por la superficie de la cuenca.

Es importante señalar que se requiere analizar la constante variabilidad en los mapas de uso de suelo a lo largo de un año ya que nuestra investigación se basó en datos propios para una sola estación del año. La obtención de los diferentes polígonos de superficie correspondientes a cada uno de los usos de suelo y vegetación presentes en una cuenca hidrológica de estudio, dan mayor certeza al cálculo del escurrimiento superficial ya sea que se encuentren asociados al coeficiente de escurrimiento C del método racional o al número de curva del modelo Tr55 del Servicio de Conservación del Suelo de los Estados Unidos, por lo tanto, se requiere del empleo de imágenes de satélite lo más actuales posibles o en su caso, fotografías aéreas para cada temporada, para asegurar la delimitación de cada uso de vegetación y de suelo de una manera parecida a la que se presenta en la actualidad.

Los programas computacionales como el HEC-HMS en combinación con los Sistemas de Información Geográfica nos ayudan a reducir el tiempo empleado para obtener resultados de escurrimiento superficial de las cuencas superficiales. Los resultados obtenidos de este estudio ayudaran a identificar las zonas dentro de la ciudad con posibilidades de inundaciones, aunque la ciudad presenta de pendientes altas en la mayoría de su superficie, cabe señalar que la zona sur es la que presenta mayor sensibilidad a eventos extremos de precipitación, el empleo de estos modelos ayudará a que se elabore un esquema de prevención ante escenarios de eventos extremos de precipitación. Actualmente las precipitaciones ocurren con mayor intensidad con una duración menor lo que ocasiona que el proceso de infiltración se vea reducido y que el componente de escurrimiento superficial aumente aunado al cambio constante del uso de suelo en la cuenca hidrológica, el cual cada año representa mayor superficie de tipo urbano debido al crecimiento poblacional de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ardiçlıoğlu Ardiçlıoğlu, M., & Kuriqi, A. (2019). Calibration of channel roughness in intermittent river using HEC-RAS model: Case of Sarımsaklı creek, Turkey. *SN Applied Sciences*, 1(9), 1080. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-1141-9>.
2. Ares, M. G., Chagas, C., & Var ni, M. (2012). Predicción de la escorrentía y estimación de la humedad antecedente en una cuenca aforada. 11.
3. Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A. R. (2013). The effect of street trees and amenity grass on urban surface water runoff in Manchester, UK. *Urban Forestry & Urban Greening*, 12(3), 282-286. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2013.04.001>.
4. Bohn, V. Y., & Campo, A. M. (2010). Estimación de escurrimientos superficiales para cuencas no aforadas en Corrientes, Argentina. 12.
5. Delgado, M. I. (2013). Tendencia de cambio espacio—Temporal del escurrimiento superficial. 2, 11.
6. Flores-López, H. E., Ramírez-Vega, H., Byerly-Murphy, K. F., Ruiz-Corral, J. A., Martínez-Sifuentes, J. A., & Díaz-Mederos, P. (2003). Estimación de escurrimiento superficial en la cuenca el Jihuitle, México. 13.
7. Francisco-Nicolás, N., Turrent-Fernández, A., Flores-López, H. E., & Martínez-Menes, M. R. (2010). Estimación del escurrimiento superficial con el método SCS-CN en el trópico subhúmedo de México. 8.
8. García, L. R., & Conesa, G. C. (2011). Estimación de caudales de avenidas y delimitación de áreas inundables mediante métodos hidrometeorológicos e hidráulicos y técnicas s.i.g., estudio aplicado al LITORAL SUR DE LA REGIÓN DE MURCIA. *Papeles de Geografía*, 17.

9. Parhi, P. K. (2013). HEC-RAS Model for Mannig's Roughness: A Case Study. *Open Journal of Modern Hydrology*, 03(03), 97-101. <https://doi.org/10.4236/ojmh.2013.33013>.
10. Revilla-Romero, B., Beck, H. E., Burek, P., Salamon, P., de Roo, A., & Thielen, J. (2015). Filling the gaps: Calibrating a rainfall-runoff model using satellite-derived surface water extent. *Remote Sensing of Environment*, 171, 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.10.022>.

FABRICACION DE PANELES ELABORADOS CON MATERIALES RECICLADOS

Rosales Nieto María de Lourdes¹, Lezama Álvarez Susana¹, Herrera Zúñiga Leonardo David², González García Julio¹.

¹ Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco. ² Tecnológico de Estudios Superiores de Huixquilucan.

Autor responsable: luinieto03@gmail.com

RESUMEN.

La eliminación de neumáticos a nivel mundial es un problema que parece no tener solución, en México se desechan 50 llantas por minuto. Según la Asociación Nacional de distribuidores de Llantas (Andellac) señalan varios indicadores de la magnitud del problema: el 90% de las llantas desechadas se encuentran en las calles, tiraderos clandestinos como cañadas, ríos y laderas de carreteras que se convierten en un factor generador de incendios y un problema de salud pública e impacto ambiental, el poliestireno expandido material plástico espumado compuesto en un 98% de aire, muy ligero y a la vez resistente, que además ofrece excelentes propiedades como aislante térmico y aislante acústico. Por tal motivo, se presenta una propuesta alternativa para la reutilización como refuerzo de materiales compuestos de matriz cerámica (concreto) en la elaboración de módulos prefabricados para la construcción. Es importante resaltar que los materiales compuestos presentan ventajas de combinación de propiedades mecánicas y físicas en general con respecto a los materiales tradicionales. En este caso la propuesta está enfocada a la evaluación de la resistencia a la compresión, flexión, pruebas térmicas y de intemperismo, con la finalidad de garantizar confortabilidad y buena ocupación en el espacio y tiempo de vida útil tanto en interiores como en exteriores, así como facilitar a través de un sistema constructivo bien definido la colocación. Es posible disminuir la masa por unidad de superficie para obtener un panel de concreto aligerado por medio de la obtención de una mezcla homogénea con la integración de residuos molidos. Para cumplir con los objetivos planteados se realizó una caracterización de los agregados fino y grueso; el diseño de mezclas de concreto para una resistencia de 100 kg/cm². Se fabricaron tres tipos de mezclas, primera con el 20% de caucho triturado de 2.38 mm y 80% de arena, segunda de 20% de caucho de 1mm y 80% perlas de poliestireno y tercera de 20% de caucho triturado de 1mm y 80% de perlas de poliestireno. A cada una de las mezclas en estado endurecido se midieron resistencia a la compresión en cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de alto para edades 7, 14 y 28 días. El porcentaje óptimo de caucho reciclado para lograr la resistencia máxima a la compresión del concreto (100 Kg/cm²) es del 20% de caucho de 1mm y 80 % de perlas de poliestireno a los 28 días, además contribuye a disminuir los efectos negativos que generan en el medio ambiente. El caucho de llantas de desecho se presenta como una excelente alternativa de agregado en la preparación de concreto, y puede usarse en muros divisorios donde no manejen ninguna carga estructural.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se están analizando alternativas de solución, al desarrollar un panel divisorio con residuos sólidos urbanos que generamos, integrando la construcción para minimizar el grave impacto ambiental. Una alternativa interesante desde el punto de vista económico y medioambiental es el uso de fibras recicladas de neumáticos fuera de uso mezcladas con cemento portland, arena y agua, con el fin de implementar un nuevo sistema constructivo que fortalezca un uso sostenible cubriendo las necesidades actuales de la sociedad.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México existe un problema ocasionado por la generación y acumulación de residuos sólidos Urbanos (RSU), La falta de espacios para depositarla como la insuficiente capacidad de los municipios para manejarla. Se calcula que cada año son desechados 32 millones de neumáticos, de los cuales sólo 10 por ciento se reciclan.

Los neumáticos son 70 por ciento caucho, lo que los hace prácticamente indestructibles. Millones van a dar a tiraderos irregulares en los que son quemados, lo que provoca partículas contaminantes como monóxido y dióxido de carbono, que vulneran la calidad del aire.

JUSTIFICACION

En la actualidad en nuestro país los materiales que se utilizan con mayor frecuencia en la construcción son materiales tradicionales tales como: Estructura de mampostería, concreto, acero, block mortero, cemento, arena, tabique. Existe una resistencia en construir con materiales alternos como paneles ya disponibles en México. Que ayude a controlar el problema ecológico que implica la extracción de tierra y su cocción en grandes hornos ocasionando desertificación del suelo, contaminación atmosférica, Por otro lado, los neumáticos fuera de uso generan acumulación de residuos que tardan cientos de años en descomponerse, afectando negativamente el medio ambiente se acumulan en rellenos sanitarios o por su mala disposición contaminan el suelo y las fuentes hídricas. Para contrarrestar estos efectos se han propuesto alternativas como la reutilización de los polímeros para generar nuevos materiales como ladrillos ecológicos, maderas plásticas, entre otros. Inspirados en esta condición, muchos diseñadores han reutilizado materiales de desecho entre ellos el plástico como materia prima de sus proyectos.

HIPÓTESIS

La implementación de paneles elaborados con materiales reciclados permitirá un deterioro en el medio ambiente mediante la propuesta de un uso más de los residuos sólidos.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Diseñar un panel a base de materiales reciclados, permitiendo optimizar tiempos y calidad de producción, con el propósito de promoverlo para la industria de la construcción.

Objetivos específicos

- Elaborar un prototipo de panel en donde se pueda apreciar la estructuración interna y externa del panel.
- Describir el proceso de elaboración del panel, para convertir los materiales reciclados como elementos para la construcción.
- Presentar las posibles ventajas y limitaciones al utilizar panel reciclado en la industria de la construcción.
- Promover la construcción sostenible con el propósito de mitigar los impactos ambientales generados en las obras civiles.

PARTE EXPERIMENTAL

Para cumplir con los objetivos planteados se realizó diseño 3 mezclas de concreto, y una mezcla para concreto ligero con perlas de poliestireno con $f'c$ de 100 kg/cm² según fabricante styrencret, la primera mezcla de concreto con 20% de caucho de 2.38 mm y 80% de arena (M1), segunda concreto ligero con 20% de caucho de 2.38 mm y 80% de perlas de poliestireno (M2) y tercera concreto ligero con 20% de caucho de 1mm y 80% de perlas de poliestireno (M3). Para el diseño de todos los concretos, además de los agregados, se emplea cemento Portland comercial convencional, agua de red para consumo humano, el caucho reciclado triturado fue obtenido de neumáticos desechados en botaderos y talleres de mecánica, el cual se usó sin separación de textiles ni acero de su composición, ya endurecido se medirá la resistencia a la compresión en cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de alto para edades 7, 14 y 28 días.

Definidas las cantidades de los agregados cemento, arena, reciclados y agua, se continúa con la fase de mezclado. Se procede a mezclar la arena, (sustitutos que es el material reciclado), la arena y caucho, pasando de un lado a otro tantas veces sea necesario hasta obtener un color uniforme sin observar grumos, posteriormente se agrega perlas de poliestireno de acuerdo a la dosificación; y por último se agrega el agua poco a poco hasta obtener una mezcla homogénea. Figura 1.



Figura 1. Elaboración de la mezcla.

Preparación de los cilindros

Una vez que se ha llenado cada capa, se dan unos golpes con la varilla o con un martillo de caucho a las paredes de este, hasta que la superficie del concreto cambie de mate a brillante, con el objeto de eliminar las burbujas de aire que se hayan podido adherir al molde o hayan quedado embebidas en el concreto. Los cilindros recién confeccionados deben quedar en reposo, en sitio cubierto y protegidos de cualquier golpe o vibración y al día siguiente se les quita el molde cuidadosamente. Inmediatamente después de remover el molde, los cilindros deben ser sometidos a un proceso de curado en tanques de agua con cal, o en un cuarto de curado a 23°C, con el fin de evitar la evaporación del agua que contiene el cilindro, por la acción del aire o del sol, y en condiciones estables de temperatura para que el desarrollo de resistencia se lleve a cabo en condiciones constantes a través del tiempo. En estas condiciones los cilindros deben permanecer hasta el del ensayo. Por último, se realizarán las pruebas físicas y mecánicas se especifican a continuación.



Figura 2. Llenado de los cilindros.

Densidad

La densidad es una propiedad que nos permite medir la ligereza o pesadez de todas las sustancias. Cuanto mayor sea la densidad de un cuerpo, más pesado nos parecerá.

Su unidad en el Sistema Internacional es kilogramo por metro cúbico (kg/m^3), aunque frecuentemente también es expresada en g/cm^3 o g/ml para líquidos y sólidos y la densidad para gases en g/L .



Figura 3. Pesaje de cilindros.

Adsorción de agua

Norma Mexicana NMX-C-037-ONNCCE-2013. Establece el método para determinar la cantidad de agua adsorbida al sumergirse completamente en agua por un largo periodo (absorción total); así como la cantidad de agua que absorben por capilaridad al sumergir una de sus caras por un periodo corto (absorción inicial).

Resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto se mide con una prensa que aplica carga sobre la superficie del cilindro). Generalmente esta superficie es áspera y no plana, lo cual puede conducir a concentraciones de esfuerzo que reducen considerablemente la resistencia real del concreto. Una falta de planicie de 0.25mm puede reducir a un tercio la resistencia. Para remediar esta situación, normalmente se hace un refrenado o cabeceado de las tapas del cilindro con materiales como yeso o mezclas compuestas de azufre, tal como se especifica en la norma ASTM C140, INTE 06-02-13. La resistencia a la compresión se acostumbra a dar en términos de esfuerzo o sea fuerza por unidad de área, en kg/cm^2



Figura 4. Prensa Hidráulica.



Figura 5. Colocado de cilindro ensayo Prensa Hidráulica.

Intemperismo

Esta Norma Mexicana NMX-C-075-ONNCCE-2006 establece el método de ensayo para la determinación de la sanidad de los agregados por medio de soluciones saturadas de sulfato de sodio o sulfato de magnesio. De los bloques de la M1 Y M2, se toma una muestra para obtener cubos de 5x5 cm para ser sometidas a prueba de resistencia a congelamiento – deshielo según norma NMX-C-205 ONNCCE.



Figura 6. Mezclas en congelamiento.



Figura 7. Mezclas en deshielo.

RESULTADOS

A continuación, presentamos cada uno de los resultados obtenidos en la ejecución de las actividades definidas en la metodología de trabajo. El diseño de la mezcla de concreto se realizó de acuerdo a las indicaciones del fabricante cemento Portland comercial convencional y siguiendo el procedimiento ACI, con $f'c$ de 200 kg/cm^2 , Tabla 1, y diseño de concreto ligero con perlas de poliestireno con $f'c$ de 100 kg/cm^2 según fabricante styrencret se indica en la tabla 2. La primera mezcla se ajustó a $f'c$ de 200 kg/cm^2 , para obtener mejor resistencia en un concreto endurecido.

material para 1 m^3

cemento	450 kg	
arena	532 kg	
grava	627 kg	sustituido x arena y 20 % caucho de 2.38mm
agua	209 lts	

Tabla 1. Diseño de mezcla para 200 kg/cm^2 con caucho de 2.38mm

material para 1 m^3		mezcla	mezcla 2-3
styrencret (lt)	550.00	16.50	13.20
cemento kg/m^3	600.00	18.00	18.00
arena lt/m^3	685.00	20.55	20.55
agua lt/m^3	235.00	7.05	7.05
caucho lt/m^3	0.00	0	3.30

Tabla 2. Diseño de mezcla para 100 kg/cm^2 con caucho y perlas de poliestireno

Los ensayos de las muestras en estado endurecido se muestran en la tabla 3, tabla 4 y tabla 5 figura 3, figura 4 y figura 5 en cilindros de 100 mm de diámetro y 200 mm de alto.

MEZCLA 1 M-1

Agregados 20% CAUCHO 2.38 mm sustituido por arena					
N° cilindro	peso	área	compresión	f'c	
1	3.160	78.5	5000	63.69	kg/cm ²
2	3.160	78.5	5500	70.06	kg/cm ²
3	3.100	78.5	5600	71.34	kg/cm ²
				68.37	kg/cm ²

Tabla 3. Resistencia compresión en estado endurecido a los 28 días.

MEZCLA 2 M-2

Agregados 20% CAUCHO 2.38 mm sustituido por perlas poliestireno					
N° cilindro	peso	área	compresión	f'c	
1	2.619	78.5	9000	114.65	kg/cm ²
2	2.619	78.5	9200	117.20	kg/cm ²
3	2.627	78.5	9300	118.47	kg/cm ²
				116.77	kg/cm ²

Tabla 4. Resistencia compresión en estado endurecido a los 28 días.

MEZCLA 3 M-3

Agregados 20% CAUCHO 1 mm sustituido por perlas poliestireno					
N° cilindro	peso	área	compresión	f'c	
1	2.473	78.5	8500	108.28	kg/cm ²
2	2.475	78.5	8600	109.55	kg/cm ²
3	2.468	78.5	8550	108.92	kg/cm ²
				108.92	kg/cm ²

Tabla 5. Resistencia compresión en estado endurecido a los 28 días.

MEZCLAS	RESISTENCIA A LA COMPRESION (Kg/cm ²)
	28d
CN	110
M-1	68.37
M-2	107.43
M-3	102.76

Tabla 6. Resistencia a la compresión por tipo mezcla a los 28 días.

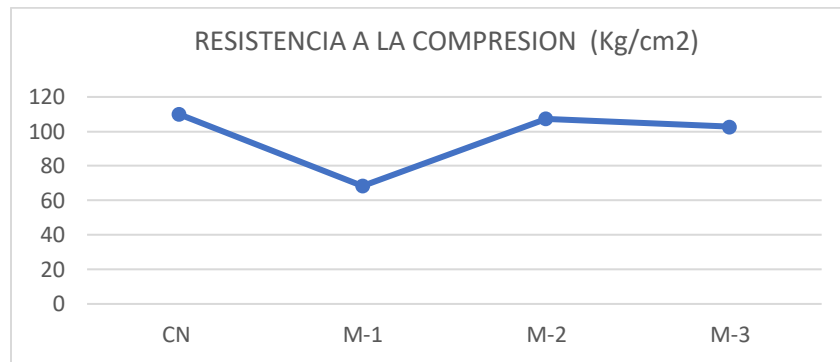


Figura 8. Resistencia a la compresión por tipo mezcla a los 28 días.

Resistencia a la compresión

Las mediciones de resistencia a la compresión, en tabla 6, nos muestran que únicamente la mezcla 2 y mezcla 3 logran la resistencia esperada en edad de madurez normal de 28 días, que supera la resistencia de estudio, se nota que las partículas de caucho 2.38 hay un incremento mínimo.

Ciclos de congelamiento- deshielo

Se completaron 30 ciclos de congelamiento- deshielo (C/D), se nota desprendimiento de partículas de matriz cementante y de caucho dejando huecos y una textura un poco áspera evidenciando el deterioro de la pasta que recubre las partículas de agregado fino y de caucho en el fondo del agua con la que se descongelan (deshielo), la M1, M2 y M3 se observan los desprendimientos de cemento arena y caucho que se han desprendido a causa de la tensión o mejor dicho superando la resistencia a la tensión de la pasta a los agregados pétreos, derivados de la presión osmótica que produce cuando el agua se congela y se expande en volumen un 9% aproximadamente.

En las aristas en donde la pasta cementante tiene un acabado mas liso y en donde no se encuentra expuestas las partículas de arena y caucho no se observan tan alteradas por el proceso de C/D.



Figura 9. Muestras de C/D 30 ciclos

CONCLUSIONES.

Para lograr la resistencia 100 kg/cm² a la compresión del concreto con caucho reciclado, es del 20% de 2.38 mm y perlas de poliestireno a los 28 días, además contribuye a disminuir los efectos negativos que generan los desechos de caucho en el medio ambiente. En los cubos los efectos causados por estar expuestos a ciclos de C/D, son de menor grado, se deduce que se debe al acabado final de las aristas (acabado fino), por lo que el daño que presenta es más superficial. El caucho de llantas de desecho se presenta como una excelente alternativa de agregado en la preparación de concreto, y puede usarse en construcciones donde no se han muros de carga solo dividan un espacio.

BIBLIOGRAFIA

1. C. Buratti, E. Belloni, E. Lascaro , F. Merli a, P. Ricciardi. Paneles de cáscara de arroz para aplicaciones de construcción: térmica, acústica y Caracterización ambiental y comparación con otras innovadoras. materiales de desecho reciclados. *Construction and Building Materials* 171 (2018) 338–349.
2. Giancarlo Grolia, y Alejandro Pérez Caldenteyb. Mejora de la sostenibilidad y el comportamiento en servicio de estructuras de hormigón mediante el uso de fibras metálicas recicladas. *Hormigón y Acero* 2017.
3. Normatividad ASTM

Agradecimientos: COMECyT, TECNM y TESH

ELABORACIÓN DE UNA FÓRMULA CON PRODUCTOS NATURALES PARA DISMINUIR LA RESEQUEZAD EN LA PIEL

Rubí Alcalá González¹, Ivan Emmanuel García Moreno², Dhamar Joselin Martínez Sánchez², Rosa María Alarcón Alemán², Sofía López Salazar² y Perla Mayara Alcalá González¹.

¹Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera, ²Alumnos del Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de la Región Carbonífera.
9617@rcarbonifera.tecnm.mx

RESUMEN

La siguiente investigación describe la elaboración de una fórmula, presentada en un bálsamo con ingredientes naturales para la disminución de la resequead en la piel de las personas, la investigación se centra en la medición del pH obtenido en cada prueba como variable de salida. Su objetivo es determinar las variables óptimas para la elaboración de un bálsamo corporal hecho con ingredientes completamente naturales que tenga un pH saludable y ayude a hidratar la piel. Las variables de entrada son los ingredientes seleccionados, los cuales son: cera de abeja, aceite de coco, aceite de oliva y manteca de cacao; así como las condiciones óptimas de otros factores que se tomaron en cuenta para realizar la experimentación como lo son: temperatura de elaboración y tiempo de los ingredientes bajo el calor. La hipótesis de la investigación a resolver fue: "el nivel de potencial de hidrógeno (pH) de la formula depende de la combinación de los ingredientes" que, al ser evaluada mediante el análisis de datos pudo responder a la pregunta de investigación, ¿Cuáles serán las condiciones óptimas de los ingredientes para lograr un pH saludable para la piel?, Lo anterior llevado a cabo mediante estudios de estadística inferencial, como lo es el diseño de experimentos de la metodología del doctor Genichi Taguchi (L_82^7), análisis de varianza, además un estudio de repetibilidad y reproducibilidad del sistema de medición. Mediante el diseño de experimentos obtuvimos las condiciones óptimas para lograr un pH dentro del rango recomendado en un producto para el cuidado de la piel, entre 4.5 y 6, con la finalidad de que la piel pueda ajustarse rápidamente a su pH estándar, después de cada aplicación. Las condiciones óptimas para una porción de la formula son: 5 gramos de cera de abeja, 5 gramos de aceite de coco, 5 mililitros de aceite de oliva y 5 gramos de manteca de cacao, siendo estos preparados bajo una temperatura alta por un lapso sobre el fuego de 1 minuto; como resultado de esta fórmula se obtendrá un pH de 5.61, la cual está dentro del rango recomendado para productos para el cuidado de la piel. De los datos obtenidos en el análisis de varianza utilizando un modelo lineal general con un 95% de confianza, se revelo que los factores B (aceite de coco), D (manteca de cacao) y F (tiempo sobre el fuego), no afectan a la variación de la media, por lo tanto, no afectan la variable respuesta, grado de pH, en la formula. Mientras tanto, los factores A (cera de abeja), C (aceite de oliva) y E (temperatura) si afectan a la variación de la media y por lo tanto al pH de la fórmula. Con esta fórmula apoyamos la evolución favorable para el medio ambiente con un producto 100% elaborado con ingredientes naturales, así como aporta un beneficio para la piel ya que un equilibrio saludable de pH ayuda a que se produzca un manto acido que actúa como película natural de la piel, lubricándola y protegiéndola de las bacterias e irritación y previene los problemas de resequead en la piel.

INTRODUCCIÓN

La siguiente investigación describe la elaboración de una fórmula específica natural para la disminución de la resequead en la piel de las personas aplicada en un bálsamo. Se realizo dicha investigación ya que se considera de gran importancia conocer una fórmula idónea que ayude al control del pH para combatir la resequead de la piel en el ser humano, con el fin de tener un impacto en la sociedad actual puesto que la resequead en la piel es un problema que ha atacado a la humanidad desde mucho tiempo atrás, queremos lograr con ello generar un cambio de vida para las personas, es decir, que puedan notar cambios en sí mismos y sentir los beneficios que un piel hidratada mediante el pH equilibrado que puede ser concebido en la piel, todo esto por medio de un producto natural.

En esta investigación se estudiaron individualmente los ingredientes utilizados, cera de abeja, aceite de coco, aceite de oliva y manteca de cacao, para la elaboración del bálsamo. Esto es relevante para obtener un producto de calidad, teniendo al mismo tiempo, un control total de la información recabada

sobre cada insumo. Al realizar una exhausta investigación obtuvimos un documento completo plasmando en él la información necesaria para responder a nuestra pregunta de investigación.

Se diseñó una metodología específicamente para lograr el análisis de la hipótesis de la investigación que es: “el nivel de potencial de hidrógeno (pH) de la fórmula depende de la combinación de los ingredientes” que, al ser evaluada mediante el análisis de datos pudo responder a la pregunta de investigación, ¿Cuáles serán las condiciones óptimas de los ingredientes para lograr un pH saludable para la piel?

TEORIA

Tomamos como objetivo el poder aprovechar las propiedades hidratantes que contienen la cera de abeja, el aceite de oliva, el aceite de coco y la manteca de cacao para la hidratación en la piel. En la actualidad el cuidado de la piel es un factor básico que el ser humano debe tener en cuenta en su vida diaria, lo cierto es que la variedad de bálsamos que hay en el mercado contienen una gran cantidad de químicos que a su vez dañan la piel en lugar de repararla pues cabe destacar que los químicos desequilibran el nivel de pH y esto provoca que se comience a tener la piel demasiado roja, demasiado seca, con comezón, muy escamosa, demasiado grasa, o algo similar, debido a que no existe un equilibrio en el pH de la piel. Cuando un pH es demasiado alcalino provoca resequeidad y disminución de la hidratación en la piel, lo que provoca erupciones de eccema y potencialmente resalta los signos de envejecimiento (como líneas finas de expresión y arrugas), y si el pH es más ácido de lo normal, la piel se enrojecerá e inflamará con mayor facilidad (Eucerin, s.f.). Es por ello por lo que es de gran importancia conocer el producto y los beneficios o consecuencias que aporta pues, aunque sea un bálsamo destinado al cuidado de la piel, si no se hace una correcta investigación, podría ser todo lo contrario debido a otras posibles propiedades de los ingredientes. Para ofrecer un producto que atacara esta problemática decidimos realizar un bálsamo hecho con materiales 100% naturales que brinden mayor estabilidad en el pH y por lo tanto generan beneficios únicos y reales para piel.

La cera de abeja tiene múltiples propiedades nutritivas; nutre y humecta la piel, los productos con cera suavizan la piel por esta razón se usa en protectores labiales y crema, previene el envejecimiento del cutis, tiene propiedades emolientes y antiinflamatorias, se puede emplear a fin de eliminar impurezas y proporcionar una textura suave y brillante en la dermis y además resulta sumamente efectiva como protector labial y pieles expuestas a entornos hostiles.

Por otro lado, el aceite de oliva es uno de los hidratantes naturales más efectivos. Ayuda a potenciar la hidratación de la piel y a combatir la sequedad, tiene una alta capacidad de reparar los tejidos dañados de la piel, por lo que ayuda a tratar muchas patologías de la piel, es sumamente recomendable para curar heridas, marcas o cicatrices, también el aceite de oliva es una magnífica alternativa para luchar contra el envejecimiento prematuro, permitiendo mantener la elasticidad natural de la piel y que esta luzca suave

El aceite de coco posee ácido láurico, vitamina E y K, una combinación de ingredientes ideales que humectan los tejidos de la piel en profundidad, favorecen la regeneración celular de la misma y le proporcionan suavidad. También, otra de las grandes propiedades del aceite de coco es que preserva el colágeno y elastina en la piel, lo que lo convierte en un producto magnífico para prevenir el envejecimiento, la formación de líneas de expresión y arrugas. Además, el aceite de coco virgen podría ser útil en el tratamiento de trastornos de la piel, como la dermatitis atópica y el eczema y en las enfermedades causadas por una disfunción en la piel para hacer frente a irritantes (Guajardo, 2019).

La manteca de cacao es un ingrediente excelente para el cuidado de la piel debido a sus nutrientes y a sus ácidos grasos esenciales para evitar la sequedad. Es una gran fuente de antioxidantes naturales. La manteca de cacao es un emoliente, lo que significa que agrega una capa protectora de hidratación para la piel, útil para bloquear los efectos de las temperaturas muy frías, el daño solar o el calor en interiores, que pueden dejar la piel seca. Cabe destacar que también ayuda a tratar determinadas enfermedades de la piel, como los eccemas, psoriasis o la dermatitis (Denatural, 2019).

La falta de hidratación en la piel es un problema actual con el que lidian muchas personas día con día puesto que quizá no se dan cuenta que algo anda mal con su piel hasta que aparecen manchas, piel seca, ardor, etc., puede ser que la falta de atención se deba a los pocos resultados que se han

tenido con los productos actuales en el mercado, a que los costos de los bálsamos son elevados, a que los productos existentes dañan más la piel o simplemente no se le da mucha importancia. Debido a esta problemática surgió la idea de crear un bálsamo para el cuidado de la piel que aportara muchos beneficios tales como suavidad, hidratación, brillo, etc., se decidió la realización de este proyecto analizando las variables de entrada como son, cera de abeja, aceite de coco, aceite de oliva y manteca de cacao, temperatura de elaboración y tiempo de los ingredientes y medir la variable de respuesta en este caso el pH.

PARTE EXPERIMENTAL

Una vez planeados todos los pasos y aspectos involucrados para la experimentación de los ingredientes, se procedió a la elaboración del diseño del experimento. Se iniciaron las pruebas y réplicas determinadas para después recopilar los datos cuantitativos; posteriormente, se realizó el análisis de datos mediante el software Minitab. Para esta investigación el análisis requiere la comprobación de la siguiente hipótesis: “el nivel de potencial de hidrógeno (pH) de la fórmula depende de la interacción entre los factores”. Los datos recogidos por sí solos no aportan ningún resultado a la investigación por lo que fue necesario analizarlos e interpretarlos para que podamos obtener descubrimientos relevantes en la investigación; es por esto por lo que, de acuerdo con los resultados de los análisis estadísticos arrojados por el software, se determinaron las condiciones y cantidades óptimas para lograr los resultados esperados, en este caso se tiene una característica de calidad de nominal es mejor.

Diseño de experimentos

El diseño de experimentos o DOE (Design of Experiments por sus siglas en inglés), es una herramienta estadística que se basa en una serie de experimentos para obtener información y en base a esa información obtenida tomar las mejores decisiones. Esta herramienta es comúnmente usada en las organizaciones para mejorar, optimizar o encontrar la mejor relación entre los factores que intervienen en un proceso y de esta manera obtener la mayor rentabilidad de sus procesos. (Marmolejo, 2020)

Pasos para la experimentación

1. Definición del problema. Se realizó el diseño y el análisis de experimentos sobre la elaboración de una fórmula que ayude a tratar la sequedad de la piel y se establecieron distintos factores que se piensa pueden afectar el grado de pH de la fórmula.
2. Se selecciono la variable de respuesta, el pH, que es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es determinado en una escala que va de 0 a 14, cuánto más alto es el valor de pH, más alcalino o “básico” es el producto, y cuanto más bajo, más ácido es. Debido a que nuestra piel está compuesta principalmente de agua, es afectada por los cambios de pH producidos por las sustancias que entran en contacto con ella. Lo adecuado es usar productos para el cuidado de la piel que tengan el pH entre 4.5 y 6 para que la piel pueda ajustarse rápidamente después de cada aplicación (Cristobal, 2018)

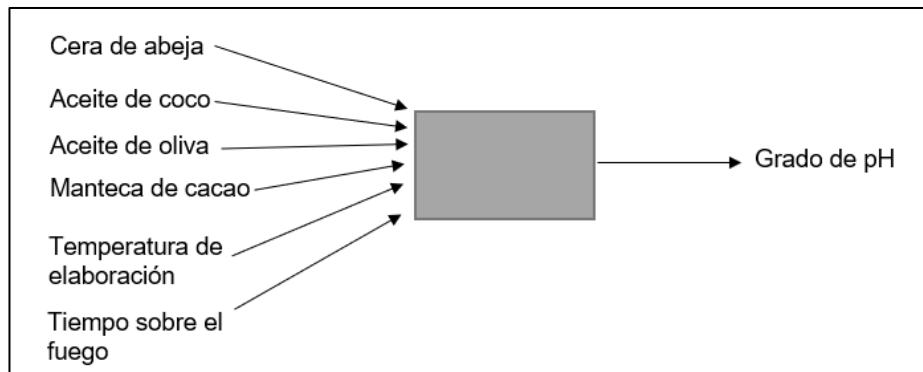


Figura 1. Variables de entrada y de salida

3. Verificación del estado de las máquinas en donde se va a experimentar, en este caso

específico no se requieren maquinas complejas, fuente de calor, una báscula y el medidor de pH

- o Medidor de pH

Se utilizo un Medidor de laboratorio portátil de pH, conductividad y temperatura de la marca CONDUCTRONIC. Este modelo del instrumento cuenta con un rango de medición de pH de 2.00 a 16.00 y una precisión de medición de ± 0.02 unidades. Véase en la figura 2.



Figura 2: Instrumento de medición para pH utilizado

- o Báscula

Se utilizo una báscula capaz de determinar el peso de los ingredientes en gramos.

4. Verificación de capacidad y estabilidad de los instrumentos de medición. Se realizó un estudio de repetitividad y reproducibilidad (R&R) para verificar si los métodos de medición son adecuados. Los datos obtenidos se encuentran en el apartado de Resultados.
5. Selección de la variable a analizar y sus niveles. A continuación, se muestra la tabla 1 de los factores y sus niveles.

CODIGO	FACTOR	NIVEL1	NIVEL 2
A	Cera de abeja	5 gramos	10 gramos
B	Aceite de coco	5 gramos	10 gramos
C	Aceite de oliva	5 mililitros	10 mililitros
D	Manteca de cacao	5 gramos	10 gramos
E	Temperatura	Baja	Alta
F	Tiempo sobre el fuego	1 minutos	3 minutos

Tabla 1: Tabla de factores y niveles

6. Determinación del tipo de diseño a usar y el número de replicas. El diseño de experimentos que se realizó fue un arreglo ortogonal L_{82^7} como se muestra en la tabla 2 con la metodología Taguchi, se eligió este arreglo ya que es el que se adapta a los factores que se planean ser estudiados. Se realizaron dos réplicas del experimento debido a las limitaciones de insumos como consecuencia por la pandemia actual.

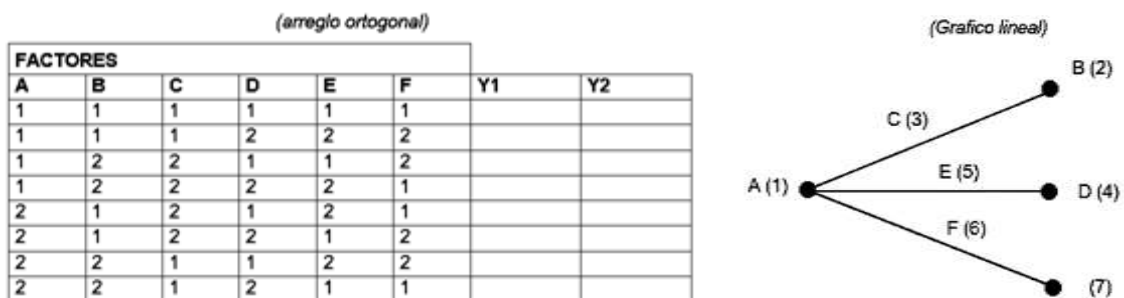


Tabla 2. Arreglo ortogonal $L_8 2^7$

7. Realización de las pruebas según el arreglo ortogonal.

PRUEBA	CERA DE ABEJA	ACEITE DE COCO	ACEITE DE OLIVA	MANTECA DE CACAO	TEMPERATURA	TIEMPO SOBRE EL FUEGO	Y1	Y2
1	5 gramos	5 gramos	5 mililitros	5 gramos	baja	1 minuto	5.29	5.26
2	5 gamos	5 gramos	5 mililitros	10 gramos	alta	3 minutos	4.75	5.36
3	5 gramos	10 gramos	10 mililitros	5 gramos	baja	3 minnutos	4.54	4.47
4	5 gramos	10 gramos	10 mililitros	10 gramos	alta	1 minuto	5.07	4.85
5	10 gramos	5 gramos	10 mililitros	5 gramos	alta	1 minuto	4.89	4.75
6	10 gamos	5 gamos	10 mililitros	10 gramos	baja	3 minutos	4.29	3.92
7	10 gramos	10 gramos	5 mililrios	5 gramos	alta	3 minutos	5.16	5.02
8	10 gramos	10 gramos	5 mililitros	10 gramos	baja	1 minuto	3.94	4.69

Tabla 3. Pruebas en el arreglo ortogonal

Procedimiento de elaboración. El procedimiento de elaboración es el mismo para todas las pruebas. A continuación, se describe el proceso de elaboración.

Procedimiento

1. Pesar o medir los ingredientes individualmente según lo indica el arreglo ortogonal.
2. Agregar los ingredientes en un recipiente que pueda tener contacto directo con la fuente de calor.
3. Colocar el recipiente con los ingredientes bajo la fuente de calor.
4. Agitar constantemente hasta lograr una mezcla homogénea y verificando no exceder el tiempo establecido por el arreglo ortogonal.
5. Retirar el recipiente de la fuente de calor y vaciar la sustancia en otro recipiente para conservarlo.
8. Análisis de los resultados. Una vez que se realizaron todas las pruebas y replicas correspondientes, Se comprueba estadísticamente cada factor mediante un análisis de varianza para determinar si estos afectan a la variable de salida. Los modelos factoriales de análisis de varianza son ampliamente utilizados como estrategia de análisis de datos en muy diversas áreas de conocimiento. Entre las ventajas que justifican el uso tan extendido de estos modelos, quizá la más destacable sea que ofrecen la posibilidad de estudiar el efecto de la interacción entre factores. Los datos obtenidos y análisis realizados se encuentran en el apartado de Resultados.
9. Conclusiones sobre el experimento (Vazquez, 2008).

RESULTADOS

Resultados de verificación del estado de las máquinas en donde se va a experimentar, en este caso específico no se requieren maquinas complejas, fuente de calor, una báscula y el medidor de pH

Análisis R&R para instrumento de medición de pH

Se realizó un estudio de repetitividad y reproducibilidad (R&R) para verificar si el método de medición del pH es adecuado.

En la figura 2 se muestran los pasos para recopilar los datos se seleccionaron 5 sustancias diferentes y se colocaron en unos vasos para poder hacer la medición.

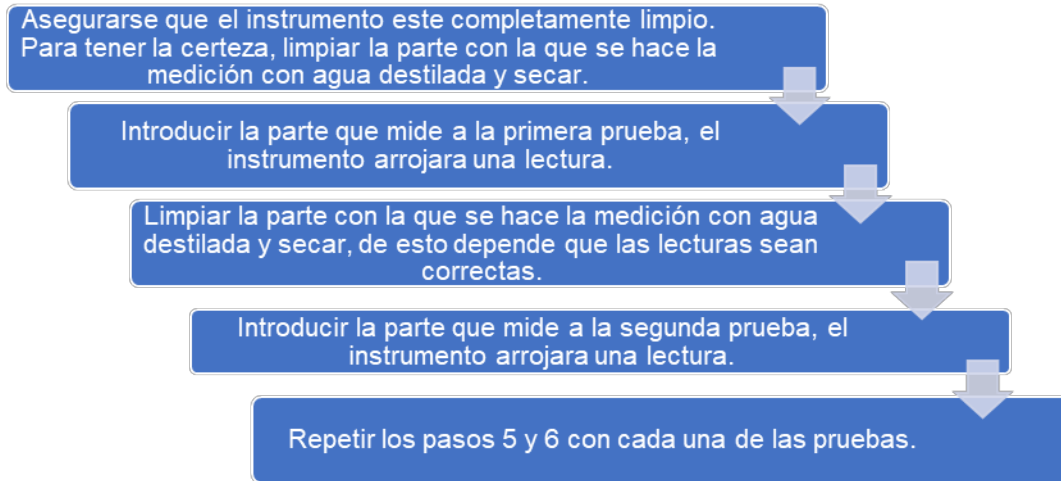


Figura 2: Pasos para la recopilación de datos

Los resultados de la recopilación para el análisis R&R del instrumento para medir el pH se muestran en la tabla 4 y 5

Prueba	Mediciones			
	Operador 1		Operador 2	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
1	7.80	7.80	7.80	7.80
2	2	2	2	2
3	6.89	6.89	6.89	6.89
4	7.83	7.83	7.83	7.83
5	5.23	5.23	5.23	5.23

Tabla 4: Datos recopilados para análisis R&R del medidor del pH

- Análisis en MINITAB

Operador	Parte	Medición
1	1	7.8
1	2	2
1	3	6.89
1	4	7.83
1	5	5.23
1	1	7.8
1	2	2
1	3	6.89
1	4	7.83
1	5	5.23
2	1	7.8
2	2	2
2	3	6.89
2	4	7.83
2	5	5.23
2	1	7.8
2	2	2
2	3	6.89
2	4	7.83
2	5	5.23

Componentes de la varianza		
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0	0
Repetibilidad	0	0
Reproducibilidad	0	0
Operador	0	0
Parte a parte	5.99035	100
Variación total	5.99035	100

Evaluación del sistema de medición			
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. Estudio (6 × DE)	%Var. estudio (%VE)
Gage R&R total	0	0	0
Repetibilidad	0	0	0
Reproducibilidad	0	0	0
Operador	0	0	0
Parte a parte	2.44752	14.6851	100
Variación total	2.44752	14.6851	100

Tabla 5: Datos recopilados para análisis R&R del medidor del pH

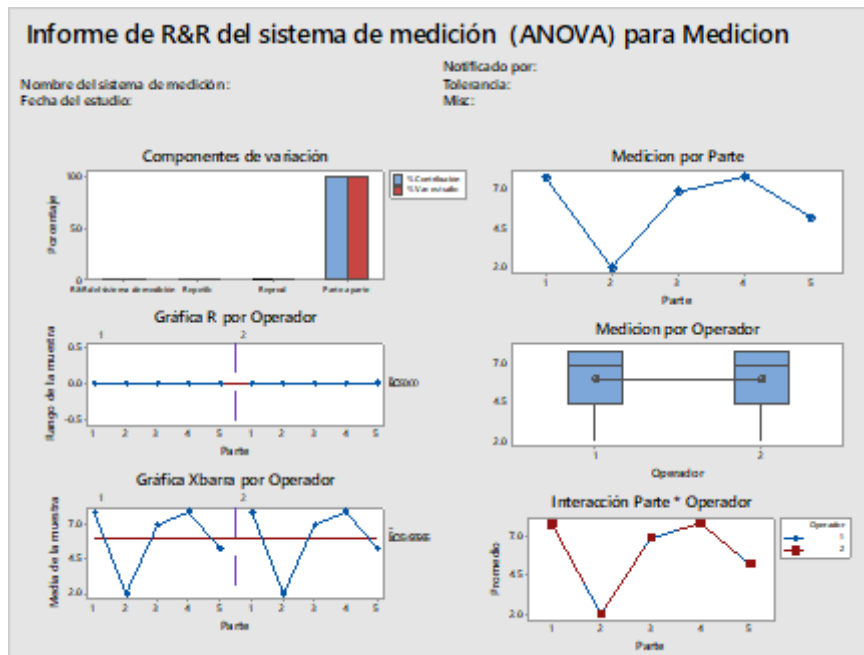


Figura 3 Gráficas de análisis R&R del medidor del pH

Análisis R&R para instrumento de medición de peso de los ingredientes

Se realizó un estudio de repetitividad y reproducibilidad (R&R) para verificar si el método de medición del pesaje de los ingredientes es adecuado. La figura 4 muestra los pasos

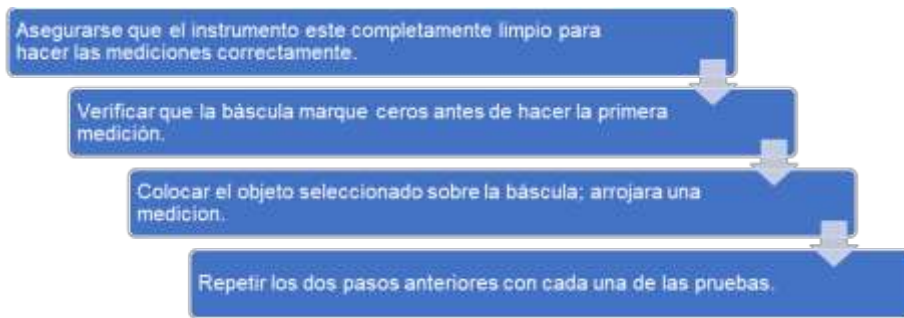


Figura 4: Pasos para la recopilación de datos para el análisis R&R

El proceso de recopilación de datos fue simple se pesaron 5 objetos, dos operadores que harán las mediciones, dos replicas por cada medición y una báscula que mide gramos; todo para comprobar la repetitividad y reproducibilidad del método. Los resultados se pueden observar en la tabla 6.

Prueba	Mediciones			
	Operador 1		Operador 2	
	Replica 1	Replica 2	Replica 1	Replica 2
1	8	8	8	8
2	11	11	11	11
3	5	5	5	5
4	11	11	11	11
5	78	78	78	78

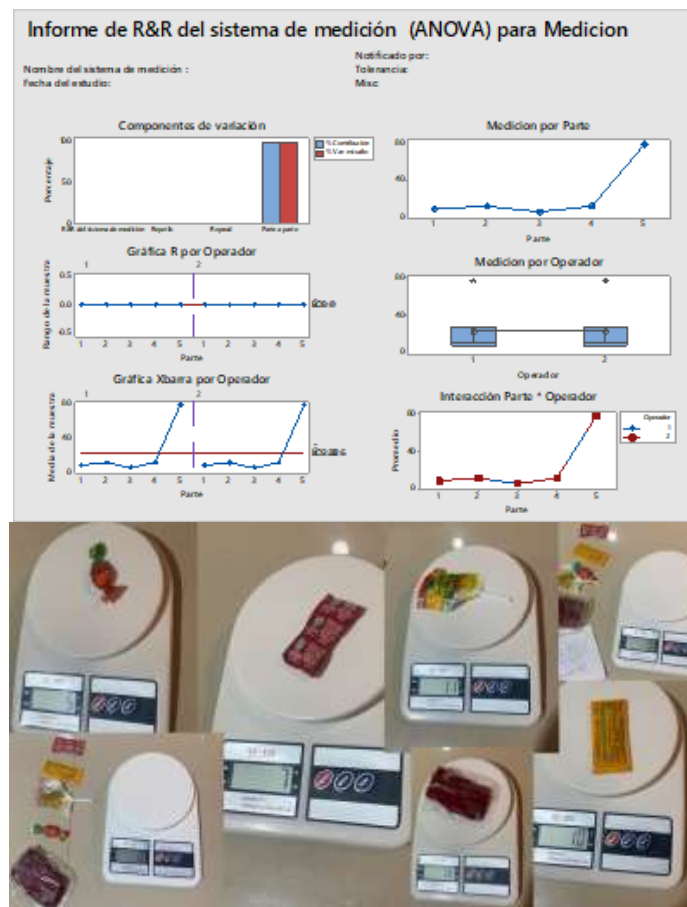
Tabla 6. Datos recopilados para el análisis R&R para la báscula

Operador	Parte	Medición
1	1	8
1	2	11
1	3	5
1	4	11
1	5	78
1	1	8
1	2	11
1	3	5
1	4	11
1	5	78
2	1	8
2	2	11
2	3	5
2	4	11
2	5	78
2	1	8
2	2	11
2	3	5
2	4	11
2	5	78

Componentes de la varianza		
Fuente	CompVar	%Contribución (de CompVar)
Gage R&R total	0	0
Repetibilidad	0	0
Reproducibilidad	0	0
Operador	0	0
Operador*Parte	0	0
Parte a parte	965.3	100
Variación total	965.3	100

Evaluación del sistema de medición			
Fuente	Desv.Est. (DE)	Var. Estudio (6 × DE)	%Var. Estudio (%VE)
Gage R&R total	0	0	0
Repetibilidad	0	0	0
Reproducibilidad	0	0	0
Operador	0	0	0
Operador*Parte	0	0	0
Parte a parte	31.0693	186.416	100
Variación total	31.0693	186.416	100

Tabla 7. Datos recopilados y resultados para análisis R&R de la báscula



Análisis estadístico R&R.

Según los análisis estadísticos R&R de los dos instrumentos utilizados, se prueba que los instrumentos de medición son adecuados. Según el estudio, no hay variabilidad en los sistemas de medición causada por los dispositivos de medición y los sistemas de medición son capaces de distinguir entre partes diferentes.

Una vez comprobado que los equipos de medición son adecuados se realizó la medición en cada una de las pruebas obtenidas en el diseño de experimentos realizadas de acuerdo con las condiciones establecidas por el arreglo ortogonal y los niveles determinados.

La recopilación de datos se realizó exactamente igual que los pasos anteriormente mencionados en el apartado "Análisis R&R para instrumento de medición de pH".

Resultados del análisis del diseño de experimentos sobre la elaboración de una fórmula que ayude a tratar la sequedad de la piel se seleccionó la variable de respuesta, el pH, que es la unidad de medida que describe el grado de acidez o alcalinidad y es determinado en una escala que va de 0 a 14, cuánto más alto es el valor de pH, más alcalino o "básico" es el producto, y cuanto más bajo, más ácido es, lo adecuado es usar productos para el cuidado de la piel que tengan el pH entre 4.5 y 6 para que la piel pueda ajustarse rápidamente después de cada aplicación, se establecieron distintos factores que se piensa pueden afectar el grado de pH de la fórmula.

Resultado: Como se observa en la tabla 9 de respuestas y en la figura 6 gráfica de respuestas para medias, las condiciones óptimas son $A_1 B_1 C_1 D_1 E_2 F_1$, que son 5 gramos de cera de abeja, 5 gramos de aceite de coco, 5 mililitros de aceite de oliva y 5 gramos de manteca de cacao, siendo estos preparados bajo una temperatura alta por un lapso sobre el fuego de 1 minuto. Los resultados obtenidos del software MINITAB al realizar nuevamente la fórmula con las condiciones óptimas se obtiene un pH de 5.61.

- Arreglo ortogonal

A	B	C	D	E	F	Y1	Y2
1	1	1	1	1	1	5.29	5.26
1	1	1	2	2	2	4.75	5.36
1	2	2	1	1	2	4.54	4.47
1	2	2	2	2	1	5.07	4.85
2	1	2	1	2	1	4.89	4.75
2	1	2	2	1	2	4.29	3.92
2	2	1	1	2	2	5.16	5.02
2	2	1	2	1	1	3.94	4.69

Tabla 8: Arreglo ortogonal para análisis en MINITAB

- Tabla de respuestas medias.

Tabla de respuesta para medias						
Nivel	A	B	C	D	E	F
1	4.949	4.814	4.934	4.923	4.55	4.843
2	4.583	4.718	4.598	4.609	4.981	4.689

Tabla 9: Tabla de respuestas para medias

- Grafica de respuestas para medias.

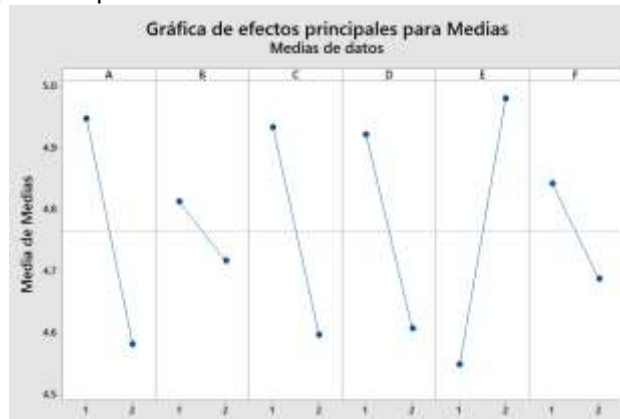


Figura 6: Gráfica de respuestas para medias

Resultado: Como se puede observar en la tabla 10 y 11, de los datos obtenidos en el análisis de varianza utilizando un modelo lineal general con un 95% de confianza y con $F_{.05} (1,9) = 5.12$, se observó que los factores B (aceite de coco), D (manteca de cacao) y F (tiempo sobre el fuego), no afectan a la variación de la media, por lo tanto, no afectan la variable respuesta, grado de pH, en la fórmula. Mientras tanto, los factores A (cera de abeja), C (aceite de oliva) y E (temperatura) si afectan a la variación de la media y por lo tanto al pH de la fórmula.

Análisis de Varianza					
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
A	1	0.53656	0.53656	6.73	0.029
B	1	0.03706	0.03706	0.46	0.513
C	1	0.45226	0.45226	5.67	0.041
D	1	0.39376	0.39376	4.94	0.053
E	1	0.74391	0.74391	9.33	0.014
F	1	0.09456	0.09456	1.19	0.304
Error	9	0.71751	0.07972		
Total	15	2.97559			

Tabla 10 Análisis de varianza

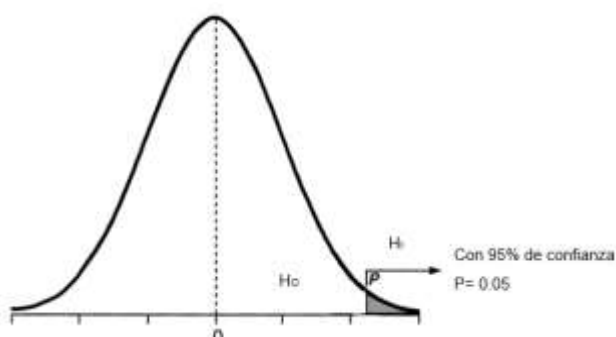


Figura 7: Gráfica para hacer la comparación con los valores de "p" dados por el ANOVA y tomar la decisión sobre la hipótesis

Criterio	Interpretación	Factor	Decisión
Hipótesis nula (H_0) = $\mu_1 = \mu_2$ Hipótesis alterna (H_1) = $\mu_1 \neq \mu_2$	H_0 : El ingrediente o factor afecta la variación de la media y por lo tanto la variable de respuesta que es el pH. H_1 : El ingrediente o factor no afecta la variación de la media y no afecta a la variable de respuesta que es el pH.	A	Se rechaza la hipótesis nula
		B	Se acepta la hipótesis nula
		C	Se rechaza la hipótesis nula
		D	Se acepta la hipótesis nula
		E	Se rechaza la hipótesis nula
		F	Se acepta la hipótesis nula

Tabla 11: Decisiones de hipótesis por factor.

CONCLUSIONES

De los datos obtenidos en el análisis de varianza utilizando un modelo lineal general con un 95% de confianza, se observó que los factores B (aceite de coco), D (manteca de cacao) y F (tiempo sobre el fuego), no afectan a la variación de la media, por lo tanto, no afectan la variable respuesta, grado de pH, en la fórmula. Mientras tanto, los factores A (cera de abeja), C (aceite de oliva) y E (temperatura) si afectan a la variación de la media y por lo tanto al pH de la fórmula.

Mediante el diseño de experimentos obtuvimos las condiciones óptimas para lograr un pH dentro del rango recomendado en un producto para el cuidado de la piel, entre 4.5 y 6 (Cristobal, 2018), con la finalidad de que la piel pueda ajustarse rápidamente a su pH estándar, después de cada aplicación. Las condiciones óptimas para una porción de la fórmula son: 5 gramos de cera de abeja,

5 gramos de aceite de coco, 5 mililitros de aceite de oliva y 5 gramos de manteca de cacao, siendo estos preparados bajo una temperatura alta por un lapso sobre el fuego de 1 minuto; como resultado de esta fórmula se obtendrá un pH de 5.61, la cual está dentro del rango recomendado para productos para el cuidado de la piel.

El estudio tiene un enfoque natural, propone una fórmula que combate la resequead en la piel mediante el equilibrio del pH con ingredientes naturales y mediante un proceso artesanal, es una alternativa a productos cosméticos para el cuidado de la piel que la mayoría de las veces no son completamente naturales. Respalamos nuestra idea debido a que nuestra piel está compuesta principalmente de agua y es afectada por los cambios de pH producidos por las sustancias que entran en contacto con ella ocasionando condiciones como la resequead en la piel, un equilibrio saludable de pH ayuda a que se produzca un manto ácido que actúa como película natural de la piel, lubricándola y protegiéndola de las bacterias e irritación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cristobal. (16 de Abril de 2018). *Instituto Europeo de Dermocosmética*. <https://www.institutodermocosmetica.com/el-ph-de-la-piel-y-de-los-cosmeticos/>
2. Denatural. (21 de Febrero de 2019). *Denatural*. <https://www.denatural.es/blog/beneficios-propiedades-manteca-cacao>
3. Eucerin. (s.f.). *Eucerin*. <https://int.eucerin.com/about-skin/basic-skin-knowledge/skins-ph>
4. Guajardo. (2019). *Los beneficios del aceite de coco para la piel que no conocias*. Queretaro : Natural Scent.
5. Marmolejo, J. (24 de Enero de 2020). *SPC Consulting Group*. <https://spcgroup.com.mx/los-5-pasos-para-desarrollar-un-diseno-de-experimentos-doe/>
6. Ramírez, C. (22 de Mayo de 2019). *El universal*. <https://www.eluniversal.com.mx/de-ultima/ingredientes-cosmeticos-que-danan-el-medio-ambiente>
7. Toche, N. (08 de Noviembre de 2018). *El economista*. <https://www.economista.com.mx/arteseideas/Problemas-de-la-piel-llevan-a-discriminacion-e-incapacidad-20181108-0114.html>
8. Vazquez, E. J. (2008). *Seis- Sigma: Metodología y Técnicas*. Mexico : Limusa.

OPERACIÓN Y FUNCIONAMIENTO DE MÓDULO GPS APLICANDO EL INTERNET DE LAS COSAS

César Manuel Hernández Mendoza, Paola Guadalupe Navarro Cabello y Luz María Rodríguez Vidal

Tecnológico Nacional de México / ITS de Irapuato.
cesar.hm@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Actualmente las Tecnologías de la Información y Comunicación son indispensables para generar productividad, patentes y nuevos dispositivos tecnológicos en base a la aplicación del Internet de las Cosas (IoT) para el usuario común o bien, para la Industria 4.0. En el caso de dispositivos de geolocalización (Sistema de Posicionamiento Global GPS) se pueden aprovechar todas las ventajas que ofrece el IoT para generar un prototipo que envíe las coordenadas de alguna persona u objeto, evitando algunos gastos que se requieren como el mantener una cuota mensual o anual, además de contar con un historial o registro de coordenadas de manera paulatina y según el intervalo de tiempo que se requiera así como tener la posibilidad de enviar algún parámetro más como el nivel de temperatura o humedad. El Cuerpo Académico (C.A.) con clave ITESI-CA-20 del TECNM/ITS de Irapuato ha desarrollado un prototipo llevando a cabo una serie de etapas metodológicas que consisten en la investigación para compartir tecnologías entre el módulo GPS y el IoT, la etapa de desarrollo en la que se contempló cuáles eran los dispositivos electrónicos necesarios y adecuados, el ensamblaje del prototipo así como su programación y enlace a la nube para el envío de parámetros (Backend), posteriormente la etapa de pruebas y experimentación en la que se generó y aplicó conocimiento y competencias propias del Ingeniero en Sistemas Computacionales y finalmente la etapa de implementación en la que fue requerido un sitio web en la que un usuario pudiera acceder a la información que arroja el prototipo (Frontend). Como resultados obtenidos a partir de este proyecto se obtuvo conocimientos en el área del IoT con una página web escalable que permite almacenar y mostrar las coordenadas de posicionamiento cada 20 minutos a lo largo del día, además de métricas obtenidas de temperatura o humedad de la ubicación en donde se encuentre. En cuanto a la duración de la batería los estudios realizados son variables, ya que, al ser un dispositivo móvil, depende en gran medida de la fuente de alimentación que se pretende conectar, aunque por sí mismo el dispositivo solo requiere de 3.5 a 5 voltios en el momento que realiza la lectura y envío de la información. Así mismo se cuenta con una investigación documentada que permite trabajar en áreas de oportunidad del prototipo y mejoras a sus prestaciones actuales. Finalmente, el presente proyecto permitió al equipo de trabajo generar un dispositivo GPS capaz de operar de una manera diferente a los productos comerciales más comunes en el mercado a partir de la convivencia y compatibilidad con nuevas tecnologías del IoT, por lo que se cuenta con un producto que es capaz de aplicarse en diversas áreas de la sociedad y la industria para resolver algún problema específico.

INTRODUCCIÓN

Las Tecnologías de la Información y Comunicación es una de las áreas de la ciencia que son aplicadas para generar constante desarrollo a nuevos dispositivos cada vez más pequeños, con un bajo consumo energético y a su vez con mayores prestaciones, tales como la velocidad de transferencia de datos, capacidad de procesamiento, compatibilidad, memoria, entre otras.

Para Cabero las TIC: *“En líneas generales podríamos decir que las nuevas tecnologías de la información y comunicación son las que giran en torno a tres medios básicos: la informática, la microelectrónica y las telecomunicaciones; pero giran, no sólo de forma aislada, sino lo que es más significativo de manera interactiva e interconexionadas, lo que permite conseguir nuevas realidades comunicativas”*.

De este modo, la Ingeniería en Sistemas Computacionales aporta en gran medida conocimientos propios para que los estudiantes de esta carrera puedan aplicarlos, tales como la programación, redes, telecomunicaciones, bases de datos, electrónica, entre otras, que son la base para las nuevas tecnologías de la Industria 4.0 en las que destacan la Inteligencia Artificial, Machine Learning, Agricultura de precisión, Computo en la nube, Robótica, Automatización, Ciberseguridad,

Geolocalización e Internet de las Cosas. Del Val Román menciona: *“En definitiva se trata de la aplicación a la industria del modelo “Internet de las cosas” (IoT). Todos estos términos tienen en común el reconocimiento de que los procesos de fabricación se encuentran en un proceso de transformación digital, una “revolución industrial” producida por el avance de las tecnologías de la información y, particularmente, de la informática y el software.”*

Es muy importante que los estudiantes de esta carrera o áreas a fines no solo conozcan el funcionamiento, programación y configuración de estas tecnologías, también es necesario comenzar a realizar investigación aplicada, con el fin de que puedan probar y experimentar con nuevos dispositivos o el desarrollo de prototipos, que les permita alcanzar un mayor nivel de conocimientos y competencias propias para la demanda actual de necesidades en las empresas o la industria. Cabe recalcar que la industria 4.0 y la manufactura inteligente optimizarán los sistemas de fabricación, acortarán el ciclo de desarrollo de nuevos productos, reducirán los costos de fabricación y permitirán contar con procesos productivos totalmente integrados y automatizados. (Ynzunza-Cortés, Izar-Landeta, Bocarando Chacón, Aguilar Pereyra, & Larios Osorio, 2017).

Actualmente el Internet de las Cosas (IoT), es una tecnología en auge y desarrollo, cada día es más común encontrar dispositivos, equipos electrónicos o electrodomésticos conectados a algún servicio en la nube, en el que estén censando datos, enviando parámetros o mediciones, en otros casos muestran disponibilidad al usuario 24/7 para el manejo u operación de estos. Salazar y Silvestre mencionan: *“El Internet de las Cosas será la clave para aumentar la productividad de las empresas, ofreciendo una amplia distribución de la red, redes locales de dispositivos inteligentes y nuevos servicios que pueden ser personalizados según las necesidades del cliente”*. En este sentido, una de las tendencias más fascinantes de la actualidad es la proliferación de dispositivos electrónicos denominados “microcontroladores”, pero de “bajo coste” con la suficiente potencia de procesamiento para conectarse a Internet, lo que lo ha constituido como el elemento clave de Internet de las cosas, donde toda clase de dispositivos se convierten en la interfaz de Internet con el mundo físico real. (Fermín Perez & Guerra Guerra, 2015).

Por otra parte, los nuevos sistemas de Geolocalización actualmente han estado ligados a los sistemas de software y aplicaciones móviles que podemos encontrar en nuestro ordenador, smartphone o tabletas electrónicas, principalmente por tres razones:

- Marketing, en las que se procesa una gran cantidad de datos de usuarios, con sistemas de rastreo y seguimiento, ubicación precisa y tiempo en cada una de las zonas, mercados, plazas o negocios a los que asiste el usuario, lo que eventualmente se utilizará para mostrar resultados a partir de búsquedas y filtros relacionados con el interés del usuario, así como la Minería de datos la cual es una herramienta que procesa gran cantidad de información enfocada al aumento de ventas de cualquier producto. Como menciona (Aguilar Castillo, Beerli Palacio, & Pérez Jiménez, 2017), la geolocalización tiene la capacidad de enmarcar el consumo, o lo que se denomina “geosocializar”. La fusión de la geolocalización con la actividad del usuario en las redes sociales, medios de pago y búsquedas en Internet constituye el tratamiento de rastreo habitual de los motores de búsqueda.
- Transporte, hoy en día, es muy común encontrar gran cantidad de autos en sus versiones estándar o lujo con sistemas de geolocalización, los cuales son útiles, prácticos y precisos cuando se desea llegar a alguna dirección. Así mismo, las flotillas de autos o camiones dedicados al transporte y movilización de diversos productos cuentan en diversas medidas con sistemas GPS propios para garantizar su ubicación en tiempo real, y como una herramienta que ayuda a generar un historial de distancias/tiempos para los dueños. Según los estudios realizados por Rubén Vilca E., en el caso de flotillas, *“un sistema de geolocalización influye en el control y monitoreo de transportes, influye en el tiempo de ubicación geográfica y nivel de confianza en la precisión de la información, influye en el número de viajes y la identificación del tipo de operación de vehículos con/sin mercadería”*.
- Seguridad, los dispositivos electrónicos que cuentan o que activan el sistema de Geolocalización (GPS) permiten a una persona o grupo de personas identificar inmediatamente la última posición o posición actual de una persona o un objeto. Recientemente algunas aplicaciones bancarias han adoptado como una medida de seguridad obtener acceso al sistema GPS del usuario para identificar a la persona que

realiza movimientos en las cuentas de sus cuentahabientes, así como aplicaciones de mensajería que permiten compartir su ubicación de manera permanente o temporal.

Particularmente el Cuerpo Académico: ITESI-CA-20 del TECNM / ITS de Irapuato, ha generado en los últimos cuatro años diversos dispositivos y prototipos enfocados a la creación, programación, desarrollo, manejo y operación del Internet de las Cosas, prototipos con los que se ha logrado controlar o monitorear algunos sistemas electrónicos a base de conocimientos propios de la Ingeniería en Sistemas Computacionales. Actualmente el equipo de trabajo se encuentra realizando investigación en el área del IoT relacionado con sistemas y módulos GPS, con los que se pretende brindar alternativas a productos de geolocalización que operen bajo las ventajas y beneficios del IoT y la precisión de la ubicación, enviando diversos datos y parámetros a sitios web en donde sean registren para su posterior visualización o procesamiento de datos.

TEORÍA

Hay que tener en cuenta el impacto que Internet ha tenido sobre la educación, la comunicación, las empresas, la ciencia, el gobierno y la humanidad. Claramente Internet es una de las creaciones más importantes y poderosas de toda la historia de la humanidad. Ahora debemos tener en cuenta que IoT representa la próxima evolución de Internet, que será un enorme salto en su capacidad para reunir, analizar y distribuir datos que podemos convertir en información, conocimiento y en última instancia, sabiduría (Evans & CISCO, 2011).

Internet de las cosas, fue y es aún al día de hoy, la segunda revolución del Internet, IoT nació en algún punto entre el año 2008 y 2009, ya que estadísticamente y según las proyecciones realizadas por investigadores, es el intervalo del tiempo en el que se conectaron más cosas u objetos a Internet que número de personas a nivel mundial, lo cual va ligado al incremento exponencial del Internet, el cual es duplicado en promedio cada 5.3 años. Así mismo, la convergencia de todo tipo de redes, sensores, objetos y dispositivos conectados a internet eventualmente provocara la unión de todo tipo de protocolos de comunicación en uno solo, con el que se pueda estandarizar y regular gran parte de estas conexiones digitales.

Por otra parte, IoT enfrenta también algunos obstáculos que impiden sacarle provecho a las prestaciones, ventajas y beneficios que se pudiera tener con su implementación, tales como la normalización en los estándares de comunicación, arquitectura de los dispositivos, compatibilidad, así como en la seguridad y privacidad que en recientes años ha sido el foco de atención para las empresas e instituciones ya que pueden ver comprometida su información.

El sistema de Posicionamiento Global (GPS) o sistema de Geolocalización utiliza una flotilla de 24 satélites artificiales operados por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos que circundan de manera distribuida y uniformemente alrededor de la tierra, de modo que todo dispositivo puede tener acceso a por lo menos 8 de ellos sin importar la ubicación geográfica en la que se encuentre, el uso de estos satélites no tiene ningún tipo de costo, es gratuito y libre de usar para cualquier usuario o fabricante, no así para el dispositivo, del cual existen diversos modelos con diversas prestaciones a precios accesibles.

Los satélites emiten continuamente señales de radio hacia la superficie de la tierra, de modo que cualquier dispositivo GPS en tierra, aire o mar puede leer los datos enviados por un primer satélite, tales como la ubicación del satélite en la órbita y el tiempo que tarda en llegar al dispositivo por medio de una cadena de letras y números, con lo que se puede calcular la distancia; eventualmente obtiene datos de un segundo, tercer y cuarto satélite con el que se procesan cálculos aritméticos que finalmente arrojan una ubicación precisa con un margen de error de +-15m para los civiles y de +-1m para organizaciones militares pertenecientes a los EUA.

El sistema GPS consta de tres estaciones para poder funcionar eficientemente, en primera instancia esta la estación en tierra, la cual detecta los satélites cercanos y les proporciona su ubicación precisa en relación con la posición en la órbita terrestre (estación espacial), además actualiza cada día del año, el tiempo y hora exacta con relojes atómicos de precisión, los satélites una vez recibida esta información retransmiten su ubicación por medio de ondas electromagnéticas que están disponibles para usuarios civiles y militares (estación del usuario), los datos recibidos finalmente los procesa el dispositivo GPS resultando dos parámetros: latitud y longitud.

Finalmente, para dar inicio a la parte experimental de este proyecto se contemplan los siguientes objetivos y consideraciones:

- Determinar los componentes electrónicos adecuados para generar un prototipo de bajo consumo energético, accesible y compatible con las tecnologías de Arduino y protocolos de comunicación aptos para el IoT.
- Implementar un sitio web en el que se puedan enviar los datos de longitud y latitud del dispositivo GPS los cuales puedan ser almacenados o registrados en periodos de 20 minutos.
- Evitar el recurso económico usualmente conocido como “*recargas telefónicas*” que son requeridos para muchos de los dispositivos GPS actuales en el mercado.
- Cabe recalcar que como alcance del proyecto se considera el envío y registro de datos del prototipo al sitio web, quedando como trabajo futuro el procesamiento de datos para trazar un mapa virtual de ubicación.

PARTE EXPERIMENTAL

Como parte del trabajo colaborativo los integrantes de este proyecto realizaron actividades enfocadas en determinar los componentes adecuados para el prototipo, generar una serie de pruebas, comprender la lectura de los datos recibidos por el satélite y sobretodo invertir una cantidad significativa de tiempo para poder retransmitir la latitud y longitud recibida hacia una página web en la que se debían visualizar los datos.

El plan de trabajo consistió en una metodología de cinco etapas en las que se consideran:

Etapas de Investigación para compartir tecnologías entre el módulo GPS y el IoT, en las que se determinó que proveedores y operadores del IoT como Sigfox y Lora son ampliamente compatibles con tarjetas Arduino. Específicamente existen varios especialistas en internet dedicados a la creación de contenidos por medio de blogs y tutoriales en los que se explica y detalla de inicio a fin la interacción entre los componentes Arduino y las nuevas tecnologías del IoT, así mismo, existe en el mercado actual diversas placas programables y accesibles para la experimentación, operación y creación de prototipos de aplicación en una red local y conexión a internet vía inalámbrica.

Una de las limitantes y su vez objetivo era descartar sistemas o módulos GPS que requieran la tecnología GSM ya que obliga a mantener una cuota mensual para la operación de los dispositivos GPS del mercado, por lo que se debía hacer uso de proveedores u operadores más a acordes a reducir costos. En la tabla 1 se observan algunos de las tarjetas programables más utilizadas con proveedores del IoT compatibles con Arduino.

En la **etapa de desarrollo** se contempló cuáles eran los dispositivos electrónicos necesarios y adecuados para el proyecto en el que se consideró que el nivel de voltaje suministrado debía ser menor o igual a los 5 volts, aunque para la experimentación y primeras pruebas se utilizó un eliminador conectado a corriente eléctrica dado que el prototipo se mantendría temporalmente en la misma ubicación con fines de ejecutar primeros programas y envío de parámetros a la nube. También un módulo GPS modelo GY-NEO6MV2 con antena (véase Tabla 2), en este caso el fabricante expone que el componente es compatible con tarjetas programables con Arduino, AVR, Raspberry y otros microcontroladores existentes en el mercado.

Fuente: Elaboración propia con información de “programarfacil” y “aprendiendo arduino”

Componente o Placa Programable	Descripción
--------------------------------	-------------

	<p>Arduino MKRFOX1200 Tiene todo integrado en un SoC donde encontramos 3 partes, el SAMD21 (es el microcontrolador principal, nos da acceso a los pines y donde cargamos el programa), el WINC1500 un microcontrolador con conexión WiFi de bajo consumo y el ECC508 que permite encriptación a nivel de hardware.</p> <p>Fuente de la descripción y de la imagen: https://programarfacil.com/blog/arduino-blog/arduino-mkrfox1200-sigfox-lpwan/</p>
	<p>Dragino Lora Shield</p> <p>Es un dispositivo dentro de la arquitectura de red que recibe los datos transmitidos por un dispositivo de nodo final y que reenvían los paquetes de datos a un servidor de red centralizado. Los datos de un nodo final LoRa pueden ser recibidos por múltiples puertas de enlace (gateway).</p> <p>Fuente de la descripción y de la imagen: https://www.aprendiendoarduino.com/tag/lora/</p>

Tabla 1. Ejemplos de placas programables compatibles con Arduino

Algunas de las características principales son las siguientes: 3 a 5 volts que son requeridos para poder operar y funcionar, memoria EEPROM para el almacenamiento de datos de configuración, Led indicador de señal de recepción y una velocidad de transmisión por defecto de 9600 bps. Tarjeta programable tipo arduino con la que se desarrolló una serie de sketches (códigos) para comprobar la conexión entre el código de programación, el módulo GPS (véase Tabla 2) y los servicios en la nube que recibirían los parámetros y que eventualmente terminaría con el esquema de trabajo con el IoT. Hosting web y nombre de dominio, requeridos para mantener siempre en línea y con los servicios en la nube la información enviada por el dispositivo, así como el registro e historial de datos recibidos.

En la tercer **etapa ensamblaje** del prototipo, los componentes fueron organizados temporalmente en una base adecuada para el resguardo de la tarjeta programable y a la vista la antena receptora de los parámetros recibidos por los satélites, una vez que el código (sketch) funcionó y realizaba el envío de parámetros hacia la nube para el envío de parámetros (Backend) en el sitio web.

Posteriormente en la **etapa de pruebas**, el dispositivo cambio de ubicación para comprobar las posiciones con las coordenadas de latitud y longitud, etapa con la cual el equipo de investigación pudo determinar que la posición obtenida era muy precisa de acuerdo al margen de error mencionado con anterioridad. Así mismo la programación requerida en el sitio web fue indispensable para leer los datos recibidos, almacenando los dos parámetros principales con la fecha y hora en tiempo real de la ubicación del prototipo, en esta etapa fue requerido cerca de 3 meses para poder obtener resultados favorables y acordes a los objetivos establecidos.

Finalmente, en la **etapa de implementación**, el equipo de investigación logro darle diseño a un espacio de trabajo o modulo en el sitio web para hacerlo visualmente atractivo y que la información pueda ser presentada al usuario final de una manera comprensible, cabe recalcar que esta etapa y el desarrollo del prototipo sigue en un periodo de adecuaciones, modificaciones y expandiendo sus prestaciones.

Fuente: Imagen izquierda: <https://www.arcaelectronica.com/products/modulo-gps-gy-neo6mv2-neo-6m-arduino-pic> Imagen derecha: <https://es.aliexpress.com/item/32995409942.html>



Tabla 2. Componentes utilizados para el desarrollo del prototipo

Configuración y desarrollo del programa (sketch)

La conexión entre el módulo GPS y la tarjeta programable son las siguientes:

- Pin del Módulo GPS TX → Arduino RX
- Pin del Módulo GPS RX → Arduino TX
- Pin VCC del Módulo → positivo de alimentación
- Pin GND del Módulo → tierra o negativo de la alimentación
- Programar a 9600 baudios para el Módulo del GPS y del Arduino

Parámetro de geolocalización recibido por los satélites (ejemplo ficticio):

*\$GPGGA, 163017.000, 3503.9040, N, 11012.5793, W, 1, 06, 1.6, 1779.9, M, -20.7, M., 0000*5F*

- Hora recibida – 163017.000 equivale a 16:30 y 17.000
- Longitud recibida: 3503.9040 al Norte
- Longitud recibida: 11012.5792 al Oeste
- Numero de satélites vistos: 06
- Altitud: 1779 metros

Comandos en arduino para solicitar información específica:

- Obtener posición actual: *gps.get_position (&lat, &lon, &fix_age);*
- Obtener fecha y hora: *gps.get_datetime (&date, &time, &fix_age);*
- Obtener velocidad en centésimas de: *speed = gps.speed();*

Código utilizado:

```
if (gps.encode(c)) {
  gps.f_get_position(&latitude, &longitude, &age);
  Serial.print(F("LECTURA NUEVA! -> "));
  // OBTENER LATITUD
  Serial.print(F("LATITUDE = "));
  Serial.print(latitude, 6);
  // OBTENER LONGITUD
  Serial.print(F(" LONGITUDE = "));
  Serial.print(longitude, 6);
  // NUEVA LINEA
  Serial.println(); }

```

Conexión a la nube y envío de parámetros

Como parte de la conexión entre la placa programable y los servicios en la nube fueron requeridos archivos y datos tipo JSON, los cuales son básicamente textos sencillos y sin formato específicos para el intercambio de datos entre diversas plataformas y servicios en internet y propios para la comunicación con dispositivos IoT. Así mismo la configuración de “callbacks” los cuales son los responsables del envío de información entre el arduino y la página web en donde se almacenan los datos registrados por el módulo GPS. Callback es un comando o línea de instrucción con la cual se indica el valor o parámetro que debe ser enviado de un sistema o plataforma a otra. En la figura 1, se observa el callback configurado, para el prototipo.

Fuente: Elaboración propia generada en pagina web

Downlink data

Downlink mode: **CALLBACK** For more details on Downlink modes, please refer to documentation.

Expression must either include hexadecimal encoded bytes (ex: `deadbeefcafebabe`) or the following variables: - `[time]` 4 bytes - `[lapid]` 4 bytes - `[rsid]` 2 bytes - `[roaming]` 1 byte

Downlink data in hexa:

Payload display

Select below the most suitable parsing mode for the display of your payloads in the backend (mostly appropriate for debugging and development)

Payload parsing: **Custom grammar**

Custom configuration:

Use HTTP Method: **POST**

Send SN: (Server Name Indication) for SSL/TLS connections

Headers:

Header	Value
Content type	application/json

Body:

```
{
  "latitud": "{data1}",
  "longitud": "{data2}",
  "nivel": "{data3}"
}
```

Figura 1. Callback configurado para el prototipo

RESULTADOS

Los resultados obtenidos fueron favorables pero limitados, sin embargo, se dará continuidad y seguimiento a las prestaciones y mejoras al prototipo, esperando que los datos recibidos puedan ser visualizados por medio de algún mapa que ayude inmediatamente al usuario a distinguir el origen o ubicación precisa de la persona u objeto que esté llevando el prototipo.

Fuente: Elaboración propia



Figura 2. Prototipo generado con módulo GPS con antena y Arduino

Sin embargo, el logro o impacto que ha generado este proyecto consiste en que los datos proporcionados en el dispositivo GPS fueron llevados y registrados en una tabla a modo de historial a un sitio web propio en el que posteriormente y en una segunda etapa pueden ser tratados y procesados para obtener mayores beneficios. Así mismo al trabajar con datos JSON, el prototipo es capaz de enviar no solo latitud y longitud, también se le puede agregar algún sensor y enviar junto con los parámetros mencionados el nivel de humedad o temperatura en el ambiente encapsulados en el mensaje JSON. En la figura 2 se observa el dispositivo o prototipo generado con el que se pueden enviar datos recibidos del módulo GPS hacia Arduino y posteriormente a la nube.

En la tabla 3 se observan los resultados obtenidos, en la imagen izquierda se aprecian datos obtenidos por un sensor de humedad, conectado al arduino que acompaña los datos recibidos por el módulo GPS y visualizados finalmente en la página web (imagen derecha), ambos datos se registraron en una tabla de valores que se pueden encontrar en el sitio web: <http://www.cmhernandezm.com/iot/gpsiot/>

Fuente: Elaboración propia con datos obtenidos del prototipo

Time	Delay (s)	Seq Num	Data /Decoding	Parámetros obtenidos con el prototipo en su primer etapa. (Segunda etapa en desarrollo Julio 2021)																								
2021-02-18 12:26:37	1.8	13	00001943 Humedad: 39.0	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Tiempo</th> <th>Nivel humedad</th> <th>Latitud</th> <th>Longitud</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>2021-05-18 12:26:37</td> <td>370</td> <td>35039041</td> <td>110125790</td> </tr> <tr> <td>2021-05-18 12:45:08</td> <td>384</td> <td>35039040</td> <td>110125790</td> </tr> <tr> <td>2021-05-18 13:07:35</td> <td>390</td> <td>35039040</td> <td>110125790</td> </tr> <tr> <td>2021-05-18 12:27:11</td> <td>385</td> <td>35039042</td> <td>110125790</td> </tr> <tr> <td>2021-05-18 12:46:31</td> <td>377</td> <td>35039041</td> <td>110125790</td> </tr> </tbody> </table>	Tiempo	Nivel humedad	Latitud	Longitud	2021-05-18 12:26:37	370	35039041	110125790	2021-05-18 12:45:08	384	35039040	110125790	2021-05-18 13:07:35	390	35039040	110125790	2021-05-18 12:27:11	385	35039042	110125790	2021-05-18 12:46:31	377	35039041	110125790
Tiempo	Nivel humedad	Latitud	Longitud																									
2021-05-18 12:26:37	370	35039041	110125790																									
2021-05-18 12:45:08	384	35039040	110125790																									
2021-05-18 13:07:35	390	35039040	110125790																									
2021-05-18 12:27:11	385	35039042	110125790																									
2021-05-18 12:46:31	377	35039041	110125790																									
2021-02-18 12:26:14	1.1	12	00001844 Humedad: 39.0																									
2021-02-18 12:26:44	1.5	10	00001643 Humedad: 37.0																									
2021-02-18 12:20:33	2	9	00001943 Humedad: 38.0																									

Tabla 3. Información y datos obtenidos por el prototipo y visualizados en la página web

Finalmente, los objetivos planteados por el equipo de investigación fueron realizados, quedando como trabajo futuro el procesamiento de datos para visualizar las coordenadas en un mapa que sea visible en la pagina web y esté disponible con la última ubicación del dispositivo o ubicación en tiempo real, según las características y condiciones. Así mismo, la búsqueda y determinación de una fuente de voltaje que ayude a prolongar la vida útil del dispositivo cabe mencionar que solo requiere 5v, para enviar los parámetros principales como latitud, longitud y un dato de sensor.

CONCLUSIONES

Para el equipo de investigación, fue gratificante conseguir los datos obtenidos por el módulo GPS y enviarlos a la página web para su visualización, además de que se determinaron los componentes mas apropiados para trabajar con el voltaje mínimo necesario, así como la elección de las plataformas y operadores de servicios del IoT más adecuados para el proyecto. La investigación y producto generado es también una herramienta de estudio aplicado al que se le pueden mejorar las prestaciones y características en una segunda etapa, además es una contribución para el desarrollo de dispositivos de geolocalización que no requieren de alguna cuota mensual especifica requerida para operar, ya que solo requiere cubrir los gastos para adquirir los productos mencionados y el operador satelital.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aguiar Castillo, C., Beerli Palacio, A., & Pérez Jiménez, R. (15 de mayo de 2017). nuevos sistemas de geolocalización aplicados al marketing de proximidad en establecimientos hoteleros. *International Journal of Information Systems and Tourism (IJIST)*, 2(1), 1-14.
2. Cabero, J. (2005). *Cibersociedad y juventud: la cara oculta (buena) de la Luna*, en. A Coruña: Netbjblo. Obtenido de <http://tecnologiaedu.us.es/bibliovir/pdf/ciberjuve.pdf>
3. Del Val Román, J. L. (2016). Industria 4.0: la transformación digital de la industria. *Coddii*, 1-10. Recuperado el 08 de 07 de 2021, de <http://coddii.org/wp-content/uploads/2016/10/Informe-CODDII-Industria-4.0.pdf>
4. Evans, D., & CISCO. (2011). *Internet de las cosas, Cómo la próxima evolución de Internet lo cambia todo*. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). Recuperado el 10 de julio de 2021, de <http://audentia-gestion.fr/cisco/IoT/internet-of-things-iot-ibsg.pdf>
5. Fermín Perez, F., & Guerra Guerra, J. (2015). Internet de las cosas. *Revistas UIGV Perspectiv@s*, 10(11), 45-49. Recuperado el 2021, de <http://revistas.uigv.edu.pe/index.php/perspectiva/article/view/187>
6. Salazar, J., & Silvestre, S. (s.f.). Internet de las cosas. *TechPedia*, 1-34.
7. Vilca Espinoza, R. (2017). Influencia de un sistema de geolocalización en el control y monitoreo de vehículos con dispositivos GPS en una empresa logística, 2015. Lima, Perú. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/17105/Vilca_ERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
8. Ynzunza-Cortés, C., Izar-Landeta, J., Bocarando Chacón, J., Aguilar Pereyra, F., & Larios Osorio, M. (2017). El Entorno de la Industria 4.0: Implicaciones y Perspectivas Futuras. *CONCIENCIA TECNOLÓGICA*, 54, 33:45.

ESTUDIO DE COMPÓSITOS AL-GRAFITO PREPARADOS POR PROCESAMIENTO MECÁNICO

Juan Pablo Bañuelos Ramos¹, Enrique Rocha Rangel², José Amparo Rodríguez García²

Universidad Politécnica de Victoria
1530145@upv.edu.mx

RESUMEN

En años recientes, se han realizado investigaciones para el desarrollo de materiales avanzados que cuenten con características específicas como un mejor rendimiento mecánico, baja densidad y resistencia a agentes ambientales externos. Por tal motivo, el objetivo principal de este estudio fue el procesamiento y la caracterización de compósitos base aluminio dopados con grafito como material de refuerzo. El trabajo experimental se llevó a cabo a través de metalurgia de polvos. Cinco sistemas fueron fabricados con porcentajes de 0, 0.5, 1, 2 y 3 % de grafito. La molienda fue realizada con tiempo de 5 horas a 300 rpm. Las mezclas de polvos fueron compactadas aplicándose una fuerza uniaxial de 250 y posteriormente sinterizadas a una temperatura de 600 °C durante 1 hora. Finalmente, las muestras fueron caracterizadas por su microestructura y sometidas a ensayos de compresión. Se llevaron a cabo pruebas de densidad por el principio de Arquímedes, análisis de microdureza, difracción de rayos X y análisis de fractura. Los resultados obtenidos muestran un aumento en la microdureza, así como la densidad de los compósitos conforme al aumento en el porcentaje de grafito. La mejora en la respuesta mecánica se debe a la dispersión homogénea de las partículas de refuerzo, así como a la reducción en su tamaño.

INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de materiales que cuenten con propiedades mecánicas que cumplan los requisitos de seguridad y calidad en las industrias, a un bajo costo de producción, ha generado el desarrollo de compósitos de matriz metálica.

Es decir, crear compuestos que puedan mejorar sus propiedades con la agregación de elementos de diferente tipo, y, por ende, obtengan una mejor respuesta que los materiales monolíticos. Debido a esto, el desarrollo de compósitos de tipo matriz metálica (MMC) han ido satisfaciendo cada vez más, las demandas de algunas industrias como son la aeroespacial, la automotriz y la industria de defensa, ya que algunos de estos, presentan características específicas como un mejor rendimiento mecánico, baja densidad y resistencia a agentes ambientales externos en comparación con materiales monolíticos e incluso otras aleaciones metálicas frecuentemente más utilizadas.

Partiendo del hecho de que el Aluminio y sus aleaciones son frecuentemente más utilizadas que otras aleaciones, excepto el acero; usualmente se recurre a ellas por su bajo peso, su alta conductividad eléctrica y su alta resistencia a la corrosión. Sin embargo, este material también presenta deficiencias como una baja rigidez, poca resistencia al desgaste y bajo módulo de elasticidad [1]. Es por esto que en la búsqueda de la mejora de sus propiedades mecánicas se ha llegado a combinar con grafito, el cual es un material de tipo cerámico que presenta excelente estabilidad estructural, buen rendimiento mecánico a altas temperaturas y alta conductividad térmica [2]. No obstante, una deficiencia importante del grafito es su poca humectabilidad lo que genera dificultad para adherirlo a la matriz metálica. Por tal motivo, se han estudiado dos rutas o alternativas para la fabricación de estos compósitos (ruta sólida y ruta líquida). La primera de ellas resulta mucho más efectiva y suele ser la mejor opción, ya que son utilizadas técnicas de procesamiento de polvos para la obtención de compósitos con buena densidad, así como buena homogeneidad entre sus materiales constituyentes, lo cual genera una mejor respuesta mecánica en contraste con la ruta líquida.

TEORÍA

Como uno de las principales metodologías para la fabricación de compósitos de matriz metálica (MMC) se realiza una evaluación sobre los efectos que generan la adición de nanopartículas de grafito y el tiempo de molienda en la densidad y esfuerzos mecánicos en compósitos a base de Al-7075, los cuales fueron creados por medio de aleación mecánica (MA). Se determinó que existe

correlación entre las etapas de aleación mecánica y aumento del 40% de la densidad y 20% del esfuerzo de tracción en las muestras con porcentaje del material de refuerzo, que se presentan a partir del mínimo tiempo de molienda en comparación con muestras sin refuerzo [1]. Se ha determinado que la humectabilidad del grafito no es buena lo cual presenta un problema para las uniones de dichas partículas de refuerzo con la matriz metálicas. Es debido a esto que se lleva a cabo el estudio del cambio en las propiedades mecánicas de compuestos a base de Al reforzados con partículas de grafito recubierto de metal (MCG). Los compuestos se prepararon mediante molienda mecánica (MM), contenían diferente recubrimiento metálico en el refuerzo (Cu, Ni y Au) y una variación en el porcentaje de agregación de recubrimiento (Alto porcentaje y bajo porcentaje). El tipo de metal, el tiempo de molienda y sus concentraciones tienen un efecto importante en las propiedades mecánicas. Existe un incremento en el límite elástico y dureza. En otro estudio se encontró que el mejor medio de refuerzo es el compuesto AlH-C. Las partículas reforzadas de Cu-C tienen un tamaño submicrométrico y se distribuyen homogéneamente en la matriz de Al [2]. Del mismo modo, partiendo del hecho de que las propiedades mecánicas del compuesto pueden ser mejoradas con base en la adición de un tercer elemento a la mezcla como puede ser partículas metálicas de cobre, se da continuidad al desarrollo de compósitos a base de Al reforzados con grafito metalizado (MG) en donde se analizan la dureza y evolución morfológica de los compósitos en función de la concentración de aditivos e intensidad de molienda. En este estudio la producción es por medio de molienda mecánica utilizando polvos puros de Al, Gr y Cu sintetizados previamente en un molino de alta energía con intervalos de molienda de 1, 2, 4 y 8 h y variaciones en la adición de Mg en 0.0, 0.5 y 1.0 %. Se alcanzó un punto óptimo, pero el procesamiento posterior y la alta concentración de Mg inducen una caída de la dureza. La mejor respuesta mecánica se alcanzó con el compuesto Al-0.50% Mg molido 4h. [3]

Dando seguimiento al hecho de que la humectabilidad del Grafito no es buena y teniendo como una de las prioridades la buena adhesión de estas partículas a la matriz de aluminio, Estrada-Guel menciona la utilización de la técnica de lixiviación, la cual puede ser descrita como un proceso mecanoquímico que en conjunción con el proceso de metalurgia de polvos (PM), mejoran la humectabilidad del carbono, así como su incremento en el área de superficie específica del mismo, lo cual genera una mejor adhesión con la matriz de aluminio [4].

En otro estudio se menciona que el proceso de molienda mecánica (MM) consiste en pasos repetidos de soldadura y fractura de las partículas mezcladas, las cuales quedan atrapadas entre los medios de molienda durante dicho proceso; así como también asegura una mejor distribución homogénea del refuerzo en el material [4]. Previo al proceso de lixiviación, se hace mención a la preparación de las muestras, las cuales consisten en varios grupos en los cuales se varía el tiempo de molienda que va desde 0, 1, 2, 4, 8 y 16h. Este proceso se realiza tanto para muestras con solo grafito y mezclas de grafito y aluminio (50% at. / 1:1 at) por medio de un molino de alta energía. Posteriormente, pasarán al proceso de lixiviación (24h) mediante ácido hidrociorídrico, el cual remueve el aluminio e incrementa la superficie del grafito. Posteriormente las mezclas fueron prensadas con una fuerza uniaxial a 750MPa y sinterizadas por 3h a 823°K. Finalmente, las muestras se sometieron a pruebas para determinar y comprobar su incremento en propiedades mecánicas. Como se observó el incremento en la respuesta mecánica de los compósitos se mejoró al agregar unas pequeñas cantidades de partículas de grafito, las cuales están en el orden de nanómetros y presentaron una distribución homogénea en la composición gracias al proceso de lixiviación y a pequeñas intensidades de molienda mecánica. Como es sabido, altas intensidades de molienda, así como cantidades altas de grafito disminuyen la posibilidad de una mejor respuesta mecánica del compuesto.

Se ha demostrado que la mezcla del grafito con algunas de las aleaciones de Aluminio proporciona una mejora de las propiedades mecánicas, así como el agregado de grafito a la mezcla en proporciones adecuadas propicia un mejor proceso de aleado mecánico. Tal es el caso de la aleación Al-7075 la cual, como se sabe, contiene proporciones de Cu, Zn y Mg; siendo el Zn el material que ayuda a la adhesión del resto de los elementos, así como aporta mejora en las propiedades mecánicas y densidad. Los compósitos basados en la aleación Al 7075 con diferentes concentraciones de partículas de grafito (Al7075-GP) fueron sintetizados a partir de polvos elementales mediante un proceso de molienda. Los productos de molienda fueron consolidados mediante sinterización sin presión seguido de extrusión en caliente. Las propiedades mecánicas de

las muestras extruidas fueron evaluadas mediante ensayos de tensión y pruebas de microdureza Vickers. Se caracterizó el efecto de la variación del contenido de Zn y grafito en las propiedades mecánicas. Los resultados obtenidos muestran que el esfuerzo de cedencia (σ_y), esfuerzo máximo (σ_{max}) y la microdureza, se incrementaron en función del contenido de grafito y del tiempo de molienda [5]. Las propiedades mecánicas obtenidos en estos materiales (σ_y , σ_{max} , μHV), fueron mayores que los de la aleación Al7075 en condición de recocido. El Zn es un elemento de suma importancia en las aleaciones Al-Zn, conforme el contenido de este disminuye, las propiedades mecánicas también disminuyen. Las partículas de grafito (GP) pueden contribuir a compensar la disminución del contenido de Zn de los compósitos, con la inherente disminución de su densidad.

Dando continuidad a la aleación 7075 del Aluminio, se presenta otro trabajo realizado de manera muy similar al anterior, en el cual dicha aleación se ve afectada por el decremento del Zn en su composición, pero esta es compensada por la agregación de grafito con el objetivo de obtener un material más ligero y con mejores propiedades. La composición química nominal (% peso) empleada fue: Zn = 5.1%, Mg = 2.5%, Cu = 1.6%, Cr=0.23%, Fe=0.3%, Mn=0.20%, Al (balance). Se emplearon 3 contenidos de Zn, 5.1, 4.1 y 3.1% y 4 contenidos de grafito (G), 0.0, 0.5, 1.0 y 1.5, todos en % peso. La molienda se llevó a cabo en un molino atricionador horizontal (SIMOLOYER), y se utilizaron tres diferentes tiempos de molienda 0, 5 y 10 h. Los productos de molienda resultantes se analizaron mediante las técnicas de DRX, SEM, MET, y se determinó su densidad. En base a los resultados obtenidos puede apreciarse que el aleado mecánico y la formación del compósito Al7075-G se lleva a cabo completamente a 10 h de molienda. Los compósitos obtenidos presentan una estructura nanoestructurados con un tamaño de cristallita determinado mediante MET, menor a 50 nm. Así mismo se encontró que conforme aumenta el tiempo de molienda y el contenido de grafito, el tamaño de partícula del polvo disminuye y la microdureza aumenta. Por otro lado, se observó también que la densidad disminuye conforme el contenido de Zn decrece [6]. Después de la molienda los polvos de los compósitos fueron sinterizados y extruidos en caliente, la caracterización después de la extrusión se realizó con las técnicas de DRX, SEM, EBSD, TEM, microdureza y ensayo de tensión. A partir de los resultados obtenidos, se observó que las propiedades mecánicas (σ_y , σ_{max} y la microdureza), muestran una mejoría conforme aumenta el contenido de grafito y el tiempo de molienda. Dicha mejoría es más notoria en las muestras sintetizadas con 10 h de molienda, en dónde σ_y se incrementa hasta en un 75.8 %, el UTS un 54.5% y la microdureza hasta en un 65.6. De igual manera existe la mezcla de compósitos que tienen como matriz la misma aleación 7075 pero en diferencia con algunos trabajos mencionados, la fase de refuerzo se compone de grafenos multicapa. Debido a esto, parte de los estudios realizados durante la síntesis es también la dispersión de los mismos. Los grafenos fueron sintetizados por el método de hielo seco, el cual consiste en la combustión de magnesio en una atmosfera de CO₂. La fabricación de los compuestos base Al-7075, tendrán adiciones de grafito con un máximo del 1% en peso. Estos compuestos se procesaron mediante molienda mecánica (MM) para obtener la dispersión de los grafenos en la matriz metálica, acto seguido se realizó la compactación en frío de los polvos para la obtención de las probetas. Por último, se sinterizaron las probetas para la consolidación de las mismas para ser evaluadas a través de ensayos mecánicos como compresión y dureza [7].

Como ya se ha mencionado, es bien sabido que la reducción en el tamaño de partícula genera importantes mejoras en las propiedades mecánicas resultantes del compósito, con base en este hecho, se hace mención de la utilización de plata recubierta con grafito como agente reductor en la mezcla de los compósitos. Las nanopartículas de plata recubierta con carbono (Ag-C NP) fueron procesados por la técnica de metalurgia de polvos. El análisis del polvo muestra que las nanopartículas de plata tienen un efecto en la reducción del tamaño de partícula del polvo; las propiedades mecánicas de los nanocompósitos se obtuvieron mediante ensayos de tensión y éstas se determinaron en función del tiempo de molienda y del contenido de nanopartículas. Se observó que las propiedades aumentan a un valor máximo y luego decrecen [8]. Las propiedades mecánicas de los nanocompósitos se mejoran hasta un contenido máximo de nanopartículas de plata y tiempo de molienda, entonces las propiedades bajan. El incremento en las propiedades mecánicas se debe a la homogénea distribución de nanopartículas de plata. Los mejores resultados de las propiedades mecánicas de los nanocompuestos se obtuvieron con 10 h de molienda y 1,0 y 1,5% en peso de nanopartículas.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la fabricación de los compósitos de matriz metálica (CMM) se realizaron procesos de síntesis y caracterización de aleaciones metal-cerámicas partiendo de polvos base. Para el caso de los 5 sistemas estudiados (0, 0.5, 1, 2 y 3 % de grafito), los materiales que conforman el compósito de matriz metálica o MMC (por sus siglas en inglés) son aluminio (marca Sigma-Aldrich) con pureza mayor al 99% y con un tamaño de partícula aproximado de 5 μm , el cual fue utilizado como matriz del compósito. El segundo material utilizado fue el grafito (marca Sigma-Aldrich) con pureza mayor al 99.9% y tamaño de partícula de 1 μm el cual actúa como partículas de refuerzo en el compósito. Para la fabricación de dichos compósitos fue utilizada la técnica de metalurgia de polvos la cual resulta ser eficiente para la obtención de materiales de tipo metal-metal o metal-cerámica. Previo a la primera etapa de la técnica utilizada, los polvos base de aluminio y de grafito fueron pesados en una balanza electrónica (Velab Balances, modelo VE-1000, México) de manera que se obtuvieron mezclas de 10 gr en proporción de ambos polvos.

Posteriormente se llevó a cabo la etapa de molienda y mezclado en un molino planetario de bolas (Retsch – Modelo PM 100, Alemania), en donde se buscó reducir el tamaño de partícula e incorporar el material de refuerzo a la matriz de aluminio. Los parámetros de molienda utilizados fueron 5 horas de molienda con intervalos de paro de 15 minutos cada hora a una velocidad de 300 rpm, esto con el objetivo de mezclar los polvos y obtener un tamaño de grano más fino gracias al impacto generado por bolas de zirconia que fragmentan las partículas del polvo. Al concluir el proceso dentro del molino, es conveniente esperar al menos 1 hora antes de retirar los polvos del contenedor debido a la temperatura del mismo y evitar además un proceso de combustión de los polvos al tener contacto con el oxígeno y la elevada temperatura a la que se encuentran. Pasado el tiempo de espera, los polvos se retiran del contenedor vaciando sobre una malla los polvos en la cual las bolas de zirconia quedarán en la malla y el polvo fino será depositado en una bolsa plástica.

Compactación de polvos base Aluminio-grafito (compactos verdes)

En la segunda etapa posterior a la preparación de los polvos base, es necesario depositar el material mezclado dentro de un dado de acero grado herramienta el cual exhibe la forma deseada final en la que se obtendrán los polvos compactados. La cantidad de polvo depositada dentro de la matriz de compactación o dado de compactación fue aproximadamente de entre 1 gr y 1.2 gr. Para la obtención adecuada de los pesos de los materiales a compactar se utilizó una balanza analítica (Marca A&D, serie Orion, modelo HR 120, Estados Unidos). Después de introducir la mezcla de polvos dentro del dado, este es colocado en una prensa hidráulica (Montequipo- tipo hidráulica de laboratorio, Estado de México, México) por medio de la cual se aplicó una carga axial de 300 kg/cm^2 en sentido vertical durante 20 segundos. De manera que existe una cohesión entre las partículas de los polvos permitiendo así que se mantengan unidos con la forma deseada. Sin embargo, no hay unión entre los átomos debido a que la compactación realizada es en frío por lo cual, en este punto, los compósitos conocidos como compactos verdes, son frágiles y tienen mayor tendencia a la fractura. La etapa de compactación se repitió de igual manera para cada una de las muestras de polvos requiriendo un proceso de limpieza después de retirar la muestra del dado, esto con el objetivo de prevenir la contaminación de las muestras con polvos no deseados, (en el caso de utilizar materiales diferentes para cada muestra) así como evitar que el mismo dado quede atascado por el polvo remanente y la presión a la que es sometido. De tal manera, se obtuvieron 5 compactos verdes los cuales pasaron a una etapa de calentamiento en donde existe la unión de enlaces atómicos entre los materiales constituyentes.

Sinterización de muestras verdes

Como ya se mencionó, siguiendo con la técnica de metalurgia de polvos, las muestras verdes fueron introducidas dentro de un horno eléctrico (Carbolite, RHF17/3E, Inglés) con una atmósfera de nitrógeno para la etapa de sinterización. Las muestras fueron sinterizadas a una tasa de calentamiento de 20°C/min hasta alcanzar los 300°C donde se mantuvieron por 15 minutos, después se incrementó la temperatura hasta alcanzar los 600°C en donde se mantuvieron por 1 hora. La etapa de sinterización se lleva a cabo para alcanzar una buena distribución de las partículas de refuerzo en las partículas de la matriz y reducir los vacíos del compósito final, así como mejorar la humectabilidad entre el refuerzo y la matriz. El calentamiento de los polvos por debajo de su punto de fusión permite la difusión en estado sólido y crear un mejor enlace entre las partículas [9]. Cuando se sinteriza un metal poroso se busca un equilibrio entre las propiedades del material, el tamaño de

los poros y la permeabilidad. Estas variables son influenciadas por la temperatura, tiempo de exposición y tipo de atmosfera [10].

Análisis del tamaño de partícula

Para el presente estudio fue necesario utilizar las mezclas de polvos no compactadas, así como el uso de un analizador de tamaño de partícula por difracción de laser (Shimadzu SALD-201VM2, Japón). El análisis fue llevado a cabo para cada uno de los cinco sistemas propuestos realizando la prueba al menos dos veces para cada uno, esto con el objetivo de observar la variación en las mediciones del equipo y determinar cuál fue más acertada. Para el análisis, se pesaron 0.1 gr de polvo en una balanza analítica (Marca A&D, serie Orion, modelo HR 120, Estados Unidos) los cuales posteriormente fueron disueltos en 100 mL de agua purificada. Para el análisis fue conveniente utilizar agua destilada o en su defecto agua purificada debido a que la cantidad de partículas en estos líquidos es mínima o casi nula, lo cual brinda una seguridad de que no se obtendrán datos erróneos en las mediciones que realice el equipo. Una vez que se obtuvo la primera solución, ésta fue introducida dentro del analizador de partículas el cual tiene que estar en funcionamiento al momento de verter la solución. El equipo se configuró a una velocidad de 30 rpm en donde el fluido pasa a través del sistema durante unos minutos hasta que el software arroja un resultado en las mediciones. Posteriormente la solución es desalojada del sistema para poder hacer un reset en el programa e introducir una solución nueva.

Como ya se mencionó, para cada sistema fue necesario realizar dos pruebas para descartar resultados menos fiables, por lo cual antes de realizar un cambio de mezcla o sistema en los polvos, posterior a desalojar a la solución del sistema, fue necesario verter una cantidad mínima de agua purificada para que el equipo la hiciera circular por el sistema y ésta removiera las partículas remanentes dentro del sistema para la obtención de una mejor medición de la siguiente solución.

Análisis de microdureza Vickers

Una vez obtenidos los compósitos sinterizados, estos fueron sometidos a un análisis de microdureza para el cual fue necesario hacer uso de un microdurómetro (Wilson Instruments Modelo S400, Japón) así como de un microscopio óptico (Nikon, Eclipse MA 200, Japón). Haciendo uso del microdurómetro, se realizaron 10 marcas de indentación en cada uno de los compósitos, los cuales fueron colocados manualmente debajo del indentador que contiene una punta de diamante que desciende sobre el compósito con una carga de 300 gr. Dicha carga fue seleccionada de acuerdo al material utilizado en los compósito el cual fue aluminio y este se caracteriza por ser un material poco duro, por lo cual, para realizar una marca de indentación no fue necesario aplicar una carga mayor sobre la superficie del compósito.

Posteriormente la muestra es retirada del microdurómetro y colocada en el microscopio óptico en el cual se pudieron observar con detalle tanto la microestructura del compósito, así como las marcas de indentación previamente realizadas. Para este caso, las observaciones de la microestructura fueron realizadas a 100 y 200 aumentos tomando al menos 2 capturas para cada aumento en diferentes zonas de la superficie del compósito. Para el caso de la marca de indentación, las observaciones se realizaron a 200 y 500 aumentos tomando 2 capturas para cada aumento.

Con ayuda de estos equipos fue posible observar la microestructura de los compósitos posterior a la sinterización y analizar la porosidad en ellos. De igual manera fue posible determinar la microdureza analizando el tamaño de la marca de indentación, partiendo del hecho de que en un material menos duro la marca realizada será más pequeña porque al indentador le cuesta más trabajo rayar la superficie. En caso contrario, un material poco duro será fácil de rayar y por ende al observar la marca en el microscopio se podrá apreciar que ésta tiene un tamaño considerable.

Determinación de densidades por principio de Arquímedes

Para la obtención de la densidad de cada uno de los compósitos fabricados, se aplicó el principio de Arquímedes el cual enuncia que un cuerpo sumergido dentro de un fluido conocido experimenta una fuerza de empuje de igual magnitud que el peso del fluido desalojado por el cuerpo.

Por tal motivo, para llevar a cabo el procedimiento fue necesario colocar en una balanza analítica cada uno de los compósitos para determinar su peso seco (W_s), después se llenó un recipiente con agua, la cual presentaba una temperatura de 26°C y una densidad de 0.99686 g/cm^3 . El recipiente con agua fue colocado en la balanza analítica y ésta fue puesta en 0 para tomar como referencia el peso del recipiente con agua. Posteriormente cada uno de los compósitos fue sumergido y suspendido dentro del recipiente para tomar el valor del peso suspendido (W_i). Finalmente, los

compósitos fueron pesados de nuevo en la balanza para obtener el valor del peso saturado (W_c). Estas tres variables son necesarias en la aplicación de las ecuaciones de densidad aparente (ρ_{ap}), densidad relativa (ρ_R) y porosidad abierta (ρ_a); así como los datos obtenidos de la temperatura y densidad del agua. De igual manera, fue necesario obtener la densidad teórica (ρ_T) la cual es resultado de una suma de productos entre la densidad de los materiales utilizados en el compuesto multiplicado por la fracción molar de ese material en el compuesto. A continuación, se muestran las ecuaciones utilizadas para la determinación de la densidad por el principio de Arquímedes.

$$(1) \rho_T = (\rho_{Al})(X_{Al}) + (\rho_G)(X_G)$$

$$(2) \rho_{ap} = \frac{W_s(\rho_{H_2O})}{(W_s - W_i)}$$

$$(3) \% \rho_R = \left(\frac{\rho_{ap}}{\rho_T} \right) \times 100$$

$$(4) \rho_a = \left(\frac{W_c - W_s}{W_c - W_i} \right) \times 100$$

RESULTADOS

Propiedades mecánicas

Los resultados de microdureza de los compósitos mostraron que la adición de las partículas de grafito como refuerzo aumenta levemente la dureza del compuesto, es decir que, de manera exponencial, cuantas más cantidades de grafito exista en el compuesto mayor será la fuerza necesaria para rasgarlo. Lo dicho anteriormente puede ser comprobado a partir de las imágenes obtenidas por el microscopio, para cada uno de los compósitos fabricados y sometidos a las pruebas de microdureza como se muestra en las Figuras 1 - 5.

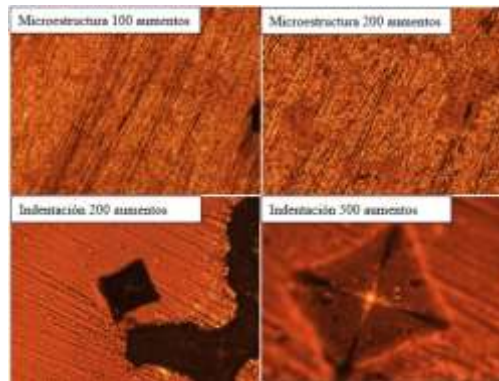


Figura 20 Microestructura e indentación del compuesto Al 10 gr – G 0 gr

Es posible observar que la marca de indentación es mayor en el primer sistema compuesto solamente por aluminio sin material de refuerzo si se miden las diagonales del rombo marca de indentación, ya que este metal tiene poca dureza, pero en cambio presenta una buena ductilidad deformándose frente a esfuerzos o cargas aplicadas sin llegar a la fractura. En la microestructura se observa que la porosidad del compuesto es mínima y no existe presencia de otro material. La poca porosidad puede atribuirse al tamaño de la partícula que en su totalidad no es uniforme, esto varía haciendo que en la etapa de sinterización cohesión de las partículas no sea perfecta.

En la Figura 2 se puede observar un cambio significativo en las marcas de indentación con respecto a lo observado en la Figura 1.

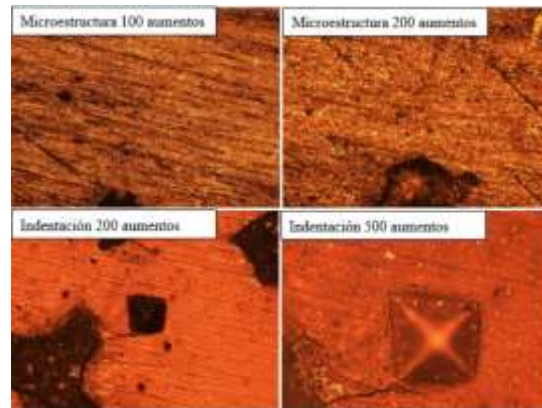


Figura 21 Microestructura e indentación del compósito Al 9.95 gr - G 0.05 gr

Para el compósito Al 9.95 gr-G 0.05 gr se observa que la marca de indentación se reduce levemente comparada con el primer sistema de aluminio puro, debido a que la adición de las partículas de grafito como refuerzo aporta una mayor dureza al compósito ya a que el grafito es estable a esfuerzos mecánicos, permitiendo así que el compósito pueda deformarse menos. En cuanto a la microestructura es posible observar en las imágenes la presencia de pequeños pigmentos de grafito dispersos por la matriz de aluminio donde además existe una porosidad mínima debido a la diferencia del tamaño entre las partículas de refuerzo y matriz.

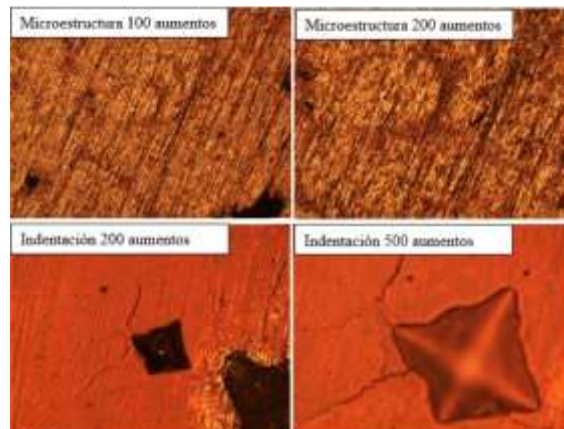


Figura 22 Microestructura e indentación del compósito Al 9.9 gr - G 0.1 gr

Lo mismo ocurre para el compósito Al 9.9 gr-G 0.1 gr en donde la presencia de los pigmentos de grafito es levemente más notoria, tal como se muestra en la Figura 3.

Para la Figura 4 no fue posible realizar dichas observaciones de manera tan clara tal como se mostraron en las imágenes anteriores debido a que el compósito resultante presentó mucha fragilidad lo que lo llevó a la fractura antes de poder realizar las pruebas.

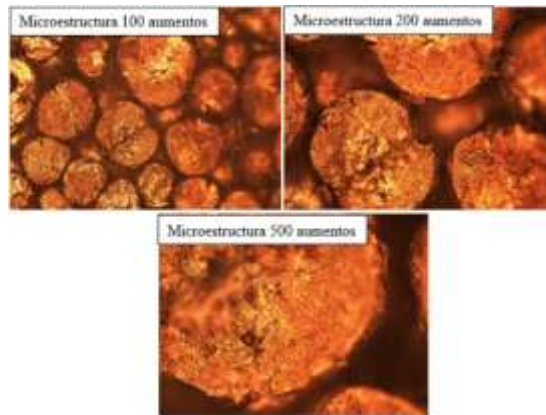


Figura 23 Microestructura del compuesto Al 9.8 gr - G 0.2 gr

De igual manera en la Figura 5, la muestra resultó ser muy frágil y con mayor porosidad de manera que no fue posible realizar un proceso de pulido adecuado para facilitar el análisis de microestructura. De cualquier manera, es posible observar la presencia del grafito como pequeños puntos negros adheridos y dispersos sobre partículas más grandes de aluminio. En ambos compósitos se presenta una microestructura irregular con una porosidad mayor en comparación con los compósitos anteriores.

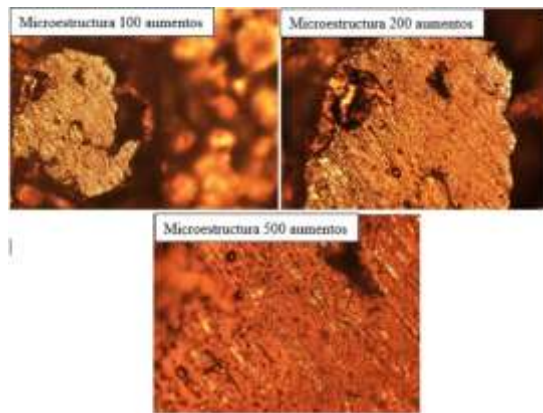


Figura 24 Microestructura del compuesto Al 9.7 gr - G 0.3 gr

En la Tabla 1 se pueden observar las propiedades presentadas por cada uno de los compósitos a esfuerzos de dureza Vickers, módulo elástico y resistencia a la compresión.

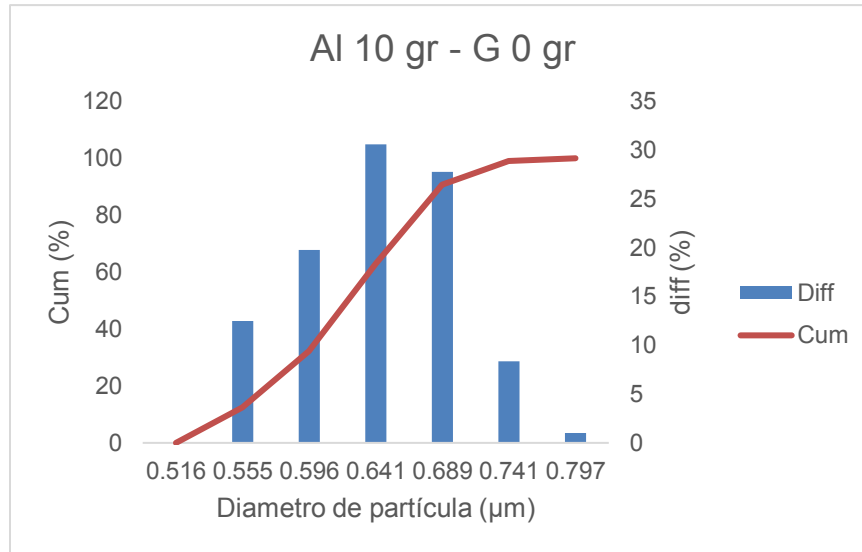
Tabla 1 Propiedades mecánicas de los compósitos Aluminio-grafito

Propiedades	G 0%	G 0.5%	G 1%	G 2%	G 3%
Módulo elástico (GPa)	65 +/- 7	66 +/- 5	68 +/- 5	69 +/- 6	73 +/- 5
Dureza (HV)	40 +/- 6	42 +/- 5	46 +/- 6	50 +/- 6	55 +/- 7
Resistencia compresión (MPa)	144	146	147	151	155

El módulo elástico se determinó por la técnica de ultrasonido y la resistencia se evaluó en compresión. El módulo elástico y la microdureza se pudieron determinar varias veces y se reporta la desviación estándar de 10 mediciones. La resistencia a la compresión debido a que es un ensayo destructivo sólo se determinó una vez.

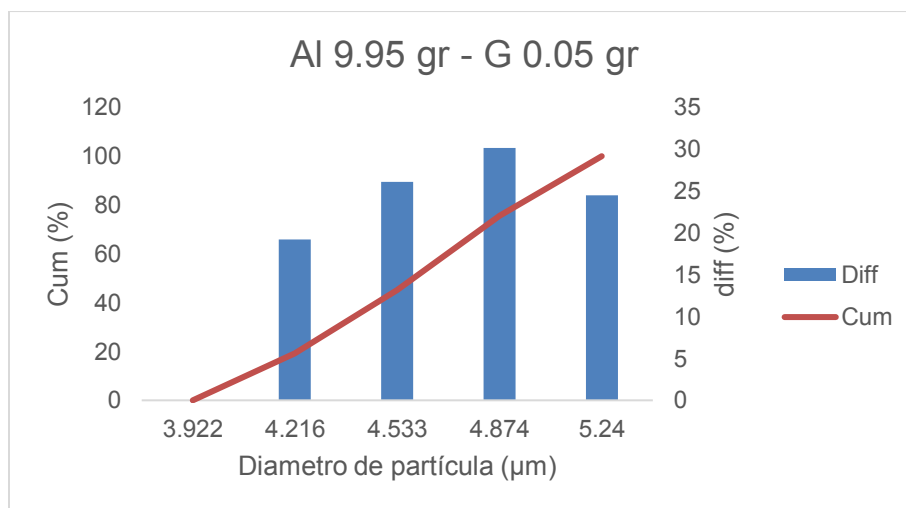
Tamaño y distribución de partícula

Los resultados de las pruebas realizadas en el analizador de partículas muestran un tamaño de partícula en el orden de los micrómetros. Existe poca variación en cuanto al tamaño de grano de cada uno de los compósitos, esto puede deberse a dos razones: el tamaño de partícula para ambos materiales (matriz y refuerzo) son muy similares, o el tamaño de las partículas de refuerzo son demasiado finas para ser detectadas fácilmente por el sensor. En la Gráfica 1 se observan los datos obtenidos por el analizador de partículas para la muestra de Aluminio sin adiciones de grafito. Los resultados obtenidos muestran un tamaño de partícula máximo alcanzado en acumulación de 0.79 μm y un tamaño mínimo de 0.51 μm . Del mismo modo, el analizador de partículas registró un porcentaje acumulado del diámetro de partícula del 75% con un tamaño de 0.64 μm .



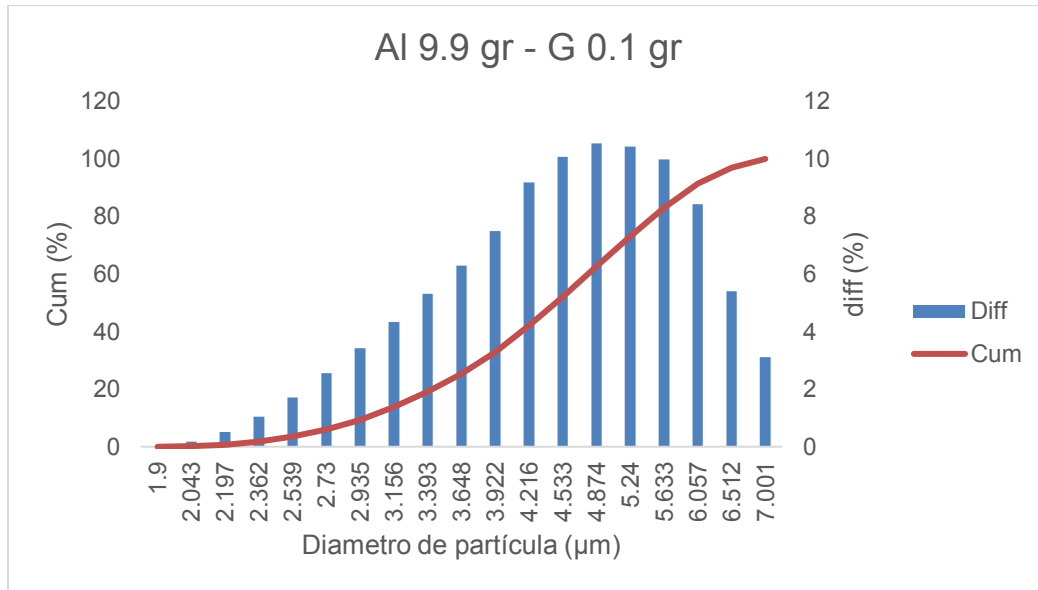
Gráfica 1 Tamaño de partícula del compuesto Al 10 gr

La Gráfica 2 pertenece al sistema Al 9.95 gr – G 0.05 gr en donde se registró un tamaño de partícula máximo de 5.24 μm y un tamaño mínimo de 3.92 μm , así como un porcentaje acumulado del diámetro de partícula del 75% con un tamaño de 4.87 μm .



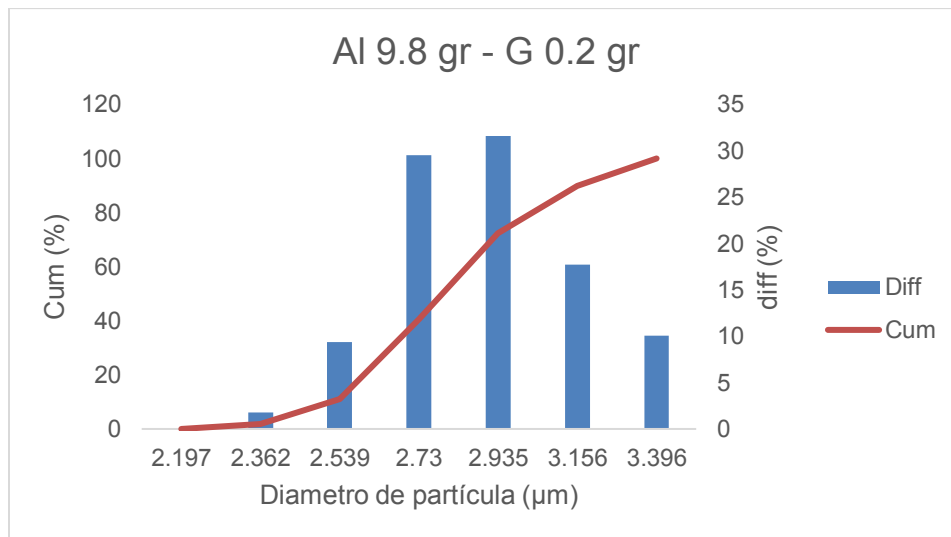
Gráfica 2 Tamaño de partícula del compuesto Al 9.95 gr - G 0.05 gr

Para el sistema Al 9.9 gr – G 0.1 gr los resultados muestran que se alcanzó un tamaño máximo de partícula de 7 µm y un tamaño mínimo de 1.9 µm. De igual manera se registró un porcentaje acumulado del diámetro de partícula del 75% con un tamaño de 5.32 µm tal como se muestra en la Gráfica 3.



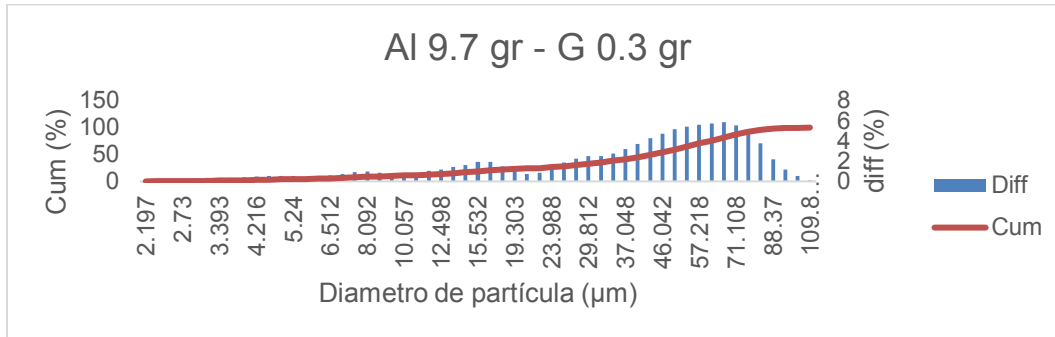
Gráfica 3 Tamaño de partícula del compuesto Al 9.9 gr - G 0.1 gr

La Figura 4 pertenece al sistema Al 9.8 gr – G 0.2 gr en donde se registró un tamaño de partícula máximo de 3.39 µm y un tamaño mínimo de 2.19 µm, así como un porcentaje acumulado del diámetro de partícula del 75% con un tamaño de 2.93 µm.



Gráfica 4 Tamaño de partícula del compuesto Al 9.8 gr - G 0.2 gr

La Figura 5 pertenece al sistema Al 9.7 gr – G 0.3 gr en donde se registró un tamaño de partícula máximo de 109.82 μm y un tamaño mínimo de 2.19 μm , así como un porcentaje acumulado del diámetro de partícula del 75% con un tamaño de 60.73 μm .



Gráfica 5 Tamaño de partícula del compuesto Al 9.7 gr - G 0.3 gr

Microestructura

A continuación, se muestran las imágenes obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) realizada a las muestras de los compósitos para determinar forma, tamaño y distribución de las partículas del material. En la Figura 6 se observa la imagen obtenida por el microscopio a los polvos de la muestra sin adición de grafito (Al 10 gr) en donde se detectan pequeñas aglomeraciones adheridas a partículas de mayor tamaño las cuales exhiben una forma de hojuelas.

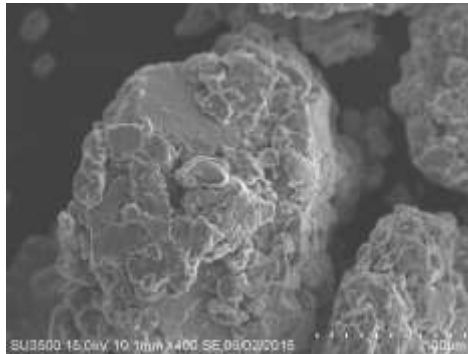


Figura 25 Micrografía MEB de polvos de Aluminio posterior al proceso de molienda

En la Figura 7 se observa la muestra Al 9.7 gr – G 0.3 gr en la cual el equipo no pudo detectar por completo las partículas de grafito debido a la baja adición de grafito, así como el tamaño de la partícula.

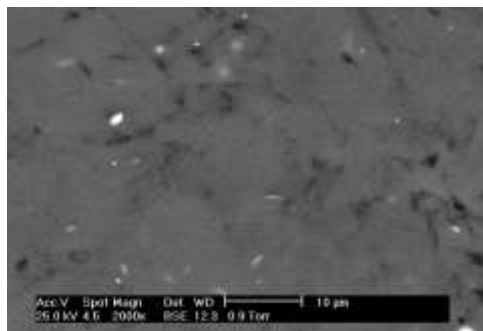
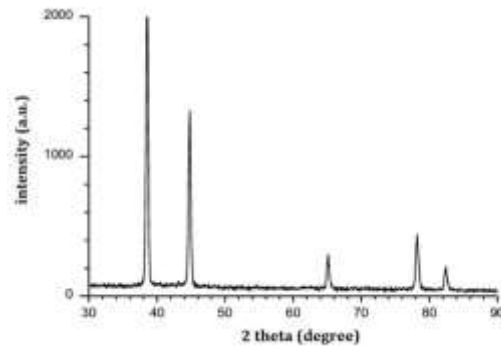


Figura 26 Micrografía MEB del compuesto Al 9.7 gr - G 0.3 gr posterior al proceso de molienda

Difracción de Rayos X

La Gráfica 6 muestra los resultados obtenidos a partir del análisis de difracción de rayos X para la muestra con 3% de adición de grafito en donde dicho material no pudo ser detectado en el análisis debido al tamaño tan fino de las partículas de refuerzo, por lo cual, los picos de intensidad graficados pertenecen a la difracción de la matriz de aluminio como se muestra a continuación.



Gráfica 6 Difractograma de la muestra Al 9.7 gr - G 0.3 gr donde solo puede ser detectado el Aluminio

Análisis fractográfico

Para los resultados del análisis fractográfico posterior a las pruebas destructivas de compresión, fue necesario utilizar un microscopio electrónico en 4 aumentos diferentes para visualizar las superficies de los compósitos como se muestra en las Figuras 8 (Al 10 gr) y 9 (Al 9.7 gr – G 0.3 gr).

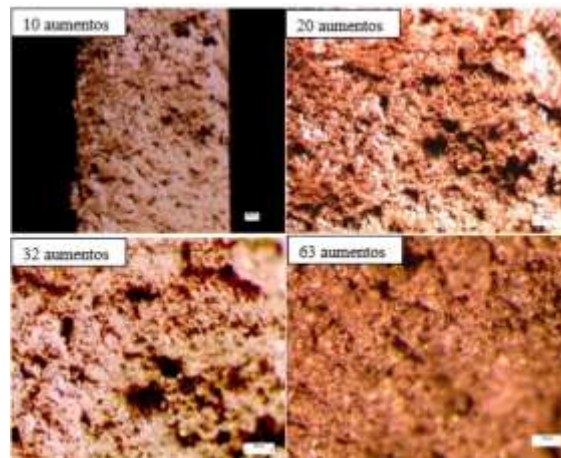


Figura 27 Fractografía de la muestra Al 10 gr - G 0 gr

A partir del análisis realizado de las superficies de fractura de ambos sistemas se observó que la muestra con aluminio puro presentó mayor ductilidad antes de fracturarse debido a que las áreas de desgarramiento presentan una región levemente más alargada en comparación con la segunda muestra. Esto quiere decir que el material tuvo una deformación o elongación hasta que la carga superó la resistencia del mismo haciendo que el material cediera.

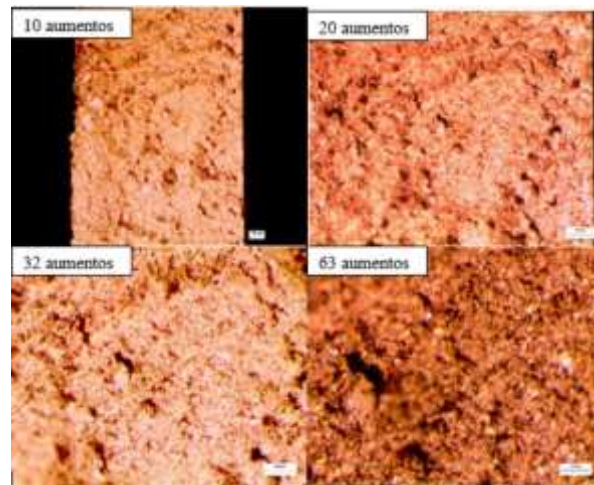
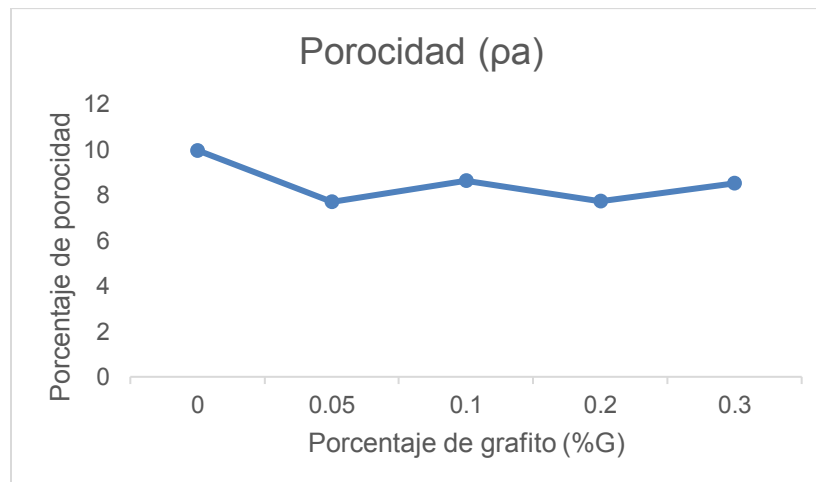


Figura 28 Fractografía de la muestra Al 9.7 gr - G 0.3 gr

En la Figura 9 donde se presenta el mayor porcentaje de grafito, la superficie de fractura indica que el compuesto se volvió más duro y por ende frágil y poco dúctil, de manera que pudo resistir el esfuerzo sin deformarse antes de ceder. Las áreas de fractura poco alargadas y con huecos marcados indican que la deformación del compuesto fue mínima por lo que mantuvo su forma antes de ceder y fracturarse.

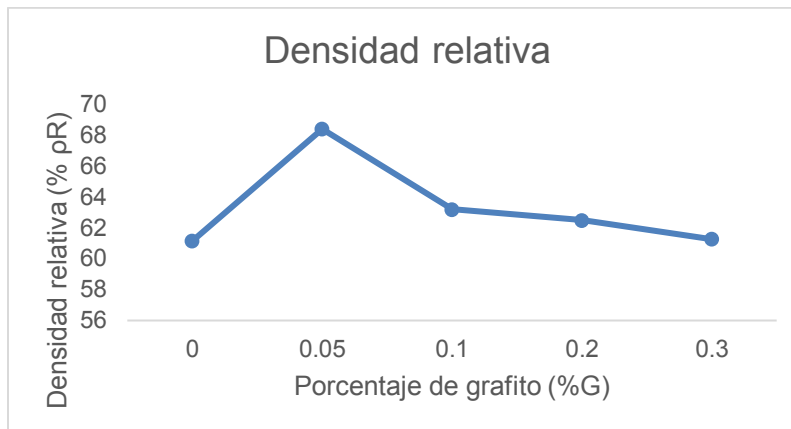
Densidad

Los resultados de densidad relativa y porosidad abierta se obtuvieron aplicando el principio de Arquímedes y tal como se muestra en las Gráficas 7 y 8, los resultados obtenidos con base en las ecuaciones aplicadas son inversos entre sí.



Gráfica 7 Se muestra los resultados obtenidos para la porosidad abierta de los compósitos Al-grafito

Se evaluaron los 5 sistemas fabricados y los resultados posterior a la aplicación del principio muestran que el sistema con 0% adiciones de grafito tiene una menor densidad y, por ende, su porcentaje de porosidad abierta es mayor



Gráfica 8 Se muestran los resultados obtenidos para la densidad relativa de los compósitos Al-grafito

Se puede observar que al variar en 0.5 la adición de grafito, la densidad relativa aumenta disminuyendo el porcentaje de porosidad abierta

CONCLUSIONES

En el presente estudio se buscó determinar la mejora en las propiedades mecánicas en compósitos de matriz metálica agregando en proporción equiatómica cantidades de grafito. El resultado de la síntesis fueron 5 sistemas con 0, 0.5, 1, 2 y 3% de grafito. Los compósitos fueron fabricados por la técnica de metalurgia de polvos, la cual suele ofrecer mayor facilidad para manufactura de piezas complejas, así como un costo bajo costo de producción.

De acuerdo a los resultados obtenidos se observó que, de manera proporcional al aumento de grafito en la matriz de aluminio, se incrementaron las propiedades de módulo elástico, dureza y resistencia a la compresión, así como al desgarro ya que el material de refuerzo se comporta estables antes esfuerzos externos aportando dichas propiedades al compósito. El tamaño del grano fino resultó ser adecuado para la obtención de propiedades mecánicas buenas.

Los datos de densidad muestran que el compósito con 0% de adiciones de grafito presenta una densidad relativa baja y por ende un índice de porosidad alto, en comparación con la muestra de 0.5% de grafito la cual mostro un aumento considerable en densidad relativa en comparación con el resto de las muestras.

Posterior a la sinterización, las muestras con 0.2 y 0.3% de grafito mostraron un aumento en su fragilidad hasta llegar a la ruptura antes de realizarles las pruebas planeadas. Dicho efecto puede deberse a causas como una elevada temperatura de sinterización o fuerza de compactación inadecuada.

En las pruebas MEB y de rayos X, las partículas de grafito no pueden ser observadas en el compósito, esto es debido al tamaño tan fino del polvo. Los átomos del grafito pueden introducirse en la estructura cristalina del aluminio evitando así ser detectado por los equipos. Sin embargo, la distribución de las cargas en las pruebas mecánicas muestra aumento proporcional en las propiedades.

BIBLIOGRAFÍA

1. Estrada-Guel, I., Carreño-Gallardo, C., Mendoza-Ruiz, D. C., Miki-Yoshida, M., Rocha-Rangel, E., & Martínez-Sánchez, R. (2009). Graphite nanoparticle dispersion in 7075 aluminum alloy by means of mechanical alloying. *Journal of Alloys and Compounds*, 483(1-2), 173-177.
2. Estrada-Guel, I., Carreno-Gallardo, C., Cardoso-Cortés, J. L., Rocha-Rangel, E., Herrera-Ramírez, J. M., & Martínez-Sánchez, R. (2010). Effect of metallic addition on mechanical properties in an aluminum-graphite composite synthesized by means of mechanical milling. *Journal of Alloys and Compounds*, 495(2), 403-407.

3. Estrada-Guel, I., Carreño-Gallardo, C., & Martínez-Sánchez, R. (2012). Study of Al-Graphite composites prepared by mechanical processing in a high-energy ball mill. *Microscopy and Microanalysis*, 18(S2), 1566-1567.
4. Estrada-Guel, I., Carreño-Gallardo, C., & Martínez-Sánchez, R. (2012). Effect of carbon nanoparticles addition on the mechanical properties of an aluminum composite prepared by mechanical milling and leaching process. *Journal of alloys and compounds*, 536, S175-S179.
5. LARA, R. D., GUTIERREZ, C. E. O., GUEL, I. E., & RAMIREZ, J. M. H. (2012). Caracterización Mecánica y Microestructural de un Compósito Al 7075-Grafito Fabricado Mediante Molienda Mecánica y Extrusión en Caliente.
6. LARA, M. R. D. (2013). *Síntesis de un compósito Al7075-G mediante aleado mecánico y extrusión en caliente* (Doctoral dissertation, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS).
7. Lugo, E. C. (2018). SÍNTESIS Y DISPERSIÓN DE GRAFENOS EN UNA ALEACIÓN DE ALUMINIO 7075.
8. CAMPOS, R. F., GUEL, I. E., YOSHIDA, M. M., RAMIREZ, J. M. H., & Sánchez, R. M. (2010). Conformación de nanocompuestos de aleación Al7075 y nanopartículas de plata mediante metalurgia de polvos

EFFECTO DEL GRAFITO EN LAS CARACTERÍSTICAS SEMICONDUCTORAS DE DIFERENTES ÓXIDOS CERÁMICOS

Francisco Yael Flores Pérez¹, Enrique Rocha Rangel², Juan López Hernandez³

Universidad Politécnica de Victoria
yael.contact21@hotmail.com

RESUMEN

En años recientes se han realizado esfuerzos para el desarrollo de celdas solares más eficientes y hasta hoy no se ha logrado transformar el cien por ciento de la energía captada por estos dispositivos. Dentro de las partes que conforman una celda solar, el material semiconductor empleado es el más importante debido a que es quien se encarga de permitir el flujo de electrones cuando estos son liberados. El grafito es un material con buenas características eléctricas, ya que la resistencia eléctrica de este material es muy baja. Considerando esta situación en este trabajo se planteó el objetivo de Estudiar el efecto de la adición de grafito en las propiedades semiconductoras de diferentes óxidos cerámicos (TiO_2 , ZnO y Al_2O_3) y en la eficiencia de celdas solares sensibilizadas construidas con los mismos materiales. La incorporación del grafito a cada uno de los óxidos cerámicos de estudio se obtuvo por medio de una intensa molienda mecánica de alta energía en un molino planetario, para ello se llevaron a cabo mezclas durante 2 horas a 300 rpm para conseguir una mezcla homogénea de los materiales en polvo. A continuación, los polvos fueron conformados en pastillas cilíndricas mediante prensado uniaxial a 250Kg/cm^2 durante 20 segundos. Posteriormente las muestras compactadas fueron sinterizadas a 1500°C durante 2 horas en un horno eléctrico de resistencias. De entre los principales resultados obtenidos se tiene que la microestructura de los compósitos resultantes es fina y homogénea con tamaños de grano de aproximadamente 1 micra. El análisis de difracción de rayos-X indica la presencia de las fases iniciales en la muestra por lo que se puede decir que no hubo contaminación durante la molienda ni la generación de fases nuevas. De las mediciones de resistividad eléctrica en los materiales resultantes se tiene una mejora considerable en las características dieléctricas (menor resistividad) en los mismos, lo que es un indicativo de mejora en las capacidades semiconductoras de los óxidos cerámicos estudiados reforzados con grafito.

INTRODUCCIÓN

De años recientes a la fecha ha incrementado el interés en los materiales a nano escala basados en carbono, como los fullerenos, los nanotubos, grafito y el grafeno, debido a sus nuevas propiedades. Estos materiales exhiben muchos fenómenos exóticos, por ejemplo, superconductividad, semiconductividad, conductividad térmica y elevadas propiedades mecánicas, además de que son muy ligeros y estables químicamente.

La presente investigación se enfoca en analizar el efecto que tiene el grafito al incorporarse en algunos óxidos cerámicos ya establecidos. Para ello se utilizó el método de procesamiento de polvos para obtener los compuestos para su estudio.

Un enfoque para aprovechar estas excelentes propiedades para su aplicación es incorporar estos materiales de carbono en otros materiales para formar compuestos. El carbono existe en muchas formas entre ellas: diamante, grafito y fullerenos, el grafito es anisotrópico, siendo un buen conductor eléctrico y térmico dentro de las capas (debido a la unión metálica en el plano) y un mal conductor eléctrico y térmico perpendicular a las capas (debido a las débiles fuerzas van der Waals entre las capas). [1] El grafito tiene una estructura de capa en la que los átomos se encuentran en un patrón hexagonal dentro de cada capa y estas capas se apilan en secuencia [1,2].

Por su estructura molecular, el grafito puede reaccionar a varias sustancias químicas para poder formar nuevos compuestos. Los compuestos de grafito se clasifican en tres grupos, los compuestos de superficie, compuestos sustitucionales y compuestos de intercalación. [3]

Los compuestos de sustitución de grafito [3] contienen las especies extrañas sustitutivamente.

Los compuestos de intercalación de grafito [4-6] son compuestos intersticiales en los que la especie extranjera se incluye en los sitios interplanares intersticiales del cristal de grafito de tal manera que

la estructura de capa de la red de grafito se mantiene. Estos compuestos son los más conocidos de todos los compuestos de grafito.

Durante los últimos años se han realizado diferentes experimentos con el procesamiento de polvos, utilizando óxidos cerámicos combinados con polvos naturales de grafito para estudiar sus propiedades y beneficios que el material con la incorporación de carbono puede proporcionar.

Un estudio realizado en el Shanghai Institute of Ceramics (Ting He, Jianlin Li, Lianjun Wang, Juanjuan Zhu and Wan Jiang) [7], sobre el fresado de bolas de polvos mixtos de alúmina-grafito, durante el cual se produjeron láminas de grafito, donde también se describe la consolidación de los polvos compuestos de alúmina/grafeno, preparados por SPS ("spark plasma sintering" obtención de materiales y dispositivos de interés en catálisis).

En la universidad Carlos III de Madrid se realizó una investigación sobre la síntesis y caracterización de los sistemas Eu_2O_3 y Gd_2O_3 utilizando la molienda mecánica para trabajar los polvos de dichos materiales. Se menciona que la aplicación de la molienda mecánica de alta energía es una tecnología utilizada desde hace muchos años en la industria farmacéutica, mejorando la homogeneización de los diferentes productos que después se compactan en frío. También se ha utilizado en la industria metalúrgica en procesos de trituración, afino y homogeneización de polvos, y en química extractiva (preparación de cementos y hormigón, preparación de pinturas y pigmentos metálicos). El cambio de su uso para crear nuevos materiales comienza con las aleaciones resistentes por dispersión de óxidos. [8]

PARTE EXPERIMENTAL

A través de técnicas de polvos se fabricaron materiales compuestos base óxido cerámico (TiO_2 y Al_2O_3) dopados con grafito, en donde la cantidad a añadir de este último será de: 1 y 2 % para cada compuesto. El proceso de polvos es descrito en la Figura 1, comienza recolectando los materiales requeridos en polvos para después ser molidos en un molino planetario seguido de un prensado uniaxial para compactar los polvos en forma de pastilla para posteriormente sinterizarlos en un horno y así conseguir pastillas para su experimentación.

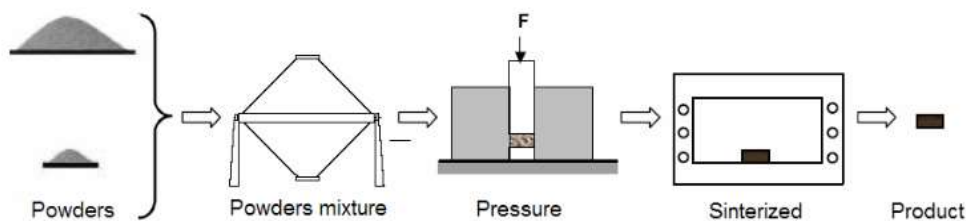


Figura 29 Metodología procesamiento de polvos

Molienda.

En base a las composiciones antes mencionadas, los polvos se pesarán con ayuda de una balanza analítica para formar así las diferentes mezclas. A continuación, los polvos serán sometidos a un proceso de molienda y mezclado en un molino de alta energía tipo planetario para obtener un grano más fino y para formar una mezcla homogénea. Los parámetros de molienda empleados en todas las 5 mezclas serán los siguientes: molienda durante 3 horas a 300 rpm, usando alcohol isopropílico como agente de control y manejando una relación peso de bolas a peso de polvo de 10:1.

Prensado.

Una vez molidos los polvos se procederá a prensarlos de forma uniaxial usando 250 Kg/cm^2 para formar pastillas cilíndricas con un diámetro y altura promedio de 10.5mm y 3mm respectivamente. Para ello se hará uso de un dado de acero grado herramienta.

Sinterizado.

A continuación, todas las pastillas serán sinterizadas en un horno eléctrico a 1,500 °C durante 2 horas, con un calentamiento de 10 °C/min (ver Figura 2). El horno tendrá una atmósfera protectora de nitrógeno para evitar la oxidación del grafito.



Figura 30 Tiempo de sinterizado

Una vez obtenidas las pastillas se procede con las pruebas experimentales, las cuales en esta investigación fueron determinar el tamaño de partícula, la densidad/porosidad por método de Arquímedes, microestructura, difracción de rayos x, capacitancia y resistividad.

Tamaño de partícula

Para determinar el tamaño de partícula se utilizó un analizador granulométrico (Shimadzu SALD-201VM2, Japón) donde se debía agregar 0.1 gramos de polvo de nuestro compuesto en un recipiente con 100 mililitros de agua destilada y diluir lo más posible y vaciarlo a la máquina para que, por medio de un sensor, determine el tamaño de partícula del compuesto.

Densidad por método de Arquímedes

Para determinar la densidad y porcentaje de porosidad en las muestras se utilizó el método de Arquímedes, consiste en obtener los pesos de las pastillas, primeramente, el peso en seco pesando únicamente las pastillas, después el peso suspendido, la pastilla se sumerge en un recipiente lleno de agua suspendida en medio del líquido y se registra el peso cuando se sumerge la pastilla y por último el peso saturado que se obtiene pesando la pastilla mojada.

Estos pesos obtenidos se utilizaron en fórmulas para obtener las densidades y porosidad de las muestras, empezando con las fórmulas para obtener la densidad teórica y densidad aparente.

$$(1) \rho_{Teorica} = (\rho_{ceramico}) * (fracción molar) + (\rho_{Grafito}) * (fracción molar)$$

$$(2) \rho_{Aparente} = \frac{ws(\rho_{H2O})}{ws - wi}$$

Teniendo estos resultados de cada pastilla, se procedió a utilizar la fórmula para obtener la densidad relativa, que nos indica que tan densas son las muestras.

$$(3) \rho_{relativa} = \frac{\rho_{Aparente}}{\rho_{Teorica}} * 100$$

Y por último se obtuvo el porcentaje de porosidad de las pastillas con la siguiente fórmula.

$$(4) Porosidad = \frac{wc - ws}{wc - wi} * 100$$

Siendo:

ws = peso de pastilla en seco

wc = peso de pastilla saturado

w_i = peso de pastilla suspendido

Análisis de microestructura

Para el análisis de microestructura se utilizó un microscopio electrónico de barrido para obtener imágenes de la superficie de cada pastilla a 100 y 200 aumentos, para esto previamente se lijó una de las caras de cada muestra lo más posible a conseguir una cubierta espejo. En el caso de estas muestras, las pastillas que se obtuvieron son lo suficientemente frágiles para soportar el proceso de lijado, por tal motivo se lijó lo mejor posible para evitar que estas se rompieran.

Difracción de rayos x

Las pastillas se sometieron a un análisis de espectroscopia de rayos x, para esta prueba se necesitó mandar las muestras a los laboratorios del politécnico nacional en ciudad de México, ya que en nuestra universidad no contamos con tal equipo. Este estudio se realizó con el fin de corroborar la existencia de carbono en el contenido de las muestras.

Capacitancia

La prueba de capacitancia se realizó con el fin de comprobar la capacidad que tienen las pastillas para almacenar energía eléctrica, para esto se utilizó un medidor de capacitancia conectado a las pastillas por medio de unas placas de cobre del tamaño del diámetro de las pastillas.

Resistividad

Para la prueba de resistividad se utilizó una fuente de voltaje DP1308A para realizar las mediciones, con el fin de analizar el comportamiento de las pastillas frente al paso de corriente eléctrica para comprobar que tan buenos o malos conductores son, un valor alto de resistividad en el experimento indica que el material es un mal conductor, mientras que un valor bajo en la prueba indica que el material es un buen conductor.

RESULTADOS

Los resultados en el análisis de microestructura se obtuvieron las imágenes de la superficie de cada pastilla a 100 y 200 aumentos (Figuras 3 y 4).

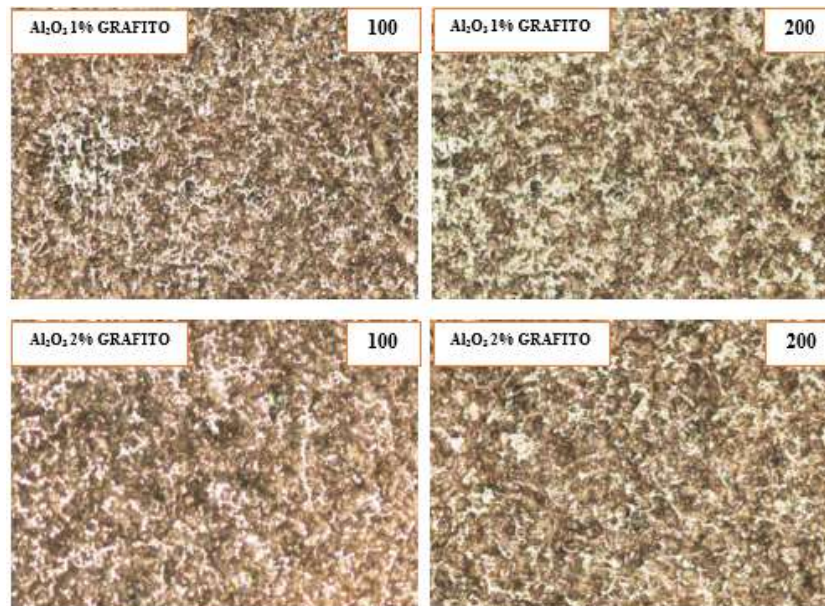


Figura 3 Microestructura de muestras de alúmina

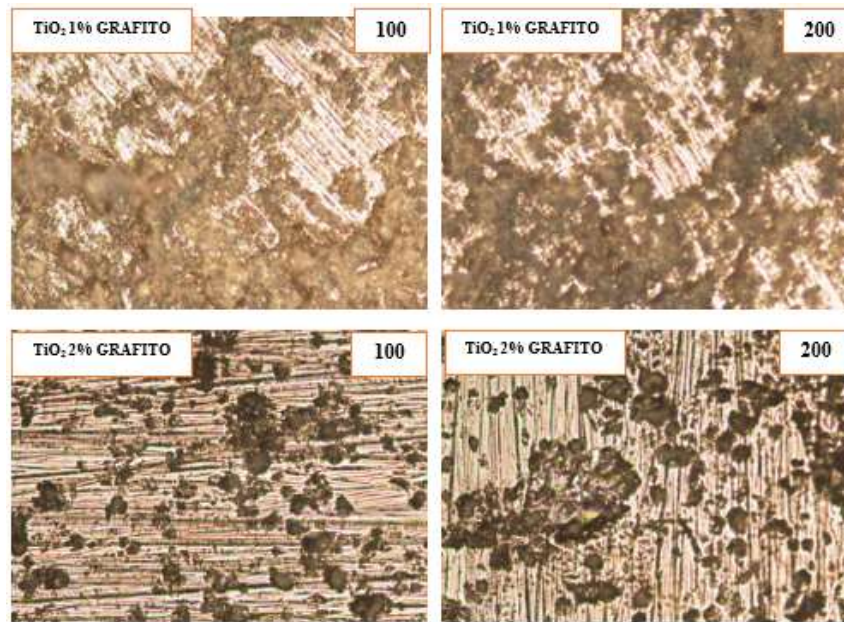


Figura 4 Microestructura de muestras de Oxido de titanio

En estas figuras se pueden observar las diferentes superficies de cada pastilla, destacando su porosidad. Analizando las imágenes se puede destacar que las muestras de óxido de titanio presentan una mejor apariencia que las de alúmina, esto se dio porque las muestras de óxido de titanio salieron menos frágiles a comparación con las de alúmina lo que permitió obtener un acabado en las caras más aproximado a un acabado espejo, que es el ideal para poder apreciar mejor la microestructura de un material.

Para el análisis de tamaño de partícula se introdujo una muestra que contenía 0.1 gr de polvo en 100 ml de agua en el analizador granulométrico, para poder observar la reducción de partícula obtenida gracias a la molienda. En el caso del compuesto de Al₂O₃ con 1 % de grafito el diámetro de la partícula máximo obtenido en acumulación fue de 5.24µm que a su vez obtuvo un 75% de acumulación por promedio de diámetro de 4.095µm, como puede observarse en la Figura 5.

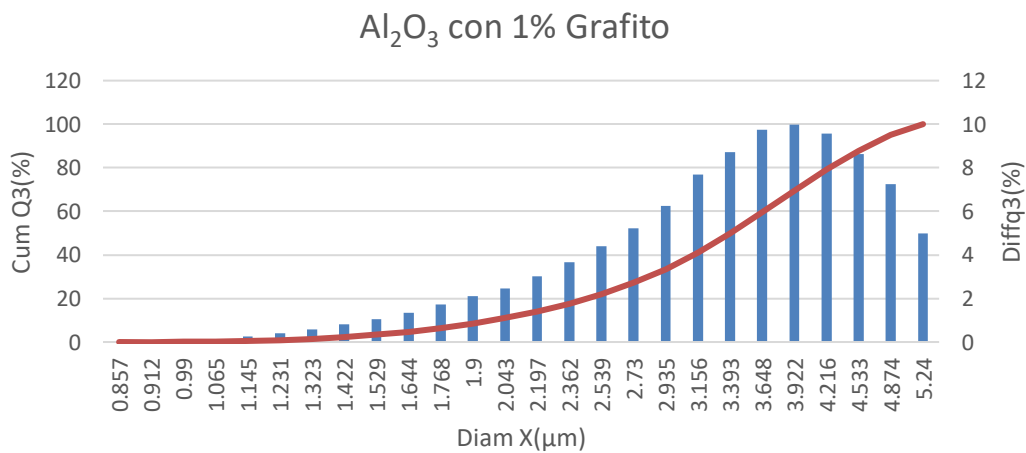


Figura 5 Tamaño de partícula Al₂O₃ con 1% Grafito

En la Figura 6 correspondiente a la composición Al_2O_3 con 2 % de grafito, el máximo diámetro obtenido por acumulación fue de $9.354\mu m$ y con un 75% de acumulación por promedio fue de $6.92\mu m$.

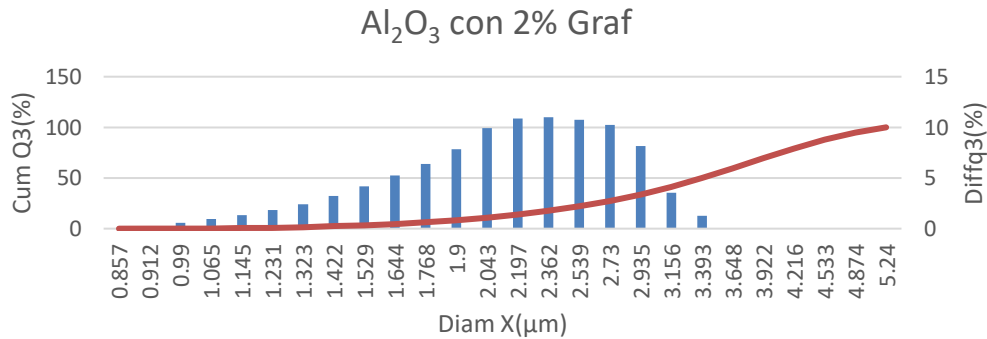


Figura 6 Tamaño de partícula Al_2O_3 con 2% Grafito

Para la gráfica correspondiente a la muestra de TiO_2 con 1% de grafito (Figura 7), el diámetro máximo por acumulación fue de $0.596\mu m$ considerablemente menor a los diámetros máximos obtenidos en las muestras de Al_2O_3 /grafito y aun así se obtuvo con un 75% de acumulación por promedio un diámetro menor, que fue de $0.471\mu m$.

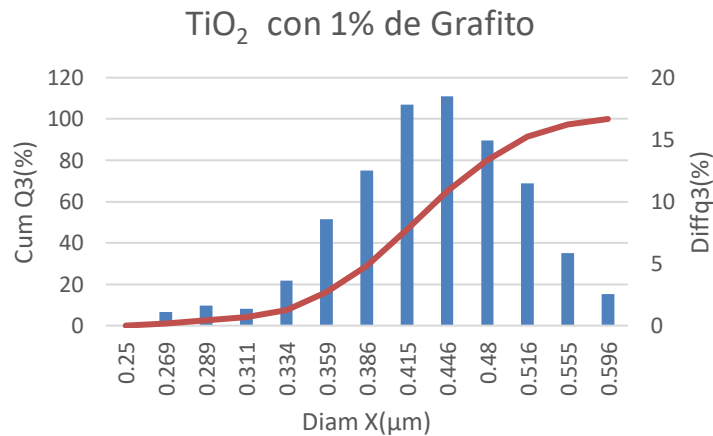


Figura 7 Tamaño de partícula TiO_2 con 1% Grafito

Comparando el resultado de la Figura 7 con el de la Figura 8, el tamaño máximo de diámetro de partícula en la del compuesto TiO_2 con 2% de grafito fue de $0.99\mu m$, lo que indica que es mayor al compuesto de TiO_2 con 1% de grafito y también obteniendo un 75% de los datos de $0.809\mu m$.

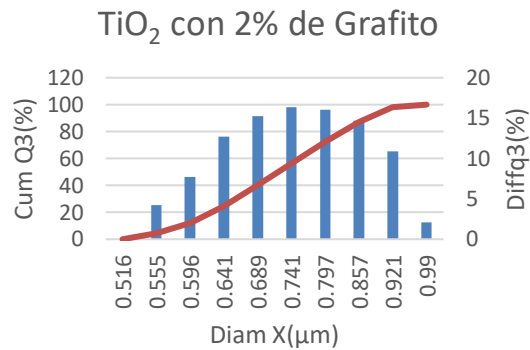


Figura 8 Tamaño de partícula TiO₂ con 2% Grafito

Para los resultados en la experimentación de densidad y porosidad por método de Arquímedes, fue necesario obtener los pesos en seco, suspendido y saturado de cada pastilla para realizar los cálculos correspondientes, estos resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 Pesos de pastillas

Muestras/peso de muestras	Peso seco	Peso Suspendido	Peso Saturado
Al ₂ O ₃ 1% Grafito	1.1097	0.382	1.1962
Al ₂ O ₃ 2% Grafito	1.1314	0.3804	1.2193
TiO ₂ 1% Grafito	0.9394	0.2886	0.9669
TiO ₂ 2% Grafito	0.453	0.2102	0.4575

En el análisis del principio de Arquímedes para obtener la densidad de las muestras los resultados obtenidos con los cálculos se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2 Resultados de análisis de Arquímedes

Resultados Densidades/Porosidad				
Muestras	Teórica	Aparente	Relativa	Porosidad
Al ₂ O ₃ 1% Grafito	3.9328	1.5218917	38.69741	10.6239253
Al ₂ O ₃ 2% Grafito	3.9156	1.5035116	38.39799	10.4780069
TiO ₂ 1% Grafito	4.21	1.4405673	34.21775	4.05425328
TiO ₂ 2% Grafito	4.19	1.8620016	44.43918	1.81965224

Las Figuras 9 y 10 muestran con mayor detalle la comparación entre los resultados de las 4 muestras donde se puede destacar que las pastillas de oxido de titanio fueron las menos porosas siendo la de 2% de grafito la que tiene menos porosidad y es más densa.

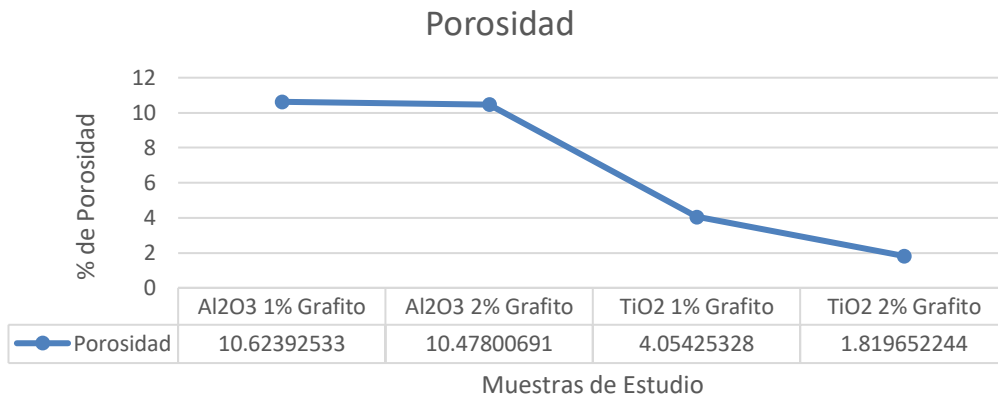


Figura 9 Resultados en gráfica de Porosidad

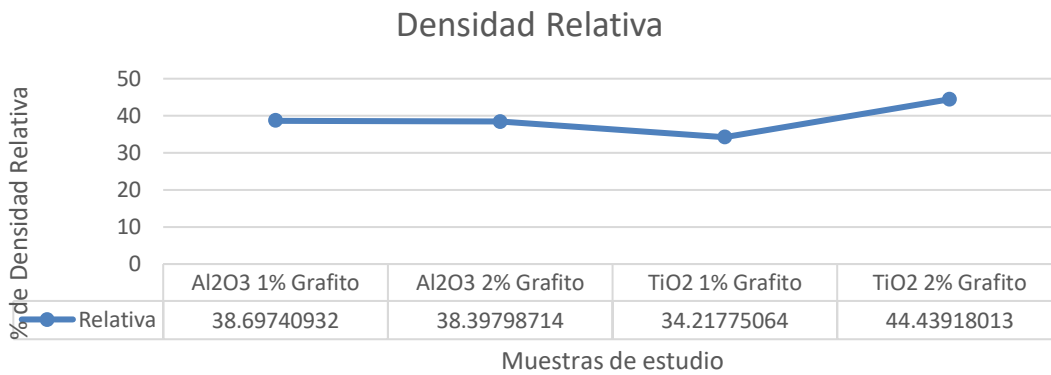


Figura 10 Resultados en gráfica de Densidad relativa

La prueba DRX se realizó con el fin de corroborar la composición de las muestras de estudio y para asegurarse de que las composiciones no se contaminaron con otros elementos, los espectros resultantes de este análisis se presentan en las Figuras 11 y 12.

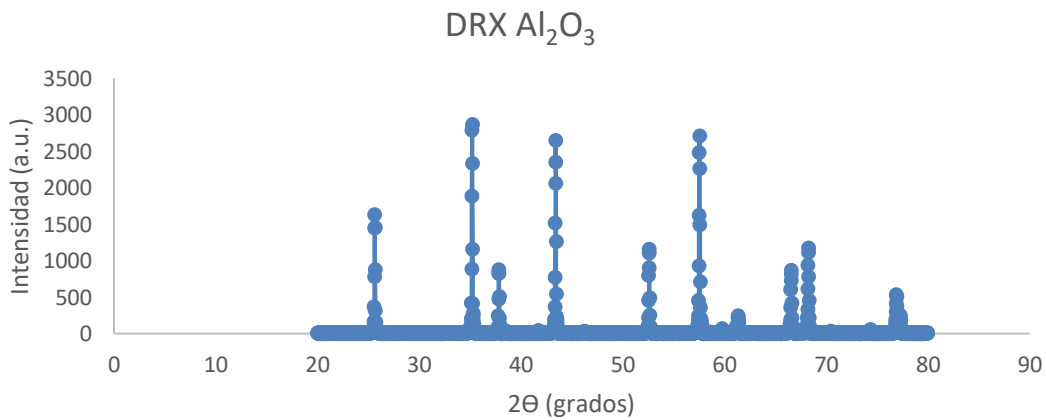


Figura 11 Resultados DRX Al₂O₃

La gráfica de difracción de la alúmina muestra que el compuesto no fue contaminado, las intensidades mostradas concuerdan con su posición en 2θ .

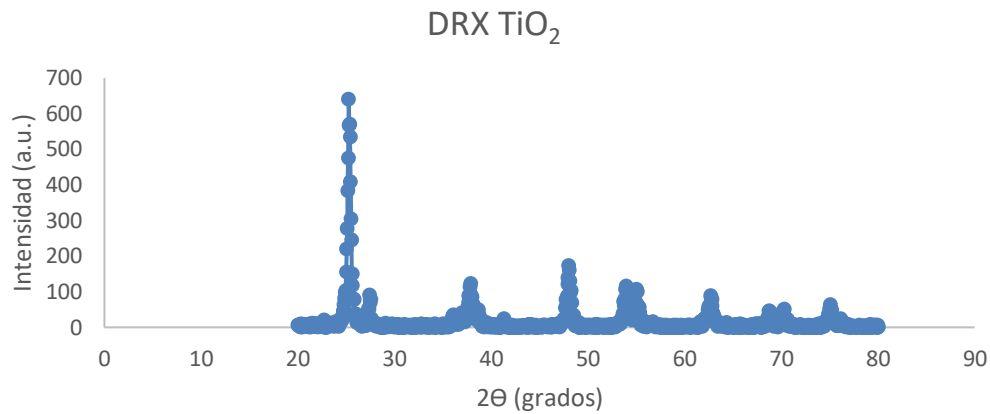


Figura 12 Resultados DRX TiO₂

Las gráficas de difracción arrojaron resultados favorables ya que los picos de intensidad están posicionados correctamente sobre su posición en 2θ , tanto el compuesto de oxido de titanio como el de la alúmina no fueron contaminados. Cabe resaltar que el grafito no se detectó en esta prueba ya que la cantidad de grafito añadida fue muy pequeña lo que lo hace de difícil detección. Los resultados de la prueba de capacitancia arrojaron que el compuesto con más capacidad de almacenar energía eléctrica en comparación con los demás es el TiO₂ con 1% de grafito, tal como se muestra en la figura 13.

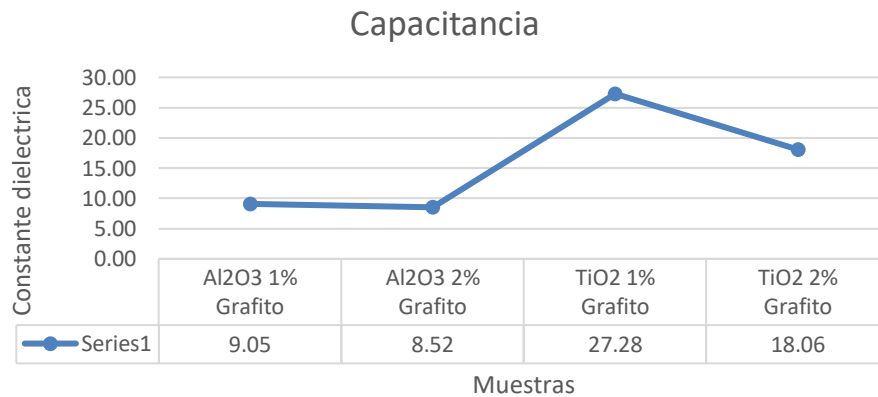


Figura 13 Capacitancia de las pastillas

Para la prueba de resistividad el compuesto TiO₂ con 2% fue el que obtuvo el valor más alto lo que lo convierte en un mal conductor eléctrico en comparación con el compuesto Al₂O₃ con 1 % de grafito que fue el menos resistivo lo que lo convierte en el compuesto mas conductor de los cuatro.

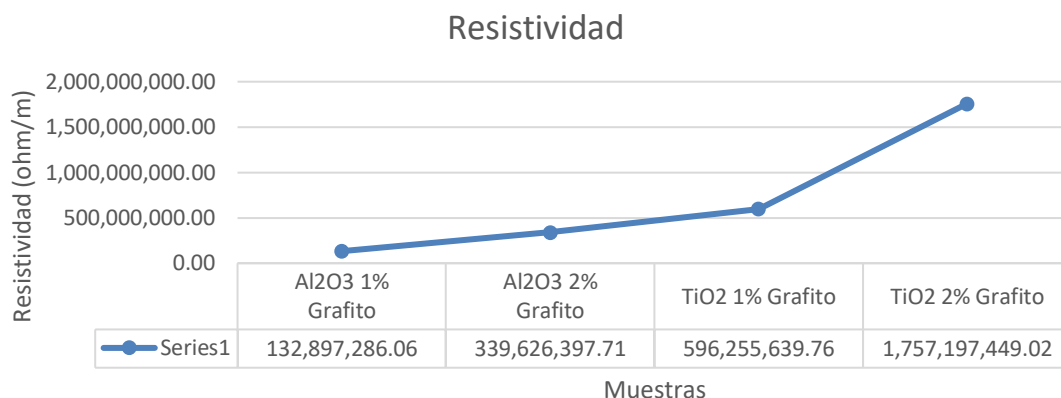


Figura 14 Resistividad de las pastillas

CONCLUSIONES

Los experimentos realizados mostraron que los compuestos de alúmina y óxido de titanio combinados con grafito se han fabricado con éxito con el uso del método de molienda de polvos con molino de alta energía. Estas investigaciones revelan que, a través de la selección de cantidades apropiadas de los componentes, es posible diseñar la microestructura y optimizar las propiedades del compuesto.

La adición del grafito a los óxidos cerámicos aumenta sus propiedades semiconductoras, principalmente con la alúmina que tuvo resultados más favorables comparado con las muestras de óxido de titanio.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chung, D. D. L. (2002). Review graphite. *Journal of materials science*, 37(8), 1475-1489.
2. Bernal, J. D. (1924). The structure of graphite. *Proceedings of the Royal Society of London. Series A, Containing Papers of a Mathematical and Physical Character*, 106(740), 749-773.
3. Majalca, B. C. H. (2018). Síntesis y Caracterización de Nanocompuestos de Óxido de Grafeno/Dióxido de Titanio para la Evolución Fotocatalítica de Hidrógeno a partir de la Molécula del Agua (Doctoral dissertation, CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN MATERIALES AVANZADOS).
4. Cournand, A. R., Riley, R. L., Breed, E. S., Baldwin, E. D., Richards, D. W., Lester, M. S., & Jones, M. (1945). Measurement of cardiac output in man using the technique of catheterization of the right auricle or ventricle. *The Journal of clinical investigation*, 24(1), 106-116.
5. Rüdorff, W. (1959). Graphite intercalation compounds. In *Advances in inorganic chemistry and radiochemistry* (Vol. 1, pp. 223-266). Academic Press.
6. Ebert, L. B. (1976). Intercalation compounds of graphite. *Annual Review of Materials Science*, 6(1), 181-211.
7. He, T., Li, J., Wang, L., Zhu, J., & Jiang, W. (2009). Preparation and consolidation of alumina/graphene composite powders. *Materials transactions*, 50(4), 749-751.
8. Campos, B. (2011). Síntesis y caracterización de los sistemas Eu₂O₃ y Gd₂O₃ por molienda mecánica. Leganés: Autor-Editor (Universidad Carlos III de Madrid).

SÍNTESIS Y CARACTERIZACIÓN DE ALEACIONES DE ALTA ENTROPÍA DEL SISTEMA $\text{Al}_x\text{CoCuFeNiTi}$ ($x = 0.45, 1, 2.5, 5 \text{ MOL}$)

Manuel Alejandro Peña Herrera, Enrique Rocha Rangel

Universidad Politécnica de Victoria.
1330017@upv.edu.mx

RESUMEN

Las aleaciones de alta entropía (HEA, por sus siglas en inglés) son una nueva clase de aleaciones multicomponentes, que consisten en cinco o más elementos metálicos con proporciones equiatómicas en el rango de 5-35 % at. A pesar del gran número de elementos de aleación, los HEAs pueden exhibir fases de solución sólida simples, como las fases cúbicas centradas en las caras (FCC), cúbicas centradas en el cuerpo (BCC), además de ser altamente estables. Debido a que el sistema de hexacomponentes de CuCrFeNiTiAl_x ha sido poco documentado en la literatura, sistema que podría presentar propiedades interesantes debido a las posibles estructuras que se pueden formar entre sus constituyentes. En este trabajo se fabricó la aleación CuCrFeNiTiAl_x ($x = 0, 0.45, 1, 2.5, 5 \text{ mol}$) mediante aleado mecánico para determinar el efecto del aluminio en la evolución de fases durante el proceso y su impacto en las propiedades mecánicas. Las condiciones experimentales empleadas fueron; durante la molienda se ocuparon polvos de Al, Cr, Cu, Fe, Ni y Ti de una pureza superior al 99% con un tamaño de malla de -325. Usando bolas de ZrO_2 de 3mm de diámetro como medio de molienda, en una proporción de peso de bola a polvo de 12:1. La molienda se realizó a 300 rpm durante 180 minutos. El prensado de los polvos se llevó a cabo usando una prensa uniaxial y presiones de compactación de 25 MPa. Las muestras prensadas fueron sinterizadas en un horno eléctrico a $1,300^\circ\text{C}$ durante 2 horas en atmósfera de nitrógeno. De los resultados se tiene que, aunque, las condiciones de molienda establecidas promovieron efectivamente la reducción del tamaño de las partículas en el sistema estudiado, las condiciones de sinterización influyeron notablemente en la microestructura final y, por tanto, en las características físicas de los especímenes. En este sentido, se podían obtener cuerpos más densos aumentando la temperatura de sinterización, evitando al mismo tiempo el tiempo de retención sobre la sinterización. Al aumentar la concentración de Al, las aleaciones de alta entropía sufren una transformación microestructural, de una sola fase de FCC a una mezcla de fases coexistentes hechas de fases de FCC y BCC, así como la precipitación de compuestos intermetálicos de FeAl_3 , Al_3Ni , TiAl y Ti_3Al . La aleación HEA que alcanzó la mayor dureza es la que tiene el mayor contenido de Al. Estas aleaciones se endurecen significativamente con la adición de Al, debido a la formación de la fase BCC, la fuerte unión atómica entre el Al y otros elementos, el mayor radio atómico del Al, así como al hecho de que el aluminio forma compuestos intermetálicos, particularmente con el Ni y el Ti.

INTRODUCCIÓN

Las aleaciones de alta entropía (HEA, por sus siglas en inglés) son una nueva clase de aleaciones multicomponentes, que consisten en cinco o más elementos metálicos con proporciones equiatómicas o casi equiatómicas en el rango de 5-35 % at [1]. A pesar del gran número de elementos de aleación, los HEAs pueden exhibir fases de solución sólida simples, como las fases cúbicas centradas en la cara (FCC), cúbicas centradas en el cuerpo (BCC) o incluso hexagonales y compactas (HCP). Esto se debe a su alta entropía configuracional [2]. Desde que las aleaciones de alta entropía fueron definidas en 2004 [3], han atraído significativamente el interés debido a su composición única, microestructura y excelentes propiedades, tales como alta resistencia con ductilidad moderada, estabilidad térmica, resistencia a la corrosión y al desgaste, etc. El procesamiento de este tipo de aleaciones se ha hecho principalmente a través de fusión en hornos eléctricos, con el problema de que al solidificar los elementos químicos se segregan, trayendo como consecuencia microestructuras heterogéneas y por consiguiente bajas propiedades mecánicas. Una alternativa que ha cobrado fuerte interés últimamente es fabricar estas aleaciones a través de metalurgia de polvos, en donde al no llegarse al punto de fusión durante el procesamiento las microestructuras de las aleaciones son más homogéneas y por consiguiente deben presentar mejores propiedades mecánicas.

El sistema AlxCrCuFeNiTi es una de las aleaciones de alta entropía (HEA) menos investigadas, sin embargo, se sabe que las HEA poseen propiedades altamente atractivas. El Al es un elemento muy dúctil y de bajo punto de fusión, experimentalmente se ha definido que favorece las propiedades mecánicas [4]. No obstante, el Fe, Ti y Ni son elementos que se usan como elementos bases en las superaleaciones [5], cabe mencionar que son de interés en aplicaciones ingenieriles por su extraordinario desempeño mecánico, resistencia mecánica a elevada temperatura y su resistencia a la corrosión.

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo para la obtención de las aleaciones de alta entropía AlxCrCuFeNiTi se realizó por medio de cuatro etapas que son las siguientes: molienda, prensado, sinterización y caracterización.

Para la fabricación de dicha aleación se utilizaron respectivos polvos elementales con una pureza de 99.98% como materia prima. Dichos polvos se mezclaron en composiciones equiatómicas para cada sistema respectivamente como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Porcentaje de polvos en cada mezcla

Metal \ No. Mezcla	1	2	3	4	5
Aluminio	0%	0.5%	1%	2.5%	5%
Cobalto	18.70%	18.6%	18.56%	18.20%	17.70%
Hierro	20.09%	19.99%	19.89%	19.59%	19.09%
Titanio	17.22%	17.12%	17.02%	16.72%	16.22%
Cobre	22.86%	22.76%	26.66%	22.36%	21.86%
Níquel	21.11%	22.01%	20.91%	20.61%	20.11%

Molienda

En base a las cantidades mencionadas en la tabla anterior, los polvos se pesaron con ayuda de una balanza analítica (Marca A&D, serie Orión, modelo HR 120, Estados Unidos) para formar así las 5 mezclas. Posteriormente, los polvos fueron sometidos a un proceso de molienda en un molino de alta energía tipo planetario de bolas (RETSCH, PM100, Alemania), para obtener un grano más fino y para formar una mezcla homogénea. Los parámetros de molienda empleados en las 5 mezclas fueron los siguientes: molienda durante 3 horas a 300 rpm, usando alcohol isopropílico como agente de control y manejando una relación peso de bolas a peso de polvo de 12:1.

Prensado

Una vez molidos los polvos se procedió a compactarlos uniaxialmente en una prensa hidráulica para laboratorio (MONTEQUIPO, Estado de México, México) usando 300 Kg/cm² para formar pastillas cilíndricas con un diámetro y altura promedio de 10.5mm y 3mm respectivamente. Para ello se usó un dado de acero grado herramienta.

Sinterizado

Todas las pastillas o muestras fueron sinterizadas en un horno eléctrico (Carbolite RHF17/3E, Inglés) a 1300°C durante dos horas, con un calentamiento de 20°C/min y una atmosfera protectora de nitrógeno para evitar la oxidación de las aleaciones.

Prueba de densidad

Esta prueba se realizó por medio del método de Arquímedes, para poder determinar el porcentaje de la densidad relativa de cada una de las muestras o pastillas. Para esto, se obtuvieron los pesos en seco (Ws), pesos suspendidos (Wi) y pesos saturados (Wc). Posteriormente se utilizaron la densidad teórica (ρ_T) y densidad aparente (ρ_A) dadas por las siguientes formulas:

$$(1) \rho_T = (\rho(Al)) * (\text{fracción molar}) + (\rho(Co)) * (\text{fracción molar}) + (\rho(Cu)) * (\text{fracción molar}) + (\rho(Fe)) * (\text{fracción molar}) + (\rho(Ni)) * (\text{fracción molar}) + (\rho(Ti)) * (\text{fracción molar})$$

$$(2) \rho_A = \frac{W_s (\rho_{H_2O})}{W_s - W_i}$$

Y con esto, se determinó el porcentaje de la densidad relativa (ρ_r) dada por las siguiente formula:

$$(3) \rho_r = \frac{\rho_A}{\rho_T} * 100$$

Caracterización de las aleaciones

Una vez obtenidas las muestras de estudios, estas fueron caracterizadas mediante análisis microestructural. Determinación de propiedades mecánicas tales como su microdureza, módulo elástico y resistencia a la compresión.

RESULTADOS

Se utilizó un microscopio electrónico de barrido (SEM, por sus siglas en inglés) para estudiar la microestructura de la muestra sinterizada. La distribución de los elementos obtenida por el análisis de mapeo SEM muestra que la distribución de los elementos de aleación no es uniforme (Figura 1), sino que tiende a concentrarse en el área prioritaria, ya que este análisis se toma de una parte muy pequeña de la muestra.

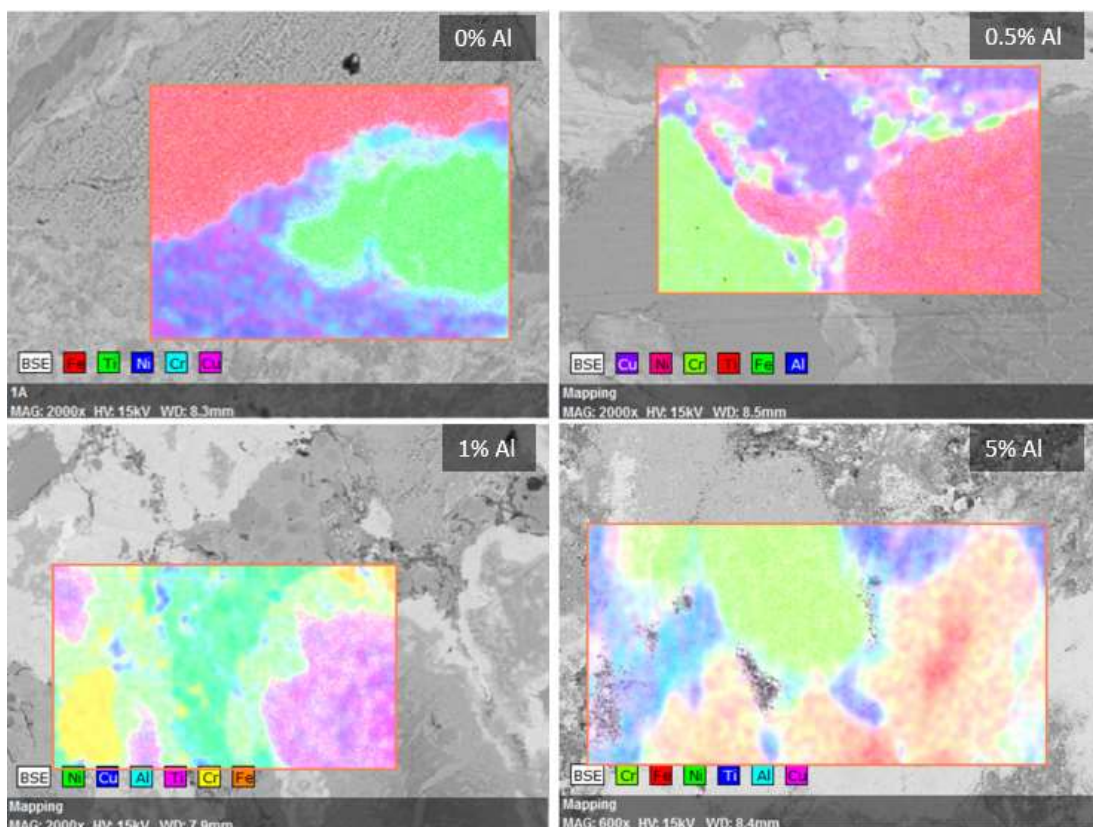


Figura 1: Análisis de mapeo SEM

En la Figura 2 se presentan las microestructuras de las diferentes aleaciones, aquí se observa que, a mayor adición de Al, existe una porosidad similar en la estructura de la aleación, pero con una mayor concentración de material en diferentes áreas.

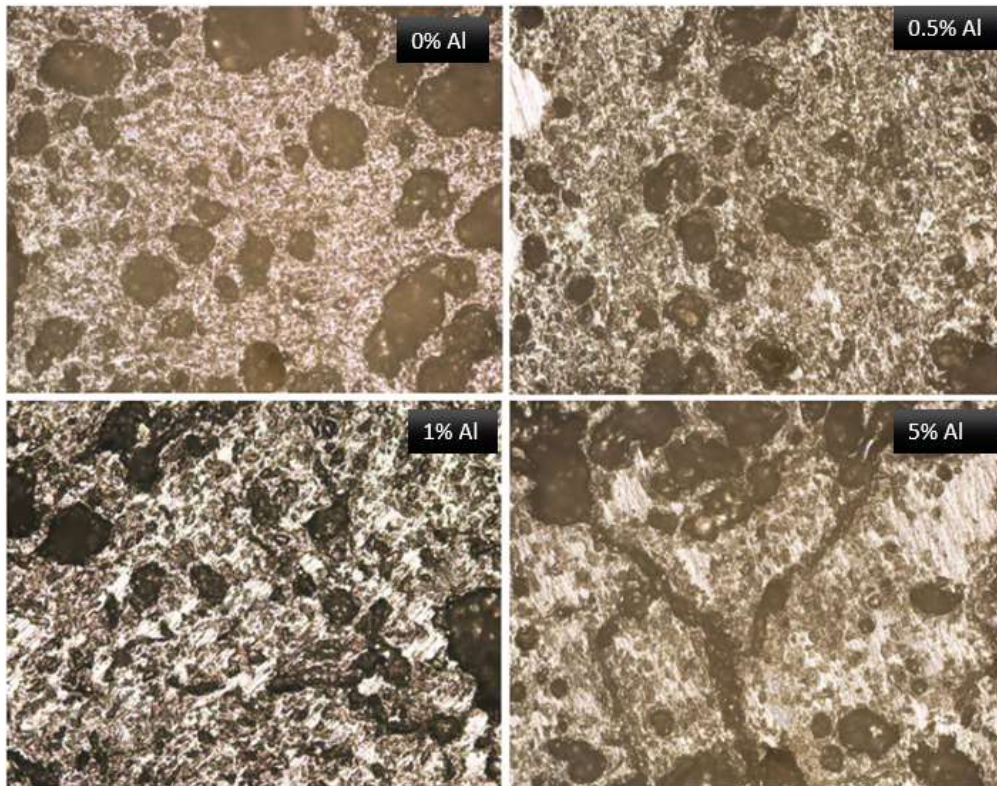


Figura 2: Micrografías ópticas de las muestras.

También se observó que, a mayor porcentaje de Al en la aleación, se registraron mejores propiedades mecánicas. En cuanto al módulo elástico de la muestra de 0% en comparación a la de 0.5% no hay una diferencia muy notable, en cambio, comparando las muestras de menor (0%) y mayor (5%) porcentaje de Al, se registró un incremento de mayor relevancia.

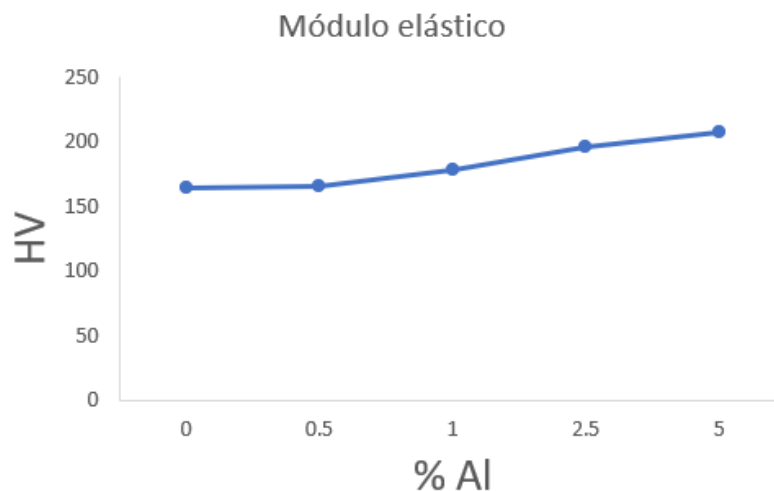


Figura 3: Resultados de las pruebas del módulo elástico.

Para las pruebas de microdureza se pudo observar en la Figura 4 que, comparando las muestras de 0% y 0.5% existe una mejora significativa en la dureza de la aleación, sin embargo, para las muestras de 0.5% y 1%, no se observó un incremento importante, ya que solo hay una diferencia de 5 HV. No

obstante, para las muestras de 1% y 2.5%, se comenzó a ver un incremento notable. Cabe señalar que en el caso de las muestras de 2.5% y 5% hubo un aumento del 41% en su dureza.

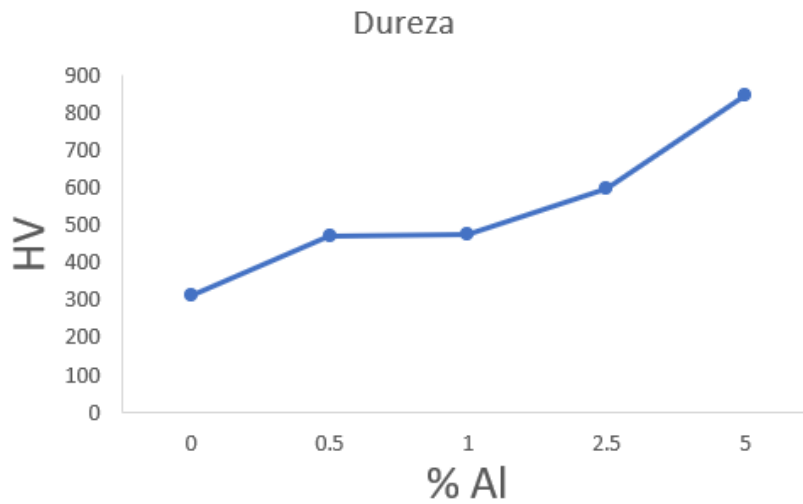


Figura 4: Resultados de las pruebas de microdureza.

En cuanto a las pruebas de resistencia a la compresión, se puede observar en la Figura 5 que, de igual manera existe un aumento en tal propiedad, sin embargo, de una manera más tenue.

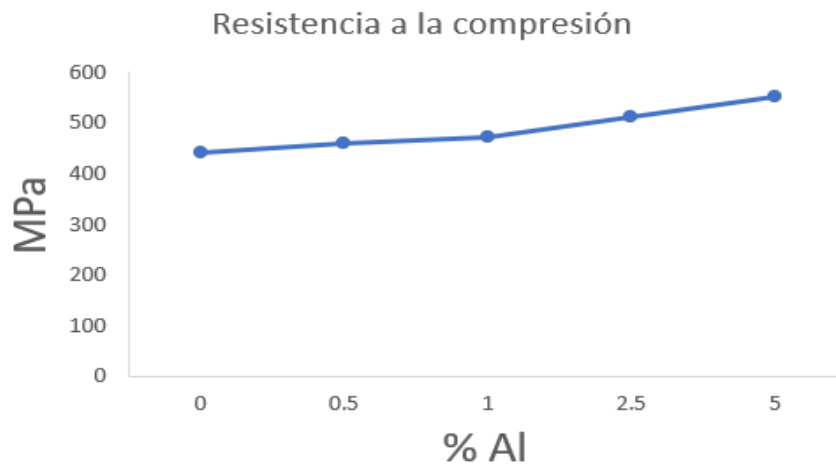


Figura 5: Resultados de las pruebas de resistencia a la compresión.

Los resultados obtenidos en las pruebas de las propiedades mecánicas, mostraron que la muestra con 5% de Aluminio obtuvo los mejores valores, a excepción de la prueba de densidad (Figura 6), no obstante, a comparación sigue siendo un valor aceptable.

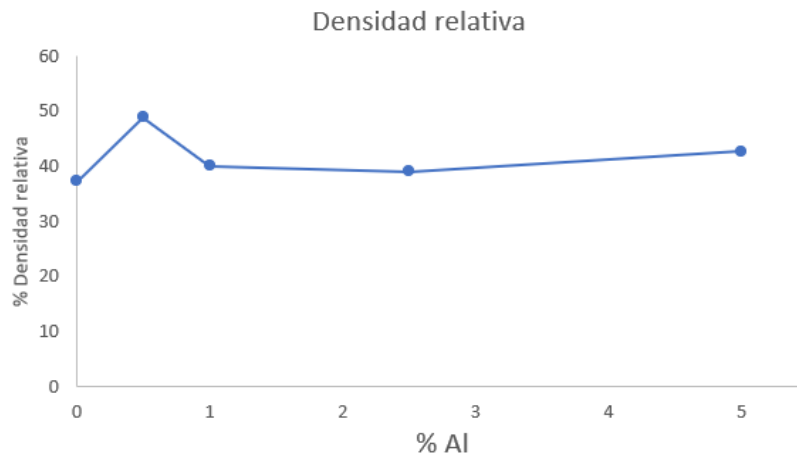


Figura 6: Resultados de las pruebas de densidad.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo, se procesaron 5 muestras de aleaciones de alta entropía, a través de la técnica de metalurgia de polvos y sinterización convencional. Se caracterizaron microestructuralmente los efectos de las adiciones de Al en el sistema CoCuFeNiTi. Con base a los resultados obtenidos, la aleación HEA que alcanzó la mayor dureza es la que tiene el mayor contenido de Al.

Al aumentar la concentración de Al en estas aleaciones, incrementa las propiedades mecánicas. Además, la concentración del material aumenta y la distribución de la microestructura se vuelve más uniforme.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. Singh, N. Wanderka, B.S. Murty, U. Glatzel, J. Banhart, Decomposition in multi-component AlCoCrCuFeNi high-entropy alloy, *Acta Mater.*, 59 (2011) 182-190.
2. B.S. Li, Y.P. Wang, M.X. Ren, C. Yang, H.Z. Fu, Effects of Mn, Ti and V on the microstructure and properties of AlCrFeCoNiCu high entropy alloy, *Mater. Sci. Eng. A* 498 (2008) 482-486.
3. Y.-J. Hsu, W.-C. Chiang, J.-K. Wu, Corrosion behavior of FeCoNiCrCu high-entropy alloys in 3.5% sodium chloride solution, *Mater. Chem. Phys.*, 92 (2005) 112-117.
4. J.W. Yeh, S.K. Chen, S.J. Lin, J.Y. Gan, T.S. Chin, T.T. Shun, C.H. Tsau, S.Y. Chang, Nanostructured High-Entropy Alloys with Multiple Principal Elements: Novel Alloy Design Concepts and Outcomes, *Adv. Eng. Mater.*, 6 (2004) 299-303.
5. T.S. Sidhu, S. Prakash, R.D. Agrawal, Studies of the metallurgical and mechanical properties of high velocity oxy-fuel sprayed stellite-6 coatings on Ni- and Fe-based superalloys, *Surf. Coat. Technol.*, 201 (2006) 273-281.

MODELACIÓN NUMÉRICA DE UNA BÓVEDA DE CAÑÓN TIPO UBICADA EN CELAYA, GUANAJUATO

*Francisco Adolfo Granados García¹, Jatziri Yunuén Moreno Martínez², Arturo Galván Chávez², Otoniel Palacios Hernández²

¹Estudiante, Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. Av. Ing. Javier Barros Sierra #201Esq. Av. Baja California, Ejido Santa María del Refugio, C.P: 38140, Celaya, Gto. Teléfono: (461) 598-5922 ext 1627. *Autor para correspondencia: francisco-adolfo55@hotmail.com

²Profesor de Tiempo Completo, Licenciatura en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato, Campus Celaya-Salvatierra. Av. Ing. Javier Barros Sierra #201Esq. Av. Baja California, Ejido Santa María del Refugio, C.P: 38140, Celaya, Gto. Teléfono: (461) 598-5922 Ext. 1627.

RESUMEN

Los templos conforman la mayor parte de las estructuras históricas que han sido construidas por nuestros antepasados y que sobreviven hasta nuestros días. El Estado de Guanajuato cuenta con un gran número de construcciones de este tipo; de entre las cuales, cierta cantidad se encuentra dañada debido únicamente a su peso propio. Es por esto que, resulta importante realizar análisis que nos permitan conocer el estado estructural de estas construcciones antiguas para evitar el progresivo deterioro que han acumulado con el paso de los años y que podría resultar en la desaparición de las mismas. El objetivo general de este trabajo es simular la respuesta estructural de secciones transversales de bóveda de cañón de mampostería histórica bajo peso propio, caso de estudio bóveda de cañón corrido del Templo de San Juan de Dios ubicado en Celaya, Guanajuato. El método utilizado para el análisis es mediante elementos finitos tridimensionales isoparamétricos de ocho nodos, cada nodo tiene tres grados de libertad de traslación en las direcciones de los ejes x, y, z. Para modelar el comportamiento de la mampostería se utilizó el modelo de daño de William Warnke, el cual tiene la capacidad de agrietarse a tensión y aplastarse a compresión. Asimismo, se utilizó el criterio de fluencia de Drucker Prager para considerar las deformaciones plásticas del material. Las propiedades mecánicas del material fueron tomadas de la literatura, esto debido a que no es posible realizar pruebas destructivas del material por tratarse de un patrimonio histórico, siendo valores consistentes con el caso de estudio. Se compararon los daños producidos en el modelo numérico con el daño en la estructura real, observándose en el modelo la acumulación de agrietamientos en la clave y en los riñones de la bóveda, mientras que en la estructura real se puede observar únicamente el agrietamiento en los riñones. Sin embargo, esta diferencia es probablemente debido a una reciente restauración del templo. Por lo tanto, el modelo numérico realizado presenta una buena aproximación al comportamiento de la estructura real con la metodología de simulación empleada y puede resultar útil para futuros casos de análisis con estructuras similares.

INTRODUCCIÓN

La construcción de los templos en el Estado de Guanajuato inició en el siglo XVI, lo que indica que a lo largo del tiempo se han enfrentado a diversas solicitaciones que han puesto a prueba su configuración estructural; principalmente solicitaciones estáticas debido a que la región no se caracteriza por tener una presencia abundante de movimientos sísmicos. Hoy en día cierto número de los templos que se ubican en el estado se encuentran en peligro debido a fallas estructurales relacionadas con el peso propio de su estructura; las principales razones de esta problemática son el desconocimiento de las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en los diseños estructurales y a la degradación de los materiales con el paso del tiempo debido a las considerables cargas gravitacionales a los que se encuentran sometidos.

Es debido a esto que, resulta necesario tener revisiones frecuentes para asegurar la estabilidad estructural por peso propio de los templos antiguos. Sin embargo, los métodos, normativas de diseño y construcción de las estructuras modernas resultan inadecuados para representar de manera directa el comportamiento de los edificios históricos debido a la complejidad geométrica y distintas propiedades mecánicas de los materiales presentes en estos. No obstante, se han desarrollado diversos modelos constitutivos de materiales que implementados en herramientas de análisis numérico pueden representar de manera adecuada el comportamiento mecánico de las estructuras

de mampostería histórica. De igual manera, se han desarrollado diversos enfoques de estudio que permiten analizar a las estructuras mediante diferentes escalas según sean las necesidades requeridas.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede establecer que mediante la utilización de las herramientas tecnológicas con las que se cuenta hoy en día es posible realizar análisis de estructuras históricas con gran nivel de detalle y precisión; con el fin de establecer parámetros de riesgo que sirvan como base para generar recomendaciones de futuras investigaciones en los templos antiguos. Es debido a esto que se ha utilizado una metodología de este tipo para realizar el análisis del estado estructural del caso de estudio del Templo de San Juan de Dios ubicado en la ciudad de Celaya, Guanajuato.

MÉTODOS DE ANÁLISIS DE MAMPOSTERÍA HISTÓRICA

El análisis de estructuras antiguas es una tarea complicada debido a diversos factores que intervienen tanto en la caracterización de la mampostería como en la modelación de la estructura. Algunos de estos factores son la escasa información acerca de la constitución interna de los elementos estructurales y las diferencias importantes en las propiedades mecánicas de los distintos tipos de mampostería, dentro de un elemento o en diferentes partes de una estructura.

Existen diversos métodos de análisis numéricos para estudiar la mampostería, el que es considerado para este trabajo es el método de los elementos finitos considerando un comportamiento no-lineal. Este método brinda la posibilidad de incorporar un modelo constitutivo para simular los principales fenómenos que están asociados con la falla del material, como lo es el agrietamiento de la estructura. Según Laurenço (1996), en el uso del método de los elementos finitos para la modelación de mampostería existen tres escalas de estudio: macromodelos, micromodelos simplificados y micromodelos detallados. Cada uno de ellos tiene diversas ventajas según el tipo de estructura y estudio que se pretenda realizar, para este trabajo se optó por un macromodelo. Este macromodelo es en donde los bloques, las juntas de mortero y las interfases entre estas últimas y las unidades sólidas se agrupan como un solo material con propiedades homogenizadas (Chávez, 2010). En la Figura 1 se muestra el concepto de un macromodelo de mampostería.

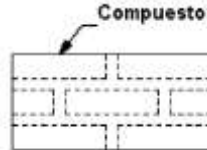


Figura 31. Macromodelo de mampostería regular (Laurenço, 1996)

Debido a lo mencionado anteriormente, es necesario establecer un modelo constitutivo para reproducir el comportamiento de la estructura de una manera adecuada. Uno de los modelos que funciona para representar la mampostería es el de Willam y Warnke (1975), este modelo ha sido ampliamente utilizado por diversos autores para analizar el comportamiento de mamposterías sin refuerzo. Aunque este modelo fue desarrollado para el concreto reforzado, puede ser utilizado para la mampostería histórica, solo ignorando el acero de refuerzo. De igual manera, para calcular los efectos multiaxiales de los esfuerzos, es necesario considerar las deformaciones plásticas; de lo contrario, no es posible simular los mecanismos de colapso de las estructuras de mampostería. Para esto se adopta uno de los criterios de falla utilizados para los modelos con elasticidad no lineal, el más comúnmente usado es el criterio de falla de Drucker-Prager.

Tomando lo anterior como base, la mampostería histórica puede asumirse como un concreto ciclópeo para su modelación numérica. Es por esto que, el modelo constitutivo seleccionado para este desarrollo es el implementado para el concreto en el software ANSYS Mechanical APDL 16.2; el cual, utilizando el criterio de falla de Drucker Prager y la superficie de falla de Willan - Warnke, simula el comportamiento no lineal de materiales cuasi-frágiles. Emplea elementos tridimensionales denominados "solid65"; estos elementos isoparamétricos cuentan con ocho nudos y ocho puntos de integración, cada nudo tiene tres grados de libertad de traslación, en las direcciones de los ejes "x", "y" y "z" (ANSYS 2016), como se muestra en la Figura 2.

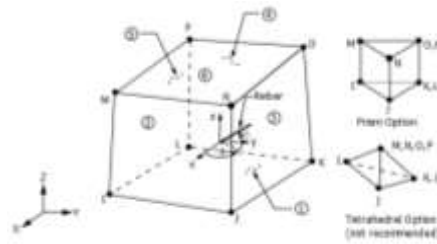


Figura 32. Geometría del elemento solid65 (ANSYS 2016)

Estos elementos tienen la capacidad de agrietarse (en tres direcciones ortogonales) y aplastarse en todos sus puntos de integración según sean los esfuerzos a los que estén sometidos; así mismo, de simular la deformación plástica. Esto siempre que se le asignen las propiedades del material requeridas para el análisis.

CASO DE ESTUDIO

El proceso de selección de la estructura para el presente trabajo consistió en ubicar las construcciones que pertenecieran a la época colonial dentro del Estado de Guanajuato, posteriormente se redujo el número a los templos de una sola nave por ser los de interés para este estudio, independientemente de la estructuración de la bóveda. Finalmente, se priorizaron las edificaciones que, según los registros históricos, contaran con nulas o mínimas modificaciones estructurales conforme a su construcción original. De esta manera, se seleccionó para este análisis el Templo de San Juan de Dios (TSJD). Una vez que se seleccionó el caso de estudio, se recabó la información referente a las dimensiones de la sección de bóveda requerida para la correspondiente modelación numérica como se muestra en la Figura 3.

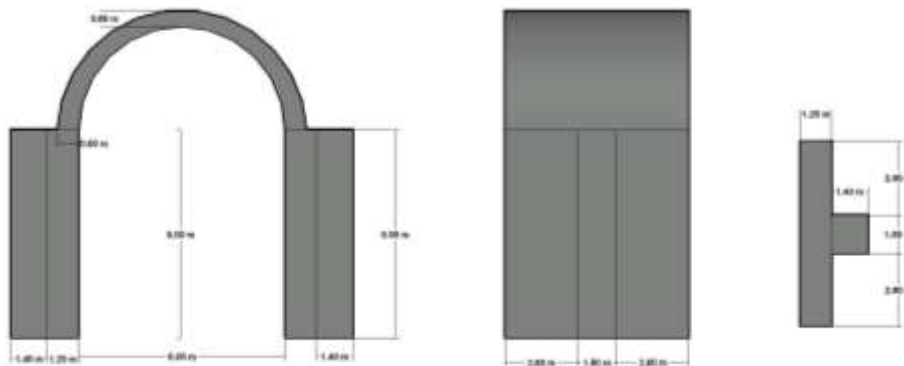


Figura 33. Geometría de la estructura del TSJD (Autoría propia)

A lo largo del tiempo, la estructura ha sufrido algunas acciones de restauración para intentar preservarla el mayor tiempo posible, la más reciente de estas se presentó en el año 2015 en la cual se recuperaron y reconstruyeron algunas piezas dañadas del templo. A pesar de esto, el inmueble continúa teniendo la misma configuración estructural con la que se construyó en el siglo XVII; sin embargo, el daño en la bóveda principal debido al paso del tiempo es evidente.

De acuerdo con el INAH (2018), esta bóveda se encuentra en un peligroso estado de conservación y la pronta intervención estructural es urgente, por lo cual es una estructura propicia para el estudio planteado en este trabajo.

Para este caso se han tomado como base los estudios de modelación numérica de Peña y Meza (2008); así como los resultados de Sánchez y Meli (1991) para conglomerados de mampostería, quienes realizaron pruebas a especímenes de un edificio colonial de la Ciudad de México en el cual se utilizaron materiales como mortero de cal, tezontle y piedras sólidas de mayor peso.

Tabla 11. Propiedades mecánicas de la mampostería de piedra. Peña y Meza (2008), Sánchez y Meli (1991)

Propiedades de la mampostería	
Módulo de elasticidad (kg/m ²)	200,063,318
Módulo de cortante (kg/m ²)	83,310,814.6
Relación de Poisson	0.3
Peso volumétrico (kg/m ³)	1,600
Cohesión (kg/m ²)	20,394.32
Ángulo de fricción (°)	15
Ángulo de dilatación (°)	0
Resistencia a la compresión (kg/m ²)	300,102.48
Resistencia a la tensión (kg/m ²)	14,989.83

Según las referencias históricas de construcción de templos (González, 2008) y la caracterización geológica de la región (Consejo de Recursos Minerales, 1992) estudiada en el Estado de Guanajuato, los materiales con los que la mayoría de los templos coloniales guanajuatenses se construyeron coinciden con los analizados en los trabajos mencionados; debido a esto se puede establecer que los resultados del análisis numérico en este estudio brinda un buen grado de aproximación mediante la utilización de las propiedades mecánicas mostradas en la Tabla 1.

Una vez que se tiene la geometría y las propiedades de la mampostería, se procede a desarrollar el modelo en el software de elementos finitos ANSYS Mechanical APDL como se muestra en la Figura 4.

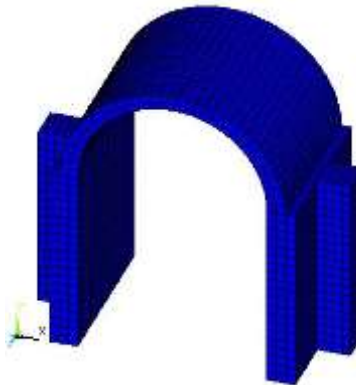


Figura 34. Sección transversal discretizada del TSJD (Autoría propia)

Teniendo introducida la geometría en el software se realizó el análisis estático no lineal bajo cargas gravitacionales, este análisis consiste en aplicar el peso propio de la estructura en porcentajes hasta alcanzar el valor total de la carga, mediante este procedimiento se pudieron obtener resultados relevantes del comportamiento estructural de la sección transversal como lo son los desplazamientos en las direcciones de los ejes "x", "y" y "z", las regiones donde se concentran la mayor cantidad de esfuerzos y las zonas donde se ubican los daños de la mampostería presentados en forma de agrietamientos o aplastamientos. Una vez que se ubican la zona con mayores desplazamientos y concentración de esfuerzos se procede a realizar una gráfica de factor de carga-desplazamiento, la cual tiene como objetivo identificar numéricamente el comportamiento de la región con mayores solicitaciones dentro de la estructura analizada.

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la simulación numérica del caso de estudio, así como la gráfica factor de carga-desplazamiento referente al nodo con los mayores desplazamientos. En la Figura 5 se puede observar la estructura deformada por las solicitaciones aplicadas con respecto a la original.

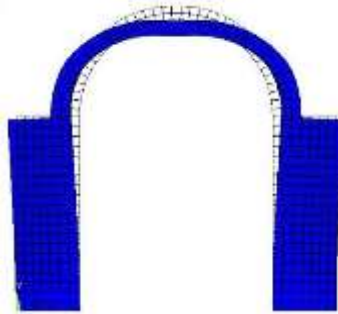


Figura 35. Estructura deformada del TSJD con un factor de escala 1:13 (Autoría propia)

En las Figuras 6-8 se presentan los desplazamientos en las direcciones de los ejes "x", "y" y "z"; de igual manera en la Figura 9 se observa la representación en forma de vectores de los desplazamientos generales presentes en la estructura. En todas las figuras se muestran los valores de los desplazamientos en metros y con una escala de deformación 1:13.

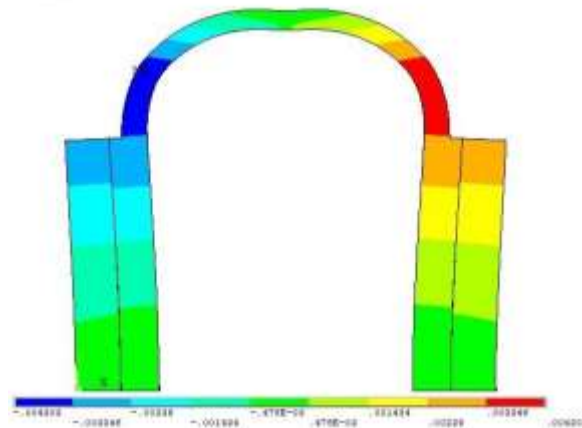
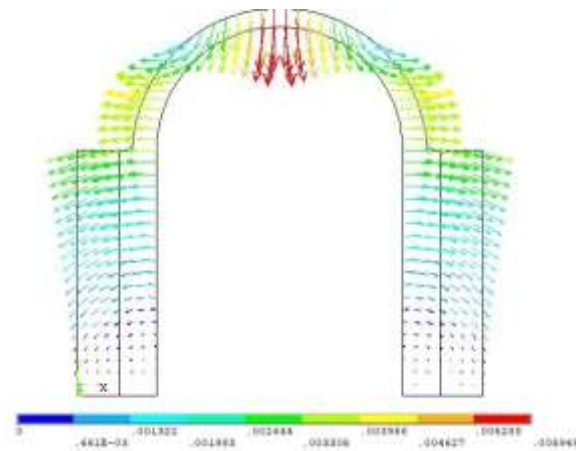
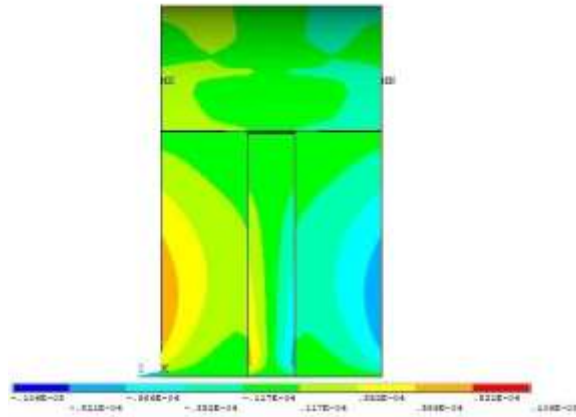
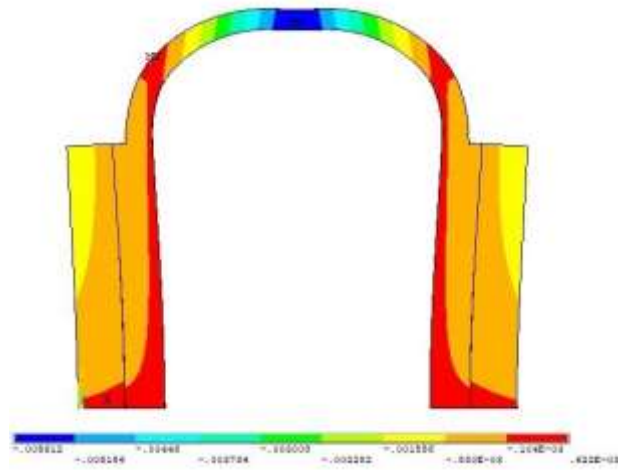


Figura 36. Desplazamientos en el eje "x" del TSJD (Autoría propia)



Como se puede observar en la Figura 10, los mayores desplazamientos en la dirección vertical (eje "y") se presentan en la clave de la bóveda. De igual manera, en la Figura 11, se corrobora que los esfuerzos son de mayor magnitud en esta región (valores expresados en kg/m²).

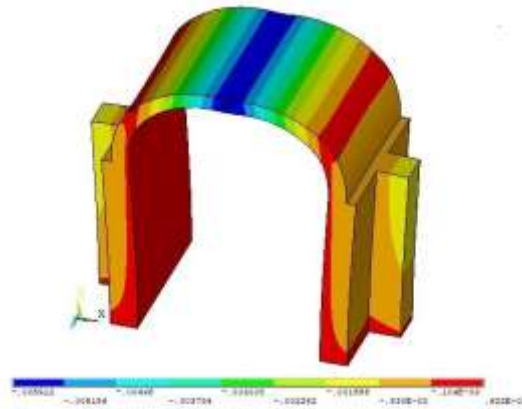


Figura 40. Desplazamientos máximos del TSJD (Autoría propia)

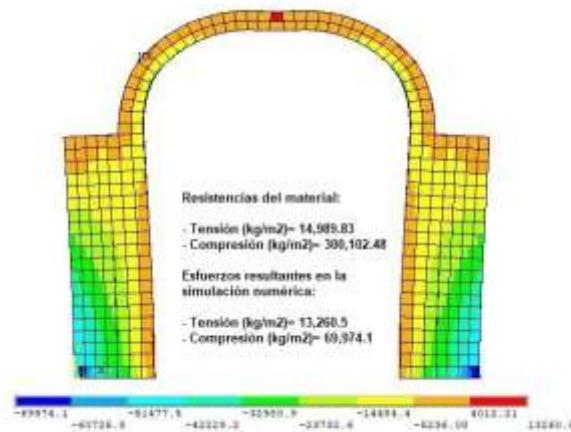


Figura 41. Esfuerzos máximos (eje "y") del TSJD (Autoría propia)

Finalmente, en las Figuras 12-14 se presentan los daños que se obtuvieron a través del análisis no lineal. Mediante estas figuras se puede apreciar que las únicas regiones con deformaciones plásticas aparecen en la bóveda de la sección transversal.

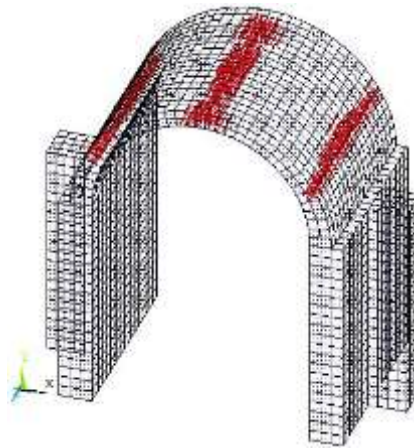


Figura 12. Vista oblicua de las deformaciones plásticas del TSJD (Autoría propia)



Figura 13. Vista superior de las deformaciones plásticas del TSJD (Autoría propia)

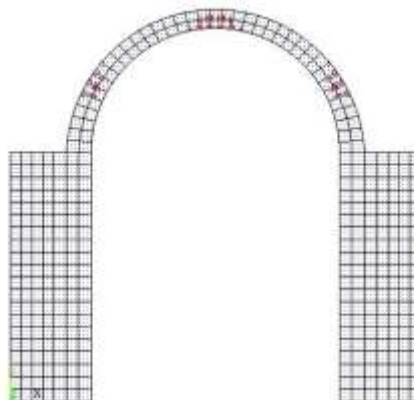


Figura 14. Vista frontal de las deformaciones plásticas del TSJD (Autoría propia)

En las Figuras 15 y 16 se observan vistas más cercanas de las deformaciones plásticas presentes en la estructura, de esta manera se puede establecer que estas deformaciones son principalmente agrietamientos debidos a los esfuerzos de tensión presentes en la región; esto se conoce tomando en cuenta la simbología proporcionada por el software (círculos rojos).

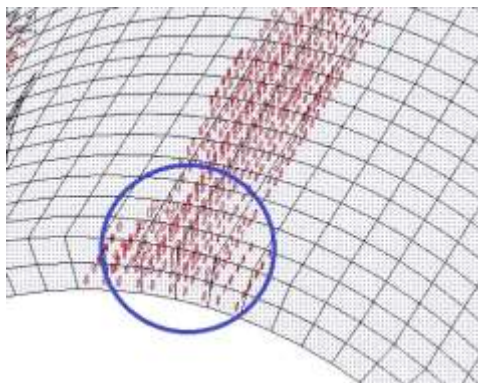


Figura 15. 1Vista de acercamiento a las deformaciones plásticas (agrietamientos) del TSJD (Autoría propia)

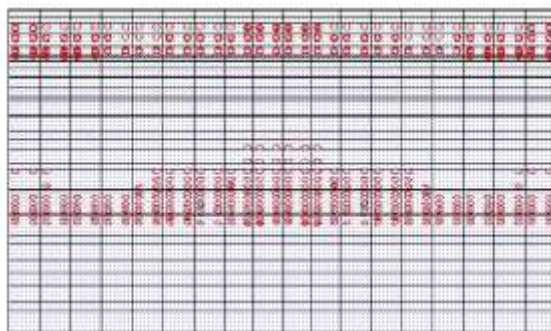


Figura 16. Vista lateral de las deformaciones plásticas (agrietamientos) del TSJD (Autoría propia)

5.5 Curva factor de carga-desplazamiento resultante

Debido a lo mostrado anteriormente, se eligió monitorear el desplazamiento vertical en la clave de la bóveda debido a que es la zona donde se presentan los mayores esfuerzos y desplazamientos. Para llevar a cabo este procedimiento se ubicó el nodo con el mayor desplazamiento en la estructura, el cual se encuentra representado en la Figura 17.

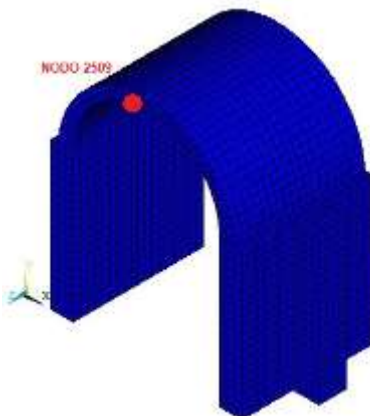


Figura 17. Ubicación de la clave en la estructura del TSJD (Autoría propia)

En la Figura 18 se muestra la curva factor de carga-desplazamiento correspondiente al monitoreo de la clave de la bóveda.

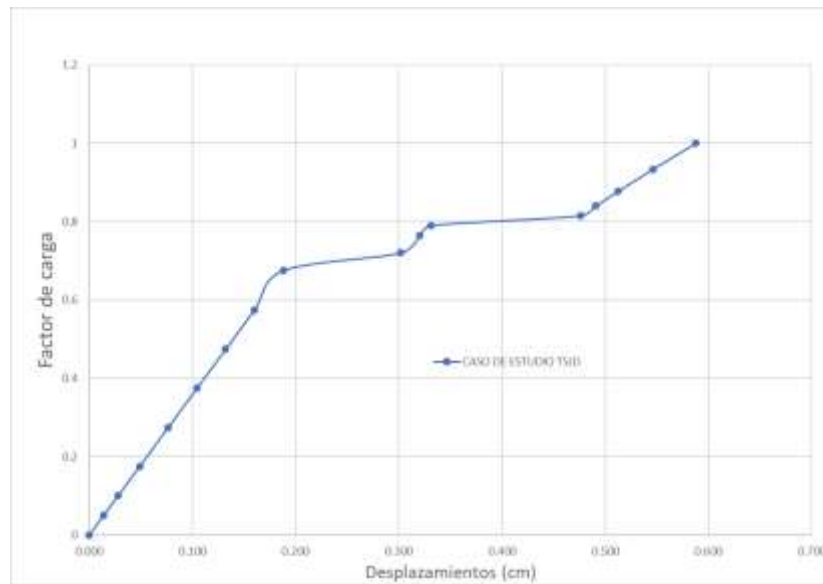


Figura 18. Gráfica de la curva factor de carga-desplazamiento (Autoría propia)

Como se puede apreciar en la figura anterior, en el momento que el factor de carga alcanza el valor de uno, correspondiente al peso propio total de la estructura, el desplazamiento máximo vertical registrado en la clave de la bóveda es de 0.587 cm. Debido a esto se puede establecer que la estructura presenta una buena capacidad de carga, al menos para la sollicitación por peso propio realizada en este análisis, tomando en cuenta el máximo desplazamiento resultante.

También se puede observar que la curva factor de carga-desplazamiento presenta una trayectoria bastante lineal en la mayoría de su recorrido con la excepción de los cambios de pendiente posteriores a los factores de carga 0.67 y 0.79, en los cuales se aumenta considerablemente el desplazamiento, lo que indica la presencia de agrietamientos en la bóveda de la estructura. En el primer cambio de pendiente se estima el agrietamiento de la clave, mientras que en el segundo cambio el agrietamiento se desarrolla en los riñones de la bóveda. Lo anterior obtiene como resultado una pendiente menor en la última sección de la curva en comparación al inicio de esta, lo cual apunta a una reducción de la rigidez de la estructura debida a los agrietamientos acumulados.

COMPARACIÓN DEL DAÑO EN LA ESTRUCTURA

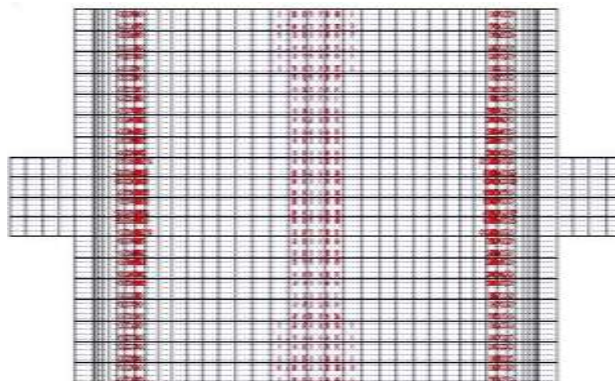
En el presente apartado, se muestra una comparación entre el daño estimado a través de la simulación numérica con el daño real presente en la estructura original. Mediante una visita de campo se pudo obtener evidencia fotográfica que muestra el daño presente en la bóveda de la estructura real, aunque las referencias recabadas señalan que la construcción fue restaurada hace relativamente poco tiempo (año 2015), en las Figuras 19. A, B como en las Figuras 20. A, B se pueden observar los agrietamientos producidos en la bóveda. Sin embargo, cabe resaltar que a través de la restauración mencionada se llevó a cabo la reparación de los elementos estructurales del templo, principalmente de la bóveda; es debido a esto que actualmente solo es posible observar ciertos daños menores que probablemente incrementen con el tiempo.



Figura 19. A) Daño observado en el prototipo del TSJD. B) Daño observado en el modelo numérico (Autoría propia)



A)



K)

Figura 20. A) Vista inferior del daño presente en el prototipo del TSJD. B) Daño presente el modelo numérico (Autoría propia)

Como se aprecia en las figuras mostradas anteriormente (Figura 19. A, B y 20. A, B), el modelo numérico y la estructura original presentan daños similares en cuanto a la presunta ubicación de los agrietamientos. Prueba de esto es que no existen daños por aplastamiento producidos por excesivos esfuerzos de compresión en el modelo numérico y tampoco en la estructura real; únicamente se aprecian los agrietamientos en los riñones de la bóveda debido a la concentración de esfuerzos de tensión en dichas regiones tanto en el modelo numérico como en la estructura original; sin embargo, en el modelo numérico también se presentan agrietamientos considerables en la clave de la estructura que no son visibles en la estructura original. Dicha variación puede ser causada probablemente a que los agrietamientos en la clave de la bóveda aún no se hayan presentado en la estructural real debido a la restauración que sufrió la construcción y se vuelvan visibles con el paso del tiempo.

CONCLUSIONES

Mediante los análisis realizados al caso de estudio Templo de San Juan de Dios (Celaya, Guanajuato) se pudieron obtener conclusiones importantes que nos permiten plantear un panorama de su comportamiento estructural. A través de la curva factor de carga-desplazamiento se pudo observar numéricamente el comportamiento no lineal que presenta el modelo numérico tomando en cuenta los desplazamientos producidos según los intervalos de carga aplicados, es debido a esto que se pudo observar que al superar $2/3$ de la carga total la pendiente de la curva se redujo, mostrando los puntos en los cuales se producen los agrietamientos y haciendo evidente la disminución de la rigidez de la estructura completa debido al acumulación de las deformaciones plásticas.

Así mismo, se compararon los resultados de las deformaciones plásticas obtenidas mediante el modelo numérico con las presentes en la estructura original; como se mostró en las figuras correspondientes, mediante la interpretación de los resultados del software podemos establecer que estas deformaciones plásticas son agrietamientos debido a que son producidas por excesivas concentraciones de esfuerzos de tensión en diversas regiones. En el modelo numérico se muestra una acumulación de agrietamientos en la clave y en los riñones de la bóveda, mientras que en la estructura original se puede observar únicamente el daño por agrietamientos en los riñones de la bóveda. Sin embargo, esta diferencia es probablemente debido a la reciente restauración a la que se sometió la estructura del templo para reparar sus elementos estructurales; de esta manera, es posible que los agrietamientos en la clave de la bóveda estimados por el software aparezcan con el paso del tiempo.

Es debido a esto que se puede establecer que la simulación numérica realizada mediante este trabajo presenta una buena aproximación para reproducir el comportamiento no lineal de las bóvedas de cañón bajo su peso propio y la metodología de análisis presentada podría ser utilizada para representar el comportamiento no lineal bajo peso propio de templos de mampostería histórica con una configuración de bóveda diferente, únicamente variando la geometría y las propiedades de los materiales según el periodo en el que hayan sido construidos.

REFERENCIAS

1. ANSYS (2016), "Documentation for ANSYS". ANSYS Workbench Release v. 16.2. ANSYS Inc. USA.
2. Chávez Cano, M. M. (2010). Validación experimental de modelos analíticos para el estudio del comportamiento sísmico de estructuras históricas. Tesis de Doctorado. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
3. Consejo de Recursos Minerales (1992). Inventario Físico de los Recursos Minerales del Estado de Guanajuato. Guanajuato, México.
4. Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, INAH (2018). Ficha del Catálogo Nacional de Monumentos Históricos Inmuebles número I-11-01488. Disponible en: http://catalogonacionalmhi.inah.gob.mx/consulta_publica/detalle/17234
5. González Leyva, A. (2008). Yuriria. Construcción, historia y arte de un convento agustino. Facultad de Filosofía y Letras, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México.

6. Laurenço, P. J. (1996). Computational strategies for masonry structures. Delft, Netherlands. University of Technology Delft.
7. Peña Mondragón, F. y Meza Méndez, J.M. (2008). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de torres de campanario de iglesias coloniales en México. Primer Congreso Iberoamericano sobre Construcciones Históricas y Estructuras de Mampostería. Bucaramanga, Colombia.
8. Sánchez Ramírez, R. y Meli Piralla, R. (1991). Propiedades mecánicas de la mampostería utilizadas en la construcción de los monumentos históricos de la Ciudad de México. Memorias del Segundo Simposio Nacional sobre Materiales de Construcción. Mérida, México.
9. Willam, K.J. y Warnke, E.P. (1975). Constitutive model for the triaxial behavior of concrete. International Association for Bridge and Structural Engineering, Vol. 19, pp. 1-30.

DESGASTE DEL RECUBRIMIENTO DE UNA SUPERALEACIÓN UTILIZADA EN LA FABRICACIÓN DE ÁLABES DE PRIMERA ETAPA DE TURBINA DE GAS

Flor C. Reyes-Ríos¹, Erika O. Avila-Dávila¹, Marisa Moreno-Ríos¹, Víctor M. López-Hirata², Héctor J. Dorantes-Rosales², Juan M. Alvarado-Orozco³, Luis M. Palacios-Pineda²

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Pachuca (DEPI), ²Instituto Politécnico Nacional (ESIQIE), UPALM, ³Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI).

flor_rr_93@outlook.com¹

RESUMEN

Debido a las severas condiciones de operación a las que se exponen los componentes de turbinas de gas, particularmente los álabes, se hace necesario proteger estos elementos metálicos de las altas temperaturas de servicio y ambientes altamente corrosivos. Generalmente, suelen utilizarse recubrimientos para proteger las aleaciones a partir de las cuáles se fabrican los álabes, especialmente los que se encuentran en la zona denominada primera etapa de la turbina. Así, los problemas más comunes en las turbinas de gas se deben al desgaste por erosión y por corrosión en la superficie del componente, de manera que, es común realizar un mantenimiento periódico en estos elementos. De lo anterior, se ha reportado que el 28% de las fallas en turbinas de gas se debe principalmente al deterioro de los álabes, lo que genera, en consecuencia, altos costos de reparación. En este estudio, se caracterizó el deterioro del recubrimiento de un álabe fabricado a partir de una superaleación base Níquel, IN792, correspondiente a la primera etapa de una turbina de gas terrestre utilizada para generar energía eléctrica. La caracterización microestructural se llevó a cabo por microscopía óptica, MO, y por tomografía computarizada de rayos-X, TC. Para ello, se realizaron algunos cortes del componente en su sección transversal. Como resultado, se determinó que el depósito superficial del componente no es homogéneo al término de su vida útil. El daño en el recubrimiento es mayor en la punta del componente y disminuye gradualmente hasta la raíz. Éste mismo podría relacionarse con los esfuerzos centrífugos a los que se expone el álabe. Es importante señalar que el mayor daño visible del sustrato ocurrió debajo del borde de ataque del componente, en donde, el recubrimiento fue removido por completo mediante el mecanismo de desconchado. Asimismo, a partir de los resultados obtenidos por TC se detectó el mecanismo de deformación por fractura generando microcavidades y fisuras en el sustrato. Además, se observó corrosión sobre la superficie expuesta del sustrato y manchas oscuras en el área del recubrimiento no desprendido.

INTRODUCCIÓN

Es sabido que, los componentes estructurales de turbinas de gas, particularmente los álabes, deben mantenerse en servicio a las altas temperaturas en ambientes altamente corrosivos por tiempos prolongados [1]. Generalmente, suelen utilizarse recubrimientos para proteger los álabes de tales condiciones de operación, extremadamente severas. Los recubrimientos desempeñan una función significativa en la lucha tecnológica contra las fallas de los álabes [2]. Al respecto, los problemas más comunes en estos elementos se deben a su desgaste superficial por erosión y/o por corrosión. Además, estos componentes están sujetos a fuerzas centrífugas muy altas, durante periodos de tiempo prolongados, por lo que no es una sorpresa que su tiempo de vida útil sea breve. Así mismo, es común identificar la presencia de daño en el material, incluso a simple vista a través de una inspección visual. El deterioro puede observarse como cambios en el color del recubrimiento e inclusive, a veces, es notorio que ya no hay rastros de recubrimiento en el componente [2, 3]. De lo anterior, las turbinas de gas requieren de un mantenimiento preventivo y correctivo periódico en estos componentes, para prevenir un fallo catastrófico. En efecto, el mantenimiento refleja altos costos de reparación. En este contexto, se ha reportado que el 28% del costo de las averías en turbinas de gas se debe principalmente a los álabes [3]. Un ejemplo de reparación consiste en restaurar el área dañada a través de un método de elevado costo, debido a la tecnología aplicada, que consiste en remover físicamente la sección dañada y reemplazarla con una sección prefabricada. Por otra parte, en el caso de la reparación de agrietamiento generalmente se utiliza soldadura [4].

Hoy en día, la vida útil de los álabes sigue siendo limitada surgiendo la necesidad de establecer mejoras en el diseño de su manufactura, que promuevan extender la vida útil del componente con un impacto ambiental positivo (incrementado la eficiencia operacional de la turbina de gas) y económico (al disminuir, por ejemplo, los paros por mantenimiento correctivo). En la actualidad, existen tres formas comunes para depositar un recubrimiento en álabes de turbinas de gas, como son: difusión, de superposición y recubrimientos de barrera térmica [1]. Existen estudios relevantes de recubrimientos con diferentes procesos de deposición para la obtención aluminuros. Agüero Bruna y colaboradores [5], aplicaron recubrimientos de superposición mediante el proceso de proyección térmica por plasma añadiendo cromo en aluminuros sobre una superaleación base Ni, IN-100, obteniendo como resultado una buena resistencia a la oxidación y a la corrosión. No obstante, es su estudio y como desventaja los recubrimientos superpuestos son económicamente más caros [5]. En [6] es mencionado que Pérez y colaboradores recubrieron de aluminuros diferentes sustratos de aceros ferríticos e inoxidable, además de superaleaciones base Ni, mediante el proceso de deposición química de vapor por lecho fluidizado a temperaturas inferiores a 600 °C. En las aleaciones de Fe-Ni identificaron las fases de Ni_2Al_3 y NiAl [6]. Por otra parte, los recubrimientos por difusión mediante el proceso de cementación representan la forma más común de protección de superficies, siendo a su vez la más antigua, además, es más económica [1]. Lu Tong y colaboradores [7] recubrieron de aluminuros una superaleación base Ni mediante cementación a bajas temperaturas, inferiores a 800 °C, dando como resultado una estructura de dos capas. En su trabajo la capa superior estaba constituida de Al_3Ni_2 y Al_3Ni con una pequeña cantidad de intermetálicos Al-Cr. La capa inferior mostró alta densidad, homogeneidad y buena adherencia al sustrato y consistió en Al_3Ni_2 [7]. Los recubrimientos de superposición a menudo se aplican mediante un proceso de pulverización de plasma al vacío o deposición física de vapor a partir de un haz de electrones, la composición típica de éstos es MCrAlX, donde "M" puede ser Ni o Co, o combinaciones de estos, y "X" es un elemento reactivo normalmente se utiliza itrio, hafnio o silicio [1]. Habib y colaboradores [8] emplearon MCrAlY con la adición de elementos reactivos de Ce, Ta y Hf (0.05% en peso). Su deposición fue realizada sobre un acero inoxidable AISI 304 mediante el proceso de proyección térmica por llama. En su trabajo los autores obtuvieron un recubrimiento con mejor comportamiento agregando Hf. Este presentó menor tendencia a la oxidación a temperaturas elevadas debido a un bajo contenido en compuestos de Ni y a la mayor formación de Al_2O_3 y Cr_2O_3 en su superficie. También evidenciaron que una gran cantidad de Cr en la superficie del recubrimiento actúa como barrera para impedir la difusión del oxígeno [8]. Finalmente, en esta investigación, el objetivo fue caracterizar el deterioro del recubrimiento superficial del álabes de una turbina de gas terrestre y se relacionó con la degradación identificada del sustrato para identificar los principales mecanismos de desgaste del recubrimiento.

TEORÍA

Desgaste

El desgaste es un fenómeno destructivo al que están expuestos los metales. El desplazamiento y la separación de las partículas de una superficie mecánica puede producirse por contacto a través del: desgaste adhesivo, desgaste abrasivo y desgaste por erosión. La erosión se acompaña generalmente por alguna forma de corrosión [11]. Cada forma de desgaste está afectada por una variedad de condiciones incluyendo ambiente, tipo de carga aplicada, velocidades relativas de las piezas que se acoplan, lubricante, temperatura, dureza del material, acabado superficial, presencia de partículas extrañas, y composición y compatibilidad de las piezas de acoplamiento implicadas.

Factores que influyen en el desgaste:

Los siguientes fenómenos representan los principales motivos que afectan el desgaste en un material:

- La lubricación es muy importante para incrementar la resistencia al desgaste, sobre todo por desgaste adhesivo.
- El calor producido por el efecto del desgaste puede ablandar estructuras endurecidas, producir cambios de fase que incrementan la dureza y la fragilidad, disminuir las propiedades mecánicas y acelerar las reacciones de corrosión.
- La fricción ocurre cuando dos superficies limpias del mismo metal se tocan efectivamente entre sí y tienden a soldarse.

- El impacto es un factor de desgaste, ya que la carga aplicada repentinamente puede producir flujo plástico y un cambio en forma.
- La falla por fatiga se incluye en un estudio de desgaste, ya que es un deterioro gradual debido al uso.

Es sabido que un importante método de protección contra el desgaste se realiza mediante *Difusión*. Este método consiste en la aplicación de un revestimiento producido a altas temperaturas por la difusión interna del material de revestimiento dentro del metal base. De lo anterior, el método de protección contra el desgaste que utilizó el material objeto de estudio es Difusión. No obstante, es importante mencionar que existen otras técnicas de protección, pero suelen ser mucho más caras y requieren de equipos sofisticados para su aplicación. Ahora bien, para caracterizar microestructuralmente el deterioro del recubrimiento superficial de alabes de primera etapa de turbina de gas terrestre se hace también necesario mencionar a continuación la importancia del fenómeno de corrosión.

Corrosión

La corrosión se define como el ataque destructivo e involuntario de un metal por el ambiente que lo rodea. Puede ocurrir a bajas temperaturas como en el caso de soluciones acuosas o puede ocurrir a alta temperatura con reacciones gaseosas. En algunos ejemplos, los productos de la corrosión existen como una película delgada adherente que sólo mancha o empaña el metal y puede actuar como un retardador posterior para la acción corrosiva. En otros casos, los productos de la corrosión son de carácter voluminoso y poroso, sin ofrecer ninguna protección. La velocidad de corrosión depende de las propiedades fisicoquímicas del material, la atmósfera corrosiva en que se encuentra expuesto y los productos de corrosión [11].

Factores que influyen en la corrosión:

Los fenómenos que causan la aceleración de la corrosión son los siguientes:

- La diferencia en potencial eléctrico entre dos metales cuando están acoplados conjuntamente o sumergidos en un electrólito.
- La diferencia de concentración de iones disueltos en una disolución electrolítica.
- El Oxígeno disuelto, que tiende a formar óxidos.
- La exposición a periodos alternativos de inmersión y secado.
- El tipo de película de óxido sobre el metal, por ejemplo, el magnesio produce una película de óxido poroso, el aluminio produce una película de óxido protectora y el hierro forma una película que se desprende de la superficie.
- El incremento de la temperatura tiende a aumentar la velocidad de corrosión.

En este contexto, hay diferentes tipos de corrosión que se esperan en el componente a caracterizar como: corrosión por erosión, corrosión por cavitación, corrosión intergranular y/o corrosión bajo tensiones. Los métodos que se emplean industrialmente para prevenir o disminuir la corrosión incluyen la aplicación de recubrimientos superficiales [11]. Es de notarse que las alternativas para proteger contra el desgaste y contra un ambiente severo incluyen ambas la aplicación de un recubrimiento, en este caso aplicado mediante difusión.

Los denominados recubrimientos por difusión siguen siendo la forma más común de protección de superficies. Por ejemplo, el aluminio a menudo se deposita sobre la superficie de las superaleaciones por deposición química en fase de vapor, método que se conoce como "*aluminización mediante cementación*". Luego de ser depositado el material en su conjunto (sustrato metálico + depósito) requiere de un tratamiento térmico para promover una buena adhesión y fomentar la interdifusión con el sustrato de superaleación, de modo que se forme una capa rica en aluminio en la superficie del componente, que normalmente es rica en la fase β -NiAl. Debido a la alta concentración superficial de aluminio, las superaleaciones revestidas producidas de esta manera son formadoras muy eficientes de una capa protectora de alúmina o incrustaciones y, en consecuencia, la resistencia a la oxidación de estos componentes incrementa considerablemente [1].

PARTE EXPERIMENTAL

Inicialmente, se llevó a cabo una Inspección Visual al componente. Luego, se analizó microestructuralmente el deterioro del recubrimiento de una superaleación basada en Níquel, IN792, utilizada para la fabricación de álabes de primera etapa de una turbina de gas terrestre. Cabe decir que, el álabe objeto de estudio fue retirado de servicio por mantenimiento preventivo. El análisis de

su deterioro superficial se llevó a cabo mediante un estudio por microscopía óptica, MO, y por tomografía computarizada de rayos-X, TC. Para ello, se realizaron algunos cortes en el componente. Todas las observaciones se llevaron a cabo sobre secciones transversales del material, principalmente debido a que el álabe posee una estructura de grano columnar.

Preparación metalográfica

Los especímenes se cortaron longitudinalmente de la raíz a la punta y se realizaron tres cortes transversales según las temperaturas de operación del componente, identificadas en un estudio previo [12]. Cada espécimen fue desbastado utilizando lijas de carburo de silicio 120, 220, 320, 400, 600, 1000, 1500 y 2000. Luego, se realizó un proceso de pulido y, finalmente cada muestra se limpió en un baño ultrasónico. El reactivo de ataque químico utilizado fue Carapella. Este se usó a temperatura ambiente mediante una exposición que varío entre los 10 a 30 segundos.

Microscopía óptica (MO)

Se analizó el daño en el contorno superficial del componente, usando un MO modelo Axiobserver D1m marca Carl Zeiss a distintos aumentos.

Tomografía computarizada de rayos-X (TC)

Se realizó una inspección general del álabe para la detección de agrietamiento por Tomografía Computarizada en un Phoenix v|tome|x m GE, nano CT, metrology|edition. Para ello, se usó un tubo de rayos-X Micro Focus 300kV, un target de wolframio-beryllium y un detector tipo DRX-250. El tamaño del voxel fue de 69.05 μm y el número de imágenes obtenidas fue 5000 a 150 kV, 180 μA y el scan mode fue Cone Beam.

RESULTADOS

Inspección Visual

La Figura 1 muestra el álabe objeto de estudio. Claramente, es visible un color marrón en los extremos del elemento. Así mismo, es muy evidente que la región media del cuerpo del álabe, en la que se reportó previamente la temperatura de operación más alta [12], no tiene recubrimiento. Por otra parte, tanto en la zona media del componente como en los bordes del mismo se aprecian también manchas oscuras, presumiblemente relacionadas con la ocurrencia de corrosión del recubrimiento debido a las severas condiciones de servicio.



Figura 1. Inspección visual de álabe.

Estudio por Microscopía Óptica

La Figura 2(a-d) muestra algunos resultados del análisis de la superficie y estructura interna del componente. Claramente la Figura 2(a) evidencia que la superficie del componente, cerca de la punta del álabe no tiene rastros de recubrimiento. Así mismo, las Figuras 2(b-c) muestran dos regiones transversales cerca del borde de salida del álabe, a diferente altura el componente, con daño en el sustrato, es decir, originalmente la microestructura tiene granos pequeños, una fase matriz gama de color gris claro y una fase endurecedora muy pequeña y bien dispersa llamada gama prima en color gris oscuro, además de carburos con formas irregulares localizados sobre toda la microestructura del componente, es decir, tanto dentro como en límites de grano y de color gris oscuro intenso [1,9]. No obstante, aparentemente, hay importantes cambios cualitativos como que el tamaño de grano en estas imágenes es grande, además de la ocurrencia de una gran cantidad de carburos acumulados en los límites de grano de apariencia alargada, probablemente debido a la vida útil en servicio del componente a elevadas temperaturas. También, se identificó la presencia de microcavidades en límites de grano, Figura 2(d). De lo anterior, es muy posible que el mecanismo de falla promovido en el material del sustrato sea por termofluencia (debido a la presencia de microcavidades en límites de grano [1] y a las elevadas temperaturas operación del álabe [12]).

La Figura 3(a-b) muestra imágenes de dos regiones transversales próximas al borde de salida, cerca de la superficie del álabe, a diferente altura del componente. Así, se evidencia con claridad que el deterioro del recubrimiento es distinto cerca de la raíz (región sometida al valor más bajo de temperatura de servicio), respecto a la zona central del componente (región sometida al valor más alto de temperatura de servicio) y cerca de la punta del álabe (región sometida a un valor de temperatura de servicio intermedio entre el más bajo y el más alto, figura 2(a)). En este último caso, el daño a la integridad del recubrimiento es mayor, lo que podría deberse a la fuerza centrífuga y a los elevados valores de esfuerzos mecánicos a los que se somete el material durante su vida de servicio.

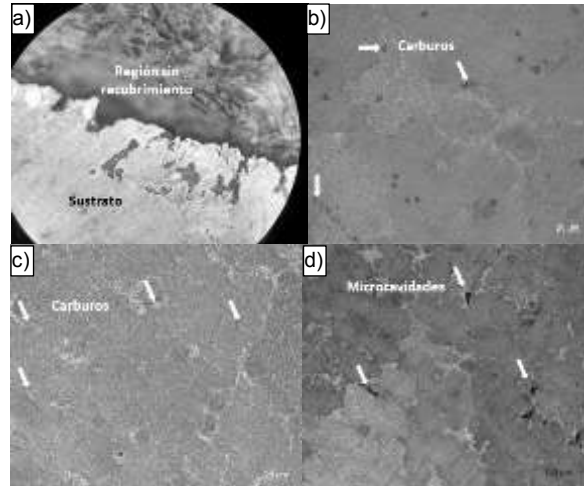


Figura 2. Imágenes de la estructura interna y superficial del componente obtenidas por MO. a) Punta del álabe y sección superficial, b-c) Imágenes del sustrato de secciones expuestas a elevada temperatura, y d) microcavidades en límites de grano.

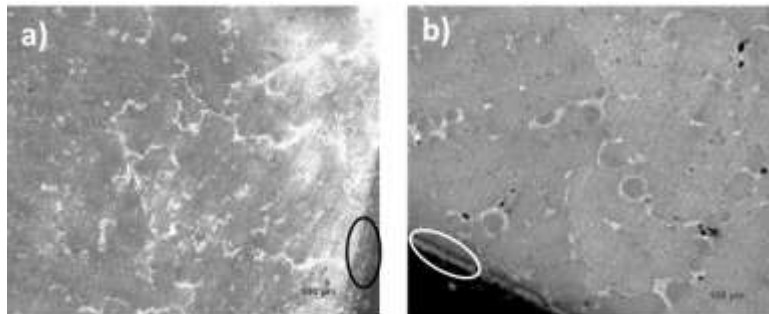


Figura 3. Imágenes de la estructura interna y superficial del componente obtenidas por MO de: a) Zona media, b) Zona cerca de la raíz.

Estudio por Tomografía Computarizada de Rayos-X

La Figura 4 muestra el arreglo del estudio por TC. Es importante mencionar que el tomógrafo utilizado es único en su tipo en el nuestro país. Las imágenes que de él se obtienen se forman a partir de la diferencia de densidades de los constituyentes del material objeto de estudio. Así, las regiones más densas del álabe se mostrarán en cada imagen obtenida con un color gris brillante y las zonas sin material, es decir, con huecos, poros, microcavidades o grietas presentarán un color negro.

La Figura 5 muestra que en el componente no existe material del recubrimiento en los canales de enfriamiento, solo en la superficie del mismo, en este caso cerca de la punta del álabe. Además, se observa la ocurrencia de gran cantidad de grietas en sus secciones longitudinal y transversal. Estos resultados evidencian la importancia del recubrimiento para proteger la integridad estructural del

componente. Así, es muy probable que el agrietamiento en el sustrato metálico ocurriera como consecuencia del desgaste en el recubrimiento, mismo que pudo presentarse debido a erosión y/o por corrosión. Para ello, se hace necesario un estudio futuro que muestre la composición química del recubrimiento además de medir la rugosidad superficial y la dureza del recubrimiento. No obstante, es muy importante señalar que el componente es sometido a elevadas temperaturas de operación, próximas a 1000 °C [12] por tiempos prolongados, a elevados valores de esfuerzos mecánicos y a un ambiente de gases calientes altamente corrosivos.



Figura 4. Arreglo por TC para el análisis del componente.

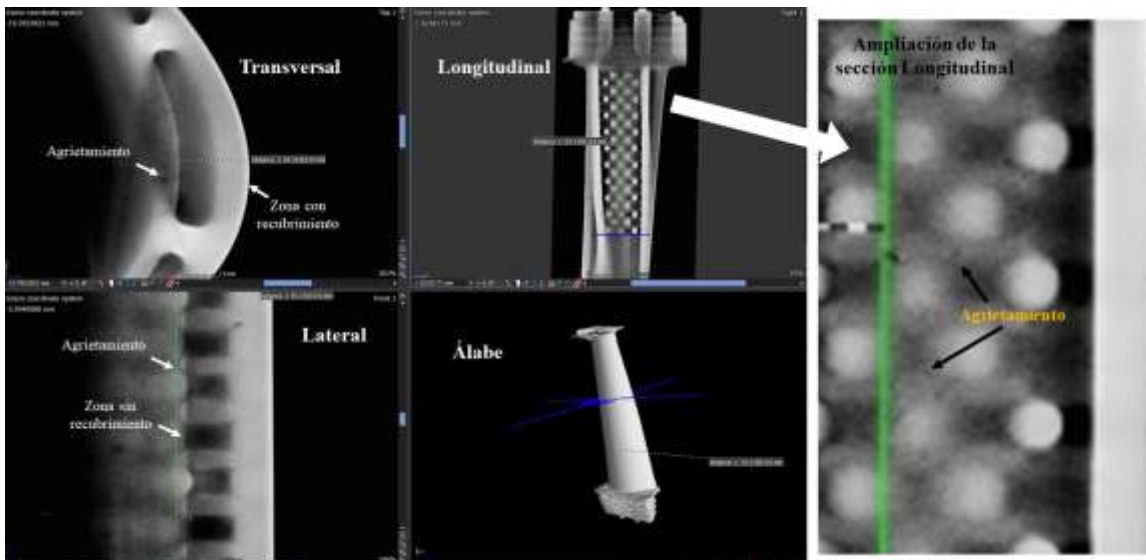


Figura 5. Imágenes obtenidas por TC del componente.

CONCLUSIONES

- La degradación del sustrato metálico aparentemente se relaciona con el mecanismo de falla por termofluencia.
- El mayor daño en el sustrato metálico se observó por debajo del borde de ataque del álabe, donde el recubrimiento fue removido por completo, el cual actuó como alivio de tensión mediante el mecanismo de desconchado.
- Se determinó que el revestimiento superficial del componente no es homogéneo al término de su vida útil. El daño en el recubrimiento es mayor en la punta del componente y disminuyó gradualmente hasta su raíz.
- A partir de los resultados obtenidos por TC se detectó un mecanismo de deformación por fractura generando microcavidades y fisuras en el recubrimiento y en el sustrato.
- Finalmente, mediante una inspección visual al componente se observó posible corrosión sobre la superficie expuesta del sustrato y manchas oscuras en el área del recubrimiento no desprendido.

Para confirmarlo se hará necesario un estudio futuro en el que se identifique la composición química del recubrimiento al final de su vida útil.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México/ITPachuca (DEPI) y al CONACyT por los recursos otorgados para el desarrollo de la presente investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. C. Reed, "The Superalloys Fundamentals and Applications", Cambridge University Press, USA, 2006.
2. T. Giampaolo, "The gas turbine handbook: principles and practices", second edition, Indian Trail, The Fairmont Press, 2003.
3. C. B. Meher-Homji y G. Gabriles, "Gas turbine blade failures-causes, avoidance, and troubleshooting", Texas A&M University Libraries, Vol. 27015, 1998, pp. 129-180.
4. M. Graw, V. George, A. Reiner y B. Andrew, "Advancements in gas turbine vane repair: proceedings of PWR2006", ASME Power, 2006, pp. 1-5.
5. A. Agüero, J. Álvarez, F. García y P. Valles, "Recubrimientos protectores para componentes de turbinas de aviación y de generación de energía depositados por proyección por plasma", Cerámica y Vidrio, Vol. 39, 4, 2000, pp. 540-547.
6. J. Luddey, S. Castañeda y A. Remolina, "Recubrimiento depositados por CVD-FBR para protección a alta temperatura", Dyna, Vol. 80, 181, 2013, pp. 181-191.
7. L. Tong, Y. Dengzun y Z. Chungen, "Low-temperature formation of Aluminide Coatings on Ni-base Superalloys by Pack Cementation Process", Chinese Journal of Aeronautics, Vol. 23, 2010, pp. 381-385.
8. K. Habib, I. Cervera y M. Damra, "Influencia de los elementos reactivos en el deterioro mecánico por desgaste y a alta temperatura de recubrimientos AL₂O₃/NiCrAlY obtenidos por proyección térmica", XIX Congreso Nacional de Ingeniería Mecánica AEIM, 2012.
9. J. Davis, "ASM Specialty Handbook: Nickel, Cobalt, and Their Alloys", USA, ASM International, 2000.
10. D. Cramer y S. Covino, "ASM Corrosion Handbook: Fundamentals, Testing, and Protection", Vol. 13A, USA, ASM International, 2003.
11. A. Sydney, Introducción a la metalurgia física segunda edición, México: McGRAW.HILL, 1981.
12. M.M. Cueto-Rodriguez, E.O. Avila-Davila, V.M. Lopez-Hirata, M.L. Saucedo-Muñoz, L.M. Palacios-Pineda, L.G. Trapaga-Martinez y J.M. Alvarado-Orozco, "Numerical and Experimental Analyses of the Effect of Heat Treatments on the Phase Stability of Inconel 792", Adv.Mater. Sci. Eng., 2018, 4535732, pp. 1-16.

CONFIGURACIÓN EN SERIE DE HORNOS LADRILLEROS MK PARA MEJORAR LA PRODUCTIVIDAD EN EL QUEMADO DE LADRILLO

S. Alonso-Romero¹, J.A. Lara-Mireles², J.E. Frías-Chimal¹, R. Zitzumbo-Guzmán¹, D. Fernandez-Soto².

¹CIATEC (Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas), ²Universidad Politécnica de Guanajuato.
salonso@ciatec.mx.

RESUMEN

El Horno MK es utilizado para la cocción de ladrillo artesanal (rojo) que consta de dos cámaras intercomunicadas entre sí por dos túneles. Su principal ventaja es que, mientras en una de las cámaras se realiza el proceso de cocción, en la otra cámara (que también está cargada con adobe) se filtran los gases resultantes de la combustión (retención de partículas de carbón). Además, se aprovecha simultáneamente la energía calorífica de los gases residuales para secar o pre-coser los adobes de la cámara filtro. Sin embargo, para quemar en la cámara filtro se debe de esperar a que se enfríe la cámara de quemado (retiro de ladrillos quemados y carga con adobes nuevos), lo que conlleva a la pérdida del calor acumulado en la cámara filtro. Por ello se ha propuesto un sistema MK donde el calor de la cámara filtro pueda ser aprovechado, por ejemplo, realizando el quemado de los adobes de la cámara filtro al siguiente día. En el segundo día la cámara que funcionó el día anterior como filtro es utilizada como horno de quemado, y una tercer cámara actúa como cámara filtro. El cálculo sucesivo de tiempos y movimientos genera un sistema MK de seis cámaras, repitiendo el ciclo de quemado el día siete en la primera cámara. En el presente trabajo se expone el análisis que maximiza la producción de ladrillos y la disposición geométrica más adecuada para las seis cámaras. Se muestran los cálculos de tiempos y movimientos de cada proceso de quemado por cámara. Una cámara MK tiene una capacidad estimada de 5100 ladrillos en un ciclo de quemado de 6 días desde la carga hasta la descarga. El sistema de cámaras MK modificadas es capaz de quemar hasta 34,800 piezas cada 6 días, siendo el proceso de quemado semicontinuo. Conjuntamente al incremento de la capacidad productiva, el tiempo del proceso de quemado de ladrillo se reduce de 12 a 9 horas en cada quema, al aprovechar la temperatura alcanzada en la cámara filtro. Adicional a los resultados expuestos, se sugiere otra modificación al diseño que incrementa la productividad del sistema de quemado MK6 en serie. Al final, las consideraciones provenientes de quemas experimentales indican que, para la buena operación del sistema MK de 6 cámaras, se debe de organizar a los productores de ladrillo en forma de cooperativa quemando selectivamente en una cámara por día. De esta forma la producción es semicontinua, aprovecha el calor que antes se disipaba al ambiente, disminuye el consumo de combustible, genera ahorros para el productor, y disminuye considerablemente la contaminación.

INTRODUCCIÓN

Una de las más importantes actividades económicas, en países en vías de desarrollo, es la industria de la construcción, cuyo insumo principal para las edificaciones es el ladrillo rojo artesanal (Cárdenas et al., 2012). En la región de Latinoamérica se estima que hasta un 50% de la producción de ladrillo es de ese tipo (Cárdenas et al., 2012). Y como todo método artesanal donde se involucra la generación de calor, se emiten grandes cantidades de contaminación durante el proceso y elevadas pérdidas de calor. Para disminuir, o evitar, el impacto ambiental se debe hacer más eficiente el proceso, tema principal de la presente comunicación.

Robert Márquez (Márquez, 2002) realizó un estudio de reducción de contaminación en la zona de ladrilleras artesanales de Cd. Juárez. Como parte de su investigación se concibió un horno de quemado de ladrillo de dos cámaras interconectadas, donde una de ellas se comportara como un filtro. Así, Márquez (2002) propuso un nuevo horno de quemado de ladrillo pensando ecológicamente con dos cámaras interconectadas (MK2, Márquez Kiln), una siendo la cámara de quemado de adobe, y la otra siendo la cámara filtro de los gases emanados de la cámara de quemado. Las dos cámaras interconectadas, por medio de túneles subterráneos, se comunican desde la chimenea de una cámara, u horno, con la cocina de combustión de la otra cámara, a nivel del piso de la cocina de alimentación de combustible (Fig. 1).

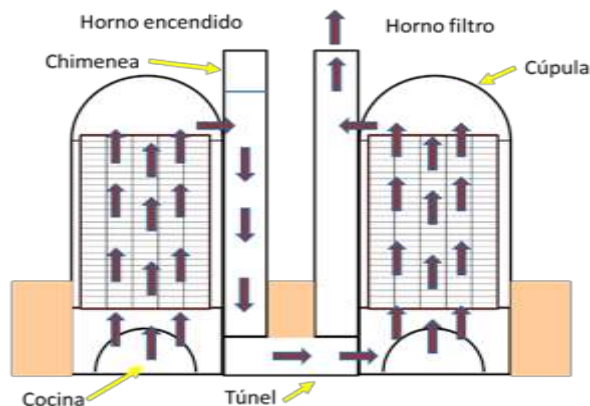


Fig. 1. Esquema del funcionamiento de un horno MK2.

El proceso de quemado de ladrillo en el horno MK2 implica dos etapas. La primera comienza con la carga con adobe en las dos cámaras. Luego se realiza el proceso de quemado en una de las cámaras, la cámara de quemado (por ejemplo, la cámara izquierda en la Fig. 1), cuyos gases contaminantes emitidos suben hacia la chimenea (flechas indicadas). Los gases de combustión no se van directamente al ambiente, sino que la chimenea cuenta con una válvula que se cierra para obligar a los gases de combustión a descender hacia el túnel de comunicación entre ambas cámaras. Al llegar los gases a la otra cámara, la cámara filtro (cámara de la derecha, Fig. 1), las partículas sólidas contaminantes son retenidas por el entramado de adobes ya acomodados. Además, los gases de combustión están muy calientes a la salida de la chimenea de la cámara de quemado, lo que también seca y precalienta los adobes acomodados en la cámara filtro. Los gases suben hasta la chimenea de la cámara filtro, siendo emitidos, ahora sí, a la atmósfera, estando la válvula de la chimenea abierta.

La segunda etapa del proceso de quemado de ladrillo en el horno MK2 implica llevar a cabo el quemado de los adobes de la cámara filtro. En esta etapa ahora la cámara filtro se convierte en la cámara de quemado, cuyos adobes han sido precalentados y, los de abajo inclusive, precocidos. Sin embargo, para quemar los adobes de la cámara filtro, implica descargar los ladrillos de lo que fue la cámara de quemado y recargar esa cámara con adobes para que se convierta en la cámara filtro. En la práctica los ladrillos quemados toman alrededor de 3 días en enfriarse para poder ser descargados; para cuando ello ocurre el calor acumulado en la cámara filtro ya se ha perdido. Por ello esta configuración de dos cámaras tiene sólo dos ventajas, el potencial precocido de los adobes de la cámara filtro, y la retención en ella de las partículas sólidas contaminantes emitidas en la primera etapa del proceso. El ciclo, de esta forma, puede repetirse indefinidamente.

A pesar de ya tener prácticamente 20 años de haber sido diseñado, pocas referencias de trabajos en este tipo de horno han sido encontradas. Bruce y col (2012) compararon procesos de quemado de ladrillo artesanal en hornos tradicionales contra hornos MK2. De sus resultados, ellos confirman el potencial de reducción de contaminación de un horno MK2, aunque no publicaron valores cuantificados de ello. En ese mismo año, Munguía-Guillen y col (2012) publicaron una investigación de un análisis energético en el horno MK2; sin embargo, sus resultados comparan diferentes quemados con diferentes combustibles y diferentes formas de alimentación de combustible, lo que en realidad los hace no comparables al no haber una misma referencia de eficiencia energética (no se considera la calidad de los ladrillos quemados, o bien, se asume que todos están bien quemados). En el 2015 fue diseñado y construido un sistema de tres cámaras (Lujan y Guzmán, 2015); sin embargo, el sistema no fue comparado consigo mismo o con un horno MK2 para analizar su eficiencia con el incremento de una cámara, sino que fue equiparado a un horno volcán. En el comparativo, los autores reportan una reducción del consumo de energía del 48% y una fuerte reducción de la contaminación (no cuantificada). Dada la ventaja de reutilización de calor, pero sobre todo de reducción de contaminación, se identifica la necesidad de analizar un sistema de quemado de ladrillo

artesanal tipo MK como un sistema multicámaras, donde se pueda evitar perder el calor acumulado en la cámara que actúa como cámara filtro.

PARTE EXPERIMENTAL

Se propone un sistema MK donde el calor de la cámara filtro pueda ser aprovechado con la ejecución de la quema de esos adobes lo más pronto posible, tal que se incremente la eficiencia energética. El proceso inicia con la carga de adobes secos en ambas cámaras del horno MK2, lo cual puede ocurrir en un solo día y con luz natural, ya que el horno es cerrado, y el anochecer dificulta la visibilidad y el acomodo dentro del horno. El proceso de quemado de ladrillo en la cámara de quemado toma entre 8 y 13 horas, dependiendo de la cantidad de adobes involucrados y de la pericia de productor ladrillero, entre otros factores, por lo que terminando el proceso pudiera ejecutarse de manera inmediata el quemado de ladrillo de la cámara filtro. Sin embargo, no se considera conveniente porque la cámara de quemado continúa emitiendo calor por muchas horas más (Figs. 3 y 4), es decir, perdiendo calor, parte del cual se transfiere a la cámara filtro pudiendo ser aprovechado. Aunque no se ha cuantificado experimentalmente, pudiera ser una cantidad de calor apreciable para utilizarse en la cámara filtro tal que ésta sea la cámara de quemado al día siguiente. El horno MK fue instrumentado con 12 termopares ubicados, como referencia, en los puntos cardinales. Por cada punto cardinal se instalaron 4 termopares, a diferentes alturas, desde la parte baja de horno, pero arriba de los arcos de soporte (parte baja, fila A), hasta dos niveles debajo de la última cama de ladrillo, debajo de la cadena estructural de la cúpula (Fila D). La instrumentación se muestra en la Fig. 2 para las orientaciones este y norte, junto a la puerta de carga de adobes y descarga de ladrillos.



Fig. 2. Ubicaciones de los termopares del horno de quemado.

La Fig. 3 muestra el perfil de temperaturas en la parte baja del horno MK2, cámara de quemado, así como la temperatura en la parte baja de la cámara filtro. Nótese la intermitencia en la alimentación, reflejado en un zig-zag de la temperatura en la parte baja del horno, reflejo de las decisiones del productor, que introduce un lote de combustible al horno, espera a que se consuma para alimentar más. La misma intermitencia se transmite hasta el horno filtro, pero con unas horas de retraso, efecto del calentamiento de las partes altas de la cámara de quemado. El tiempo de quemado efectivo inicia al incrementarse temperatura en la parte baja, y se toma como referencia 50°C ; y el fin es considerado cuando se tiene el último máximo de temperatura, es decir, cuando el último lote de combustible es alimentado. En este experimento alimentó aproximadamente durante 13 horas, el cual es el tiempo de quemado (considerado en los cálculos como 12 horas por la variabilidad encontrada).

La cámara filtro tiene un termopar ubicado en la base, a la altura del nivel A, orientación este. Muestra la intermitencia de la temperatura, pero lo más importante, el máximo de temperatura obtenido en la zona: 327°C , el cual ocurre a 27 horas después de iniciada la quema. Ese nivel de temperatura se alcanza en la parte baja, nivel A, en la cámara de quemado a las 2 horas de haber empezado la

quema, por lo que, al menos ese debería ser el tiempo ahorrado de alimentación de combustible cuando se quema en la cámara filtro.

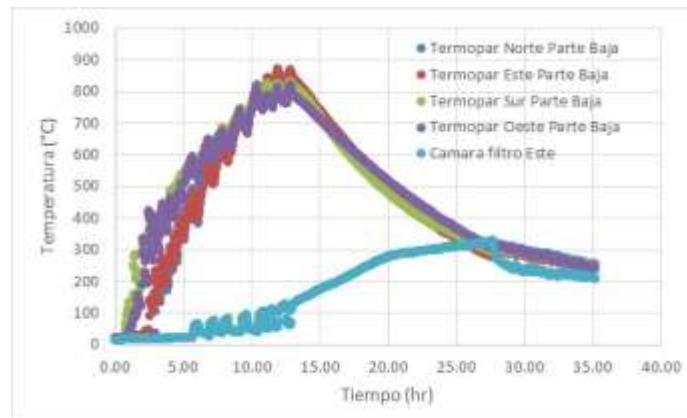
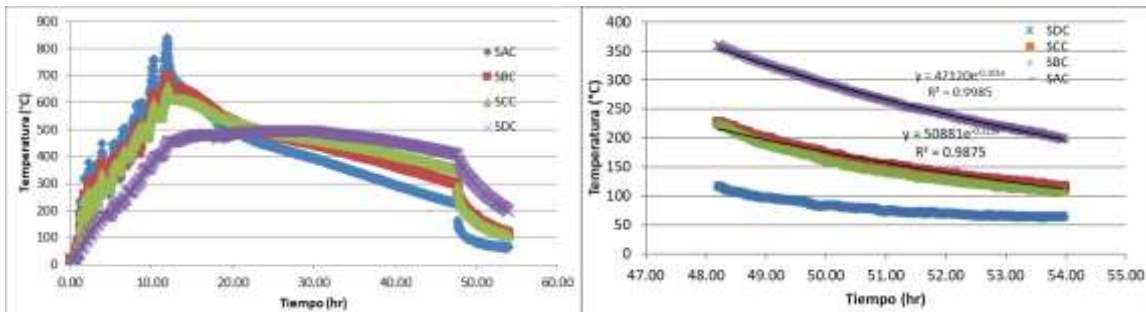


Fig. 3. Perfil de temperaturas en el horno MK2.

La Fig. 4 muestra el perfil de temperaturas en la orientación sur, la cual es la que tarda más en enfriarse porque es la última sección que recibe combustible (se encuentra arriba de la puerta de alimentación). Se confirma la intermitencia de la alimentación observada en la Fig. 3, solo que en la quema representada en la Fig. 4 se pudo continuar monitoreando la temperatura varias horas más; esto con el fin de estimar el tiempo de enfriamiento del horno y tener, de manera objetiva, el momento en el que el ladrillo se puede descargar del horno. Se nota el momento en que se deja de alimentar combustible (primer máximo en la Fig. 4, izq.), y cuando el productor abre la puerta de carga para acelerar el enfriamiento (baja súbita de temperatura a derecha de la gráfica de la Fig. 4, izq.).



La Fig. 4 (der) muestra un acercamiento del enfriamiento que ocurre después de las 48 horas de haber empezado la quema de ladrillo (extremo derecho de la Fig. 4, izq.). El monitoreo de temperatura pudo realizarse hasta las 54 horas de iniciada la quema, momento en el cual los niveles C y D están aún muy calientes. Por ello se realizó una regresión no lineal para ambos perfiles de temperatura. En la figura se muestran las ecuaciones de regresión, que calculan el tiempo en que la temperatura alcanzada es de 50°C: para el nivel D a las 67.7 hr mientras que para el nivel C a las 61.2 hr. El tiempo crítico del nivel D corresponde a 2.82 días de haber empezado la quema, que corresponde a la madrugada, y que en la práctica se convierte en 3 días, tiempo considerado en los tiempos y movimientos de los cálculos de las actividades ocurridas en el quemado de ladrillos para los hornos MK en serie.

El análisis de tiempos y movimientos de un proceso completo de quemado en un horno MK2 durante varias quemadas experimentales se muestra en la Tabla 1. Las actividades de carga y descarga se realizan con luz de día, ya que, al ser un horno cerrado, la falta de luz natural dificulta las maniobras operativas dentro del horno. Otra consideración es la realización de la quema también durante el día, aunque se sabe que algunos productores suelen realizar sus procesos durante la noche.

Tabla 1. Consideraciones de tiempos y movimientos del proceso de quemado de ladrillo en un horno MK2.

Movimientos/Actividades	Tiempos (h)
Carga de cámara de quemado con adobes.	12
Quemado de cámara de quemado.	12
Quemado de cámara filtro.	9
Tiempo de enfriamiento de cámara de quemado.	72 hasta 50°C
Descarga de ladrillos de cámara de quemado.	12

Como lo diseñó Robert Márquez (2002), el sistema debe tener dos cámaras. En las condiciones experimentales identificadas (Tabla 1), sólo es posible quemar en una cámara (día 2) y filtrar en la otra al mismo tiempo una sola vez; por los tiempos, se podría cargar de adobe nuevamente la cámara de quemado hasta el día 6. Este es un proceso con cierto grado de improductividad desde el punto de vista de eficiencia energética.

Para aprovechar el calor acumulado en la cámara filtro es preciso quemar cuanto antes ahí. Cómo se observó en la Fig. 4 (izq.), lo más conveniente es que sea al siguiente día. Para ese día la siguiente cámara, la cámara 3, debió haberse cargado de adobe, máximo, en el día 2. Siguiendo los tiempos de las etapas de carga de adobe (loading), quemado de ladrillo (burning), precalentamiento (precooking), enfriamiento de la cámara de quemado (cooling), y descarga de ladrillo de la cámara de quemado (unloading), se obtiene el cuadro de ciclo de quemado para un MK-n en serie, el cual se muestra en la Fig. 5.

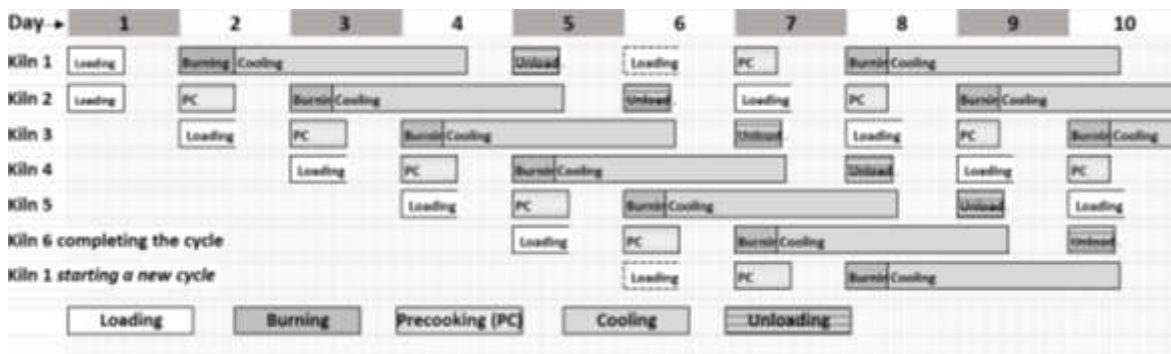


Fig. 5. Ciclo de quemado en horno MK-n (hasta 10 días mostrados).

Así, el ciclo de quemado natural de un horno MK-n se lleva a cabo cargando la cámara 1 en el día 1, quemando en el día 2, y dejando enfriar hasta el día 5. Debe notarse que el ciclo de la cámara 1 está incompleto, porque no se ha precalentado. El análisis del comportamiento de la cámara 2, y las subsiguientes, sí es representativo porque siguen el proceso completo. Para la cámara 2, el proceso de quemado se realiza en el día 3, habiendo sido precalentada el día 2 y cargada de adobe el día 1. Por los tiempos y movimientos experimentales, la cámara 2 se puede descargar en el día 6, cargar en el día 7, precalentar en el día 8 y quemar en el día 9, y así sucesivamente. Como lo marca la Fig. 5, el ciclo de la cámara 2 se completa al día 6, es decir, la misma actividad de carga de adobes de repite en el día 7. Un sistema de 6 cámaras es capaz de completar el ciclo de manera infinita.

Pueden producirse hasta 5,800 piezas de ladrillo por quema de 7x14x28 cm. Eso asumiendo una modificación de diseño del horno MK2 de Márquez (2002). Él consideró arcos fijos de soporte para soportar el acomodo de los adobes; sin embargo, dado que se alcanzan temperaturas considerablemente altas en la parte baja del horno (Munguía-Guillén y col, 2012), se sugiere quitar los arcos fijos y comenzar a construir el acomodo de ladrillos desde el piso, como se realiza en los hornos tradicionales de campaña. Esto incrementa la productividad del horno en una cantidad de ladrillos equivalente al número de adobes necesarios para sostener los adobes a la misma altura a la que se encuentran los arcos fijos. El cálculo estima 700 adobes adicionales.

La capacidad del sistema, en un ciclo de 6 cámaras MK modificadas, puede llegar hasta 34,800 piezas. Con el día adicional se tendrían 40,600 ladrillos por semana, aproximadamente, sin día de descanso (tratando de aprovechar el calor de la cámara filtro que se perdería si se interrumpiera el ciclo).

Desde el punto de vista operativo es preciso imaginar cómo deberían estar las cámaras configuradas geoméricamente para lograr la comunicación subterránea y transferir el calor de los gases de combustión de la cámara de quemado a la cámara filtro. La mejor configuración es un hexágono, idealmente irregular. La irregularidad se obtiene por la necesidad de llevar la carga de combustible a las cocinas de quemado de los hornos, las cuales se han dispuesto en la parte interna del hexágono. Las actividades de carga de adobe y descarga de ladrillo se realizan teniendo la puerta de carga y descarga en la parte externa del hexágono, lo que proporciona suficiente área de maniobras con los vehículos de traslado. La Fig. 6 muestra la disposición de los hornos con las medidas sugeridas de espaciamiento.

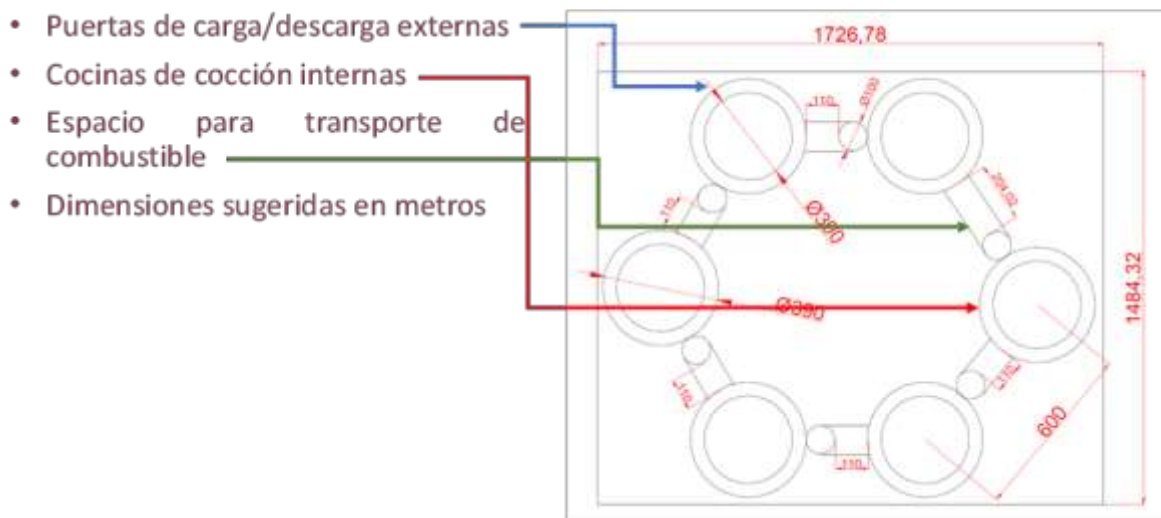


Fig. 3. Disposición geométrica de un sistema de quemado tipo MK de 6 cámaras.

Existen productores ladrilleros que tienen hornos de quemado de ladrillo de hasta 40,000 piezas por quema, aunque esto es muy variable, ya que depende del tamaño del horno y del tamaño de las piezas de ladrillo. Aquí se ha considerado el tamaño del ladrillo de 7x14x28 cm, aunque en Puebla, Acámbaro, y Jalisco hay productores que manejan menores dimensiones. En hornos grandes el ciclo de quemado, desde la carga del horno, quemado, enfriamiento, y descarga, toma más tiempo y puede llevar hasta dos semanas. Para el sistema de hornos en serie propuesto aquí se debe de analizar muy cuidadosamente la capacidad de producción y de venta del productor de ladrillo, ya que en caso de haber incapacidad para elaborar y vender 40,600 piezas por semana pudiera obligar a que la operación de un horno MK configurado en 6 cámaras requiera de dos o más productores. Se considera que a partir de 3 productores el sistema de seis cámaras MK pudiera funcionar como cooperativa.

CONCLUSIONES

La configuración de 6 cámaras tipo MK modificadas dispuestas en configuración hexagonal puede ahorrar combustible, tiempos de quemado y disminuir considerablemente la contaminación. El rediseño adicional de las cámaras como el reemplazo de los arcos fijos por arcos de soporte tipo campaña incrementan la capacidad de producción de cada cámara, la productividad, y la eficiencia energética. La cámara filtro actúa no solo para retener el material particulado contaminante generado durante la combustión en la cámara de quemado, sino también como almacén de energía calorífica que a la larga representa un alto impacto ambiental positivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bruce, C. W., Corral, A. Y. and Lara, A. S. (2012). "Development of cleaner-burning brick kilns in Ciudad Juarez, Chihuahua, Mexico". *J. Air & Waste Manag.* Vol. 57, 4, 2012, pp. 444-456.
2. Cárdenas, B., Aréchiga, U., Munguía, J. L., Márquez, C. and Campos, A. (2012). "Evaluación preliminar del impacto ambiental por la producción artesanal de ladrillo: eficiencia energética y calidad del aire". Informe inédito. Universidad Autónoma Metropolitana-Instituto Nacional de Ecología, México.
3. Márquez, Robert, O. "Appropriate chemistry for the economically limited people of Earth". Ph.D. Thesis. New Mexico State University, Las Cruces, New Mexico, (2002).
4. Munguía-Guillen, J. L., Cárdenas-González, B. Piña-Victoria J. C., Aréchiga-Viramontes, J. U. (2012). "Análisis Energético en hornos ladrilleros MK2". *Memorias del II Congreso Internacional AMIDIQ*, 2012. pp. 3799-3804.

CARACTERIZACIÓN TÉRMICA Y ÁCIDA DE DIÓXIDO DE TITANIO PREPARADO POR SOL-GEL.

Nadia Edith Ramírez Segura, Adriana Isabel Reyes de la Torre, Ricardo García Alamilla, María Isabel Arregoitia Quezada, José Luis Rivera Armenta, Hugo Alberto Velasco Ocejo.

Tecnológico Nacional de México, Tecnológico de Ciudad Madero
ricardo.ga@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

El dióxido de titanio, TiO_2 , se ha usado ampliamente en catálisis ambiental, específicamente en la remoción de contaminantes orgánicos en medio acuoso, su preparación se puede llevar a cabo por precipitación, hidro-térmicamente, solvo-térmicamente y sol-gel, este último método se destaca por pureza y la facilidad de modificar las propiedades finales del óxido. En este trabajo se preparó el TiO_2 vía sol-gel modificado con fósforo y hierro empleando pH 1 y alcohol metanol, estudiándose sus propiedades térmicas y ácidas. Los espectros infrarrojos mostraron la formación de un óxido metálico asociado a la formación del dióxido de titanio y en los materiales modificados con fósforo se corroboró la existencia de grupos funcionales relacionados con este elemento persistiendo a temperaturas mayores a 500°C , lo cual sugiere un fuerte anclaje entre el fósforo y el óxido. Los cambios en peso en los materiales fueron monitoreados por análisis termogravimétrico observándose que la mayor reducción en la masa de los materiales se presentó entre 25 y 450°C siendo máxima en el material puro (25%). A temperaturas superiores a 500°C no se presentaron pérdidas de peso adicionales lo que establece que estos materiales son térmicamente estables a esta temperatura. Los patrones de difracción de rayos X identificaron la existencia de la fase anatasa con trazas de fase rutilo y la reducción en el tamaño de cristalito con la adición de fósforo (18 nm y 5 nm) aunque la presencia de hierro no parece afectar el tamaño de cristal. Por otra parte, la acidez de los materiales también se modificó con la adición de fósforo incrementándose la máxima fuerza ácida y la concentración de sitios ácidos en los materiales modificados respecto al dióxido de titanio puro (-25.5 mV y 176 mV).

INTRODUCCIÓN

El calentamiento global y los altos índices de contaminación han motivado que en la actualidad las investigaciones científicas busquen alternativas para disminuir el índice de contaminación. La Catálisis Heterogénea ha empleado el dióxido de titanio como un fotocatalizador desde hace varios años para diversas aplicaciones ambientales como son la recolección de energía solar, dispositivos de almacenamiento de energía, tratamiento de aguas residuales, purificación del aire, entre otros. En la actualidad, existe un gran interés en investigar las propiedades fisicoquímicas de materiales semiconductores para su aplicación en el área de la catálisis heterogénea. En dicha área, el dióxido de titanio (TiO_2) es el material más usado e investigado debido a sus propiedades eléctricas y ópticas, estabilidad química, resistencia a la foto-corrosión, poder oxidante, biocompatibilidad, no toxicidad y disponibilidad comercial²⁻³. El TiO_2 ha encontrado aplicaciones versátiles en las áreas de catálisis, como son la recolección de energía solar, dispositivos de almacenamiento de energía, medicina, metalurgia, como pigmento; es muy eficiente para eliminar sustancias tóxicas presentes en el medio ambiente, razón por la cual el TiO_2 se ha usado para descomponer los gases que causan el efecto invernadero y compuestos tipo NO_x presentes en la atmósfera²⁻³. El TiO_2 presenta tres estructuras cristalinas: anatasa (tetragonal), rutilo (tetragonal) y brookita (romboédrica); en donde la fase más estable es la fase rutilo, sin embargo, la anatasa es la fase más fotoactiva, debido a que su estructura cristalográfica contiene mayor cantidad de oxígeno superficial susceptible a formar radicales OH^\cdot , además de retardar la recombinación de pares electrón-hueco lo que es esencial en este tipo de reacciones químicas. Estas fases presentan energía de banda prohibida entre 3.0 eV y 3.2 eV, respectivamente, siendo fotoactivas con luz UV⁴. El dióxido de titanio se ha obtenido por diferentes métodos de síntesis, entre estos se encuentran la síntesis química en fase vapor, hidrotermal, solvo-térmicamente, precipitación controlada, precursor polimérico (Pechini) y sol-gel⁵. El método sol-gel se ha investigado durante mucho tiempo debido a varias ventajas entre ellas: (1) es fácil de operar y es barato, (2) en las películas se adhieren

fácilmente en el sustrato; (3) se puede utilizar para la deposición de los sustratos con superficies complejas⁶. El método involucra una suspensión coloidal de partículas donde el precursor puede ser un alcóxido metálico y que conduce a la formación de óxidos mediante reacciones inorgánicas poliméricas. Tiene 4 etapas características: hidrólisis, policondensación, secado y descomposición térmica. Una de las principales aplicaciones de este método de síntesis es en la producción de películas delgadas de alta calidad debido a que todo el proceso sucede a condiciones suaves de reacción, no obstante, su aplicación en suspensión tiene la ventaja de mayor fotoactividad, se tiene mayor homogeneidad, baja temperatura de sinterización, facilidad en obtener materiales con varios componentes y se puede manejar el tamaño de la partícula, así como su forma y distribución. Cabe indicar que el método de sol-gel típicamente implica el uso de metales inorgánicos (tetraisopropóxido, tetracloruro de titanio, entre otros) como precursores⁷.

En el presente trabajo se sintetiza el TiO₂ por el método sol-gel modificado con fósforo y hierro, empleando pH 1 y se usó como solvente metanol, estudiándose sus propiedades térmicas y ácidas y su efecto en la decoloración de un colorante textil.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

Butóxido de titanio (IV) Sigma Aldrich grado reactivo 97%, Metanol HPLC Fermont, Ácido clorhídrico ACS Fermot, Ácido fosfórico 85% Productos Químicos Monterrey S.A., Nitrato férrico nonahidratado ACS 99.4% Fermont y agua tridestilada (H₂O, Quimicron).

Síntesis del dióxido de titanio vía sol-gel

El hidróxido de titanio se preparó de acuerdo al trabajo de K. J. Anu (2018) mediante el método sol-gel utilizando una relación 6:1 en alcohol/alcóxido y agua/alcóxido. En un reactor se agregaron el butóxido de titanio IV disuelto en el metanol y se mantuvo en agitación constante a temperatura ambiente. Una vez homogenizada la mezcla se llevó a cabo la hidrólisis y condensación, y se controló el pH a 1 con HCl, manteniendo la agitación y temperatura constante por 1 h. Controlado el pH se incrementó la temperatura a 40°C manteniendo la mezcla con agitación hasta obtener un gel, una vez formado este se incrementó la temperatura a 100°C y se mantuvo así por 3 h. El precipitado obtenido se pulverizó y se secó y se calcinó a 500°C de temperatura.

Síntesis del dióxido de titanio modificado

El TiO₂ se modificó con 2% de fósforo para lo cual se agregó en un vaso de precipitado y se le añadió ácido fosfórico y agua tridestilada a temperatura ambiente, el sistema de impregnación se mantuvo con agitación magnética durante 30 min, tiempo suficiente para formar una solución homogénea. Se agrega lentamente el hidróxido de titanio en la solución de ácido fosfórico/agua en agitación vigorosa durante 1 h, posteriormente se secó la solución. El sólido impregnado con el ácido se secó y se calcinó a 500°C, el fotocatalizador fue denominado TP2-500. El mismo procedimiento se llevó a cabo para modificar el TiO₂ con el nitrato férrico nonahidratado (1% en peso en hierro) y posteriormente se impregnó con el ácido fosfórico en 2% en peso, el material fue denominado TP2 Fe1-500.

Caracterización de los Fotocatalizadores

Los materiales se caracterizaron mediante análisis termogravimétrico (TGA) y calorimetría diferencial de barrido (DSC); espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR) y difracción de rayos X (DRX), el tamaño medio de cristalito de la partícula fue calculado utilizando la ecuación de Debye-Scherrer:

$$d = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta} \quad (1)$$

Donde d es el tamaño de cristalito o grano, K es una constante adimensional que puede variar de 0.89 a 1.39 dependiendo de la geometría específica de los objetos de dispersión, λ es la longitud de onda de los rayos X (1.5406 Å para la radiación Cu K α), β es el ancho del pico máximo de difracción de rayos X a la altura media, y θ es el ángulo de Bragg y se obtiene a partir del valor 2θ correspondiente al pico con máxima intensidad en el patrón de DRX². La acidez se determinó por titulación potenciométrica con n-butilamina, finalmente la fotoactividad de los materiales se determinó en la decoloración de una solución acuosa de azul de metileno.

Actividad Fotocatalítica

La actividad fotocatalítica de los materiales fue estudiado evaluando la decoloración de una solución acuosa con una concentración de 15 ppm de azul de metileno. La concentración de catalizador usada en cada prueba fue de 0.6 g/L. La reacción se efectuó en el interior de un dispositivo provisto de paredes reflejantes y usando una lámpara de Luz UV de 25 watts que emite a 254 nm. Se utilizó un reactor con alta recirculación y un volumen total de 2 L. Cada 30 minutos se tomó una alícuota la cual se centrifugó y filtró para su análisis mediante un equipo UV-Vis Agilent Cary 60.

RESULTADOS

En la figura 1 muestra el termograma (TGA-DSC) del material T500 en el cual se observan tres etapas de pérdida en peso en función de la temperatura de calentamiento. Las transformaciones ocurridas (curva TGA) arrojaron una pérdida total de peso de aproximadamente 25%.

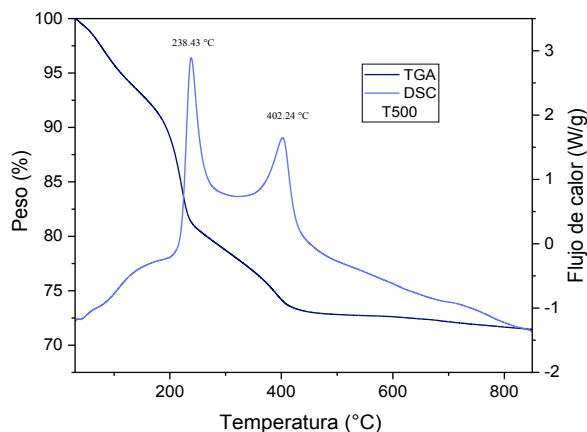


Figura 1 Análisis de TGA-DSC de T500.

En la primera etapa de pérdida de peso se registró alrededor del 8% de la pérdida de la masa total, en este rango de temperatura la reducción del peso se debe a la pérdida de agua adsorbida en la superficie del material⁸, la segunda etapa de pérdida de masa fue del 10% y se debe a la eliminación del tensoactivo catiónico (OH^-) adsorbido en el material. La última etapa de pérdida en peso es continúa entre 250 y 500°C, después de esta temperatura ya no existe mayor cambio en el peso del material esto es debido a que el componente orgánico ha sido desalojado completamente del material además de haberse dado los cambios químicos promovidos por la temperatura⁹. En el DSC el pico exotérmico a 238.43°C es causado por la descomposición de sustancias orgánicas en el xerogel¹⁰. El pico endotérmico que ocurre a partir de 300°C a 400°C es asociado con la transformación del dióxido de titanio amorfo a cristalino¹¹. En la figura 2 presenta los resultados de TGA de los materiales T500, TP2-500 y TP2Fe1-500, el material TP2-500 presentó una pérdida en peso ~21% en el intervalo de temperatura de 40°C a 500°C lo cual corresponde a la eliminación de agua fisisorbida, volatilización de solventes y eliminación de materia orgánica¹²⁻¹³.

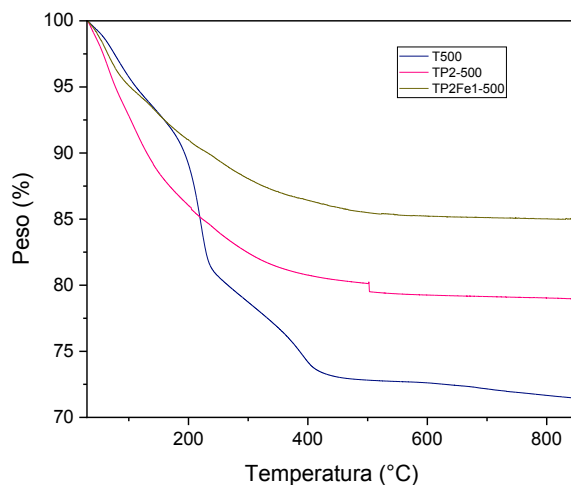


Figura 2 Análisis de TGA para los materiales T500, TP2-500 y TP2Fe1-500.

El material TP2Fe1-500 observó una pérdida en peso $\sim 15\%$ en el rango de temperatura de 80°C a 480°C la cual está relacionada con la evaporación de solventes y combustión de materia orgánica¹¹⁻¹³. La modificación de la estructura de TiO_2 con fósforo y hierro disminuye las pérdidas en peso de los materiales modificados en comparación del material T500 donde su pérdida en peso fue mayor ($\sim 25\%$) con respecto a los materiales modificados.

En los espectros de Infrarrojo mostrados en la figura 3 se muestran el óxido de titanio puro y los modificados con fósforo y fósforo-hierro respectivamente en particular en la región entre $400\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$, estos espectros fueron recolectados mediante pastilla de KBr. En el espectro de T500 y TP2-500 se observa alrededor de 1380 cm^{-1} una pequeña señal correspondiente al enlace C-O el cual indica remanentes de los precursores orgánicos que se degradan por efecto de la temperatura de calcinación⁸⁻¹⁴. En la región comprendida entre $400\text{-}1000\text{ cm}^{-1}$ se observa una débil señal de estiramiento que identifica al enlace metal-oxígeno (Ti-O) para el material T500, mientras que en los materiales TP2-500 y TP2Fe1-500 esta señal es de mayor intensidad abarcando desde $450\text{-}800\text{ cm}^{-1}$ la cual se han asignado a enlaces del tipo Ti-O-Ti. La señal localizada en los materiales TP2-500 y TP2Fe1-500 entre el rango de $1000\text{-}1100\text{ cm}^{-1}$ que corresponde a la formación de enlace Ti-O-P resultado del dopaje con fósforo¹⁵.

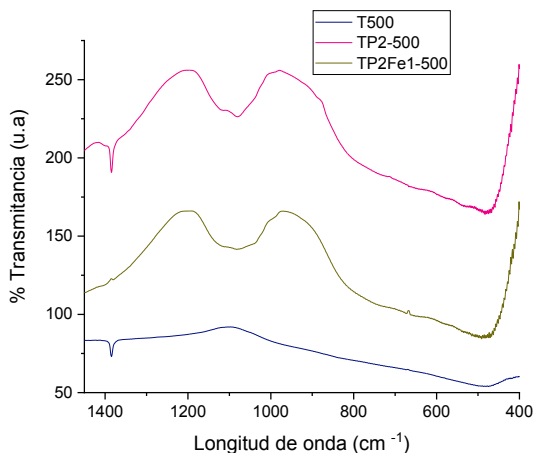


Figura 3 Espectros de FTIR de formación de óxidos de los materiales T500, TP2-500 y TP2Fe1-500 calcinados a 500°C en la región de $400\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$.

Los patrones de difracción de rayos X de los materiales TP2Fe1-500, TP2-500 y T500 se presentan en la figura 4, en todos los materiales se identifica a la fase anatasa y trazas de fase rutilo.

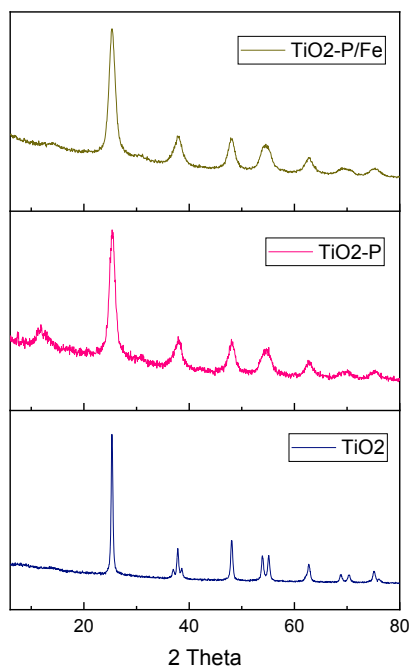


Figura 4 Patrones de difracción de rayos X de los materiales T500, TP2-500 y TP2Fe1-500

La adición del ácido fosfórico promovió la reducción en el tamaño de cristalito, pasando de 18 nm del material T500 a 5 nm en TP2-500, no obstante, en el material TP2Fe1-500 que contiene 1% de hierro, el efecto fue menor.

En la figura 5 se observan los perfiles de neutralización de los sitios ácidos mediante la n-butilamina. De acuerdo con esta técnica se observa que el material que presentó la mayor fuerza ácida (150 mV) fue el TP2-500, seguido del material TP2Fe1-500 con 100 mV, estos datos indican que la presencia de fósforo promovió la aparición de sitios ácidos fuertes de acuerdo a la escala reportada para esta técnica¹⁶, así como una distribución de sitios ácidos heterogéneos en el dióxido de titanio tal como se observa en la tabla 1.

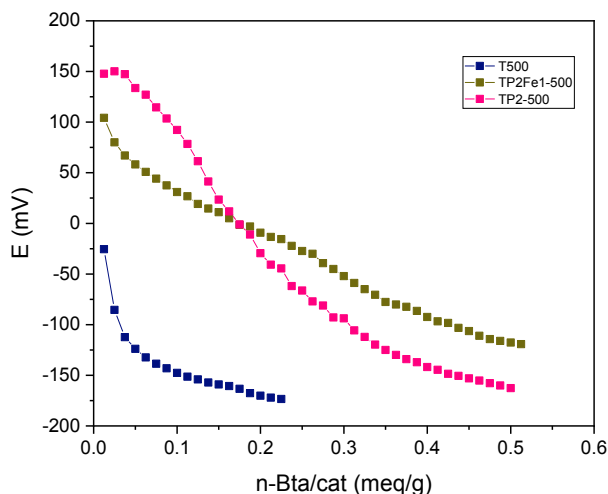


Figura 5 Perfiles de neutralización de los materiales sólidos ácidos T500, TP2-500 y TP2Fe1-500

Tabla 1. Distribución de sitios ácidos en óxido de titanio puro y modificado

Catalizador	M.F.A (mV)	Acidez total (meq n-BTA/g cat.)	Concentración de sitios ácidos [meq $\frac{n-BTA}{g\ cat.}$]			
			Muy fuertes	Fuertes	Débiles	Muy débiles
T500	-25.5	0.225				0.2250
TP2-500	176	0.500	0.1125	0.1000	0.2000	0.0875
TP2Fe1-500	104	0.512	0.0125	0.1625	0.2500	0.0875

La actividad fotocatalítica del material TP2-500 fue estudiada en presencia de luz ultravioleta en la decoloración de una solución acuosa conteniendo 15 ppm de azul de metileno (AM). El porcentaje de decoloración fue calculada mediante la fórmula:

$$D = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 \% \quad (2)$$

Donde D representa el porcentaje de decoloración de la solución de AM, A_0 es la absorbancia de la solución de AM antes de reacción y A es la absorbancia de la solución de AM después de la reacción². El perfil de decoloración de la solución acuosa (15 ppm de AM) contra tiempo de irradiación se muestra en la figura 6.

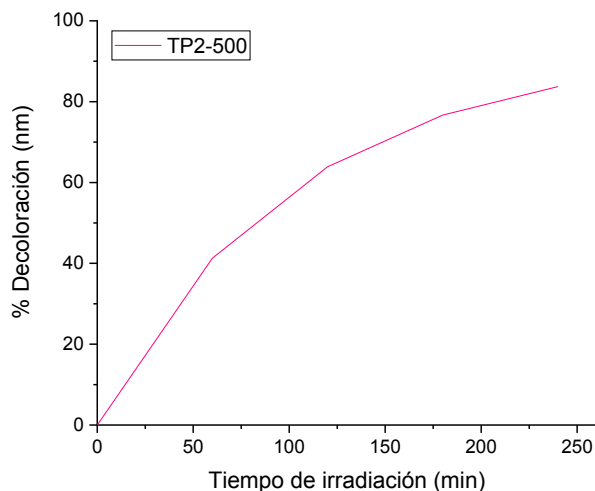


Figura 6 Evaluación de actividad fotocatalítica del material TP2-500 calcinado a 500°C. (0.6 g/l de catalizador, luz UV).

El perfil de la decoloración del AM muestra un incremento constante de la decoloración del AM de 0 hasta los 240 minutos de irradiación con la luz ultravioleta, en este tiempo el material TP2-500 alcanzó a decolorar en un 83% la solución de azul de metileno, por otra parte, a condiciones de reacción similares se evaluaron los materiales T500 y TP2Fe1-500 alcanzando a decolorar 41 y 61% respectivamente al colorante.

CONCLUSIONES

Mediante el método de sol-gel empleando metanol y controlando el pH en 1 se preparó nanopartículas de TiO_2 con predominio de estructura anatasa. La introducción de fósforo redujo el tamaño de cristalito del dióxido de titanio, por otra parte, la presencia de fósforo en la estructura de TiO_2 promovió la aparición de sitios ácidos en el dióxido de titanio. El material TP2-500 fue más fotoactivo en la descomposición del colorante azul de metileno en presencia de luz ultravioleta obteniendo 83% de decoloración.

Agradecimiento: Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado a través del proyecto 8118.20-P

BIBLIOGRAFÍA

1. O. Yasser, "Síntesis de TiO_2 , fase anatasa, por el método sol-gel: estudio del efecto de la presencia de AcacH en el sistema", *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.*, No. 52, 2010, 29-40.
2. K. J. Anu, "Influence of solvent and pH on the synthesis of visible light active titanium dioxide nano particles", *J. Sol-Gel Sci. Technology.*, 87, 2018, 391-399.
3. T. M. Leticia M., "Estudio de las propiedades estructurales, texturales y catalíticas de TiO_2 dopado con indio y níquel", *Ingenierías*, Vol. XIV, 53, 2011, 23-34.
4. Z. A. Yozara, "Influencia de la irradiación microondas/ultrasonido en la síntesis sol-gel de nanopartículas de dióxido de titanio para su aplicación en fotocatalisis", *Rev. Mex. De Ing. Química*, Vol.16, No.3, 2017, pp.899-909.
5. V. U. Mónica A., "Nanopartículas de TiO_2 , fase anatasa, sintetizadas por métodos químicas", *Ing. & Des.* Vol.29, No.2, 2011, pp. 186-201.
6. K. T. Ting, "A Review of Photocatalysts Prepared by Sol-Gel Method for VOCs Removal", *Int. J. Mol. Sci.*, Vol. 11, 2010, pp. 2336-2361.

7. Mosquera E., "Síntesis y caracterización de nanopartículas de dióxido de titanio obtenidas por el método de sol-gel", *Rev. Politécnica*, Vol. 36, No.3, 2015, pp. 7-13.
8. Z. M. Joao V., "Synthesis and Characterization of TiO₂ Nanoparticles by the Method Pechini", *Seventh Int. Latin A. Conf. on Powder Technology*, Nov. 08-10, pp. 449-455.
9. G. P. Elizabeth, "Síntesis y caracterización de óxidos mixtos de sílice-titania preparados por método sol-gel y tratamiento hidrotérmico", *Rev. EIA. Esc. Ing. Antioq.*, Vol. 10, No. 9, ene.-jun. 2013, pp. 123-132.
10. L. Lin, "Photocatalytic properties of phosphor-doped titania nanoparticles", *Applied Catalysis B. Environmental*, No. 75, 2007, pp.52-58.
11. M. Mahlambi, "Comparison of rhodamine B degradation under UV irradiation by two phases of titania nano-photocatalyst", *J Therm Anal Calorim*, No. 110, 2012, pp. 847-855.
12. T. Frederik, "Characterization of Phosphate Species on Hydrated Anatase TiO₂ Surfaces", *American Chemical Society pubs.acs.org/Langumir*, Vol. 32, 2016, pp. 997-1008.
13. T. M. Leticia M., "Estudio de las propiedades estructurales, texturales y catalíticas de TiO₂ dopado con indio y níquel", *Ingenierías*, Vol. XIV, No. 53, octubre-diciembre 2011, pp. 23-34.
14. H. Enríquez J. M., "Síntesis y caracterización de nanopartículas de N-TiO₂-Anatasa", *Soc. Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales*, Vol. 21, No. 4, 2008, pp.1-5.
15. S. Guo, "Synthesis of phosphorus-doped titania with mesoporous structure and excellent photocatalytic activity", *Materials Research Bulletin*, No. 48, 2013, pp. 3032-3036.
16. A. P. Salvador, "Deshidrogenación oxidativa de propano usando catalizadores de vanadio-titania", [Tesis doctoral, Instituto Tecnológico de Cd. Madero], 2008, pp. 84. Repositorio del Instituto Tecnológico de Cd. Madero.

VERIFICACION DE SENSIBILIDAD DE UN INTERFEROMETRO ESPI PARA MEDICION DE DEFORMACIONES EN PLANO

Michelle Cota Estrada¹, Sergio Rojas Ramírez²

Universidad Aeronáutica en Querétaro
7299@soyunaq.mx

RESUMEN

Este trabajo es un primer acercamiento en la UNAQ a la tecnología del interferómetro de patrones de moteado mediante la verificación de la sensibilidad a la deformación en plano. La interferometría electrónica de patrones de moteado (ESPI por sus siglas en inglés) es una de las más importantes en la industria ya que se utiliza para realizar mediciones de campo completo basado en la proyección de luz laser, sistemas de captura y análisis de imágenes¹. Para la implementación de este interferómetro ESPI se propone la verificación de su sensibilidad, es decir la cantidad de franjas por unidad de deformación.

La metodología del proyecto implicó el uso de componentes ópticos con los que ya contaba la universidad y las monturas fueron diseñadas y fabricadas por manufactura aditiva de plástico. Al no contar con monturas comerciales este interferómetro se considera de bajo costo. Para la verificación de la sensibilidad del interferómetro ESPI se utilizó una cama caliente MK2B con placa de aluminio. La cama caliente se calentó a 60°C y se dejó enfriar, durante el enfriamiento se capturaron imágenes de patrones de moteado.

El cálculo de la deformación en plano de la placa de aluminio se realizó mediante el uso de la ecuación de dilatación térmica lineal, en donde se utiliza el coeficiente de expansión térmica del aluminio y la temperatura de la placa. La medición de temperatura se realizó con un termistor con encapsulado de vidrio ubicado al centro de la placa. Al respecto del interferómetro de moteado se calculó el factor de sensibilidad de franja para un ángulo θ respecto al eje de visión de 20.3°, resultando un factor de sensibilidad de franja² de 0.694. Se utilizó un láser He-Ne con longitud de onda de 632.8 nm resultando una sensibilidad del interferómetro de moteado igual a 0.912 μm por franja. Se tomaron imágenes en intervalos de tiempo de 1 s durante el enfriamiento de la placa desde 60 °C a 35 °C el cual tomó un lapso de 5 minutos. Se analizaron imágenes correspondientes a cambios de temperatura de aproximadamente 1 °C, observándose un corrimiento de franjas, el conteo de estas franjas fue de aproximadamente 3 para diferentes temperaturas. La diferencia entre la deformación calculada por ambos métodos fue del 10% en el peor de los casos.

La medición de temperatura, la vibración ambiental y la simplificación del modelo de la placa a un modelo de dilatación térmica lineal son las principales fuentes de error identificadas. La vibración ambiental en un ambiente no controlado es considerable. La cama caliente, además de la placa de aluminio, tiene pistas de cobre depositadas sobre un sustrato que no se toman en cuenta para el cálculo de deformación.

INTRODUCCIÓN

La industria demanda productos de calidad y confiabilidad, provocando así la necesidad de monitorizar los materiales utilizados, así como el desarrollo de mejores técnicas de detección de defectos para evaluaciones no destructiva. Esto permite la de reducir costos al evitar retrabajos o rechazos por parte de sus clientes. Las fallas en los materiales pueden presentarse tanto en la superficie como en el interior de una pieza.

Se han propuesto y desarrollado diversos procedimientos de prueba no destructiva para detectar daños internos como lo son las técnicas de vibración, radiografía X, termografía, emisión acústica, inspección ultrasónica, corrientes parásitas, técnicas ópticas y campos magnéticos (M. Rezaiee-Pajand, 2012). Los métodos interferométricos proporcionan una herramienta de gran sensibilidad y precisión (Jorge Parra-Michel). Utilizando una cámara a intervalos de tiempo se puede obtener información para determinar deformaciones en elementos mecánicos y así, prevenir fallas estructurales indeseables.

Este artículo hace énfasis en la implementación de un arreglo experimental para un interferómetro de patrones de moteado (ESPI) para medición de deformaciones en plano, así como en la

verificación de la sensibilidad del interferómetro de patrones de moteado mediante la medición de la dilatación de una placa de aluminio.

TEORÍA

Las pruebas no destructivas son un método de control de calidad de materiales y una herramienta de mantenimiento preventivo. En este tipo de pruebas no se busca determinar las propiedades físicas de las piezas, sino verificar su homogeneidad y continuidad, y son un complemento a los ensayos destructivos, además de que este tipo de pruebas no alteran de forma permanente las propiedades físicas, químicas, mecánicas o dimensionales de un material (Rodríguez, 2016).

La interferometría ESPI, por sus siglas en inglés (*Electronic Speckle Pattern Interferometry*), permite la detección en campo completo de los desplazamientos de un objeto de prueba (Hariharan, 2007). Es una de las pruebas no destructivas más importantes en la industria ya que con esta, es posible medir la deformación de superficie basado en la luz láser y sistemas optoelectrónicos de captura y análisis de datos (Rodríguez-Vera R. & 2010). Cuando una superficie rugosa se ilumina con una fuente de láser aparece un campo granular. Al correlacionar dos imágenes de moteado (antes y después de la deformación que sufre el objeto bajo prueba) aparece un patrón de franjas indicando que se modificó el objeto. El patrón de moteado, causado por la interferencia aleatoria de luz esparcida desde varios puntos de la superficie del objeto puede usarse para obtener información de la deformación. La deformación de la superficie puede verse entonces como una diferencia en intensidades de moteado, esto es, la diferencia entre dos patrones de moteado, uno registrado antes de la deformación y el segundo registrado después de la deformación. En regiones donde la superficie no se ha movido, las motas mantienen su intensidad original; en otra parte la intensidad de la mota varía (Rodríguez-Vera R. & 2010). Esta diferencia de fase se relaciona con la diferencia de camino óptico introducido por el movimiento de la superficie. Analizar las franjas permite determinar las concentraciones de los esfuerzos antes de sobrepasar el límite elástico de los materiales.

Dependiendo de la dirección de iluminación y la dirección de observación, pueden crearse sistemas experimentales sensibles en plano y fuera de plano (Rodríguez-Vera R. & 2010). En este proyecto se utilizó una configuración experimental para medición de deformaciones en plano.

Mediante el procesamiento de las imágenes que resultan de patrones de moteado, se pueden detectar defectos superficiales o cercanos a la superficie. Estos defectos se ven como irregularidades en el patrón de franjas en comparación con el patrón de franjas obtenido con un material sin defectos. El procesamiento de las imágenes de patrones de moteado puede ser realizado a través de sustracción de imágenes. La imagen correspondiente al patrón de moteado del objeto no deformado se establece como referencia. Luego, el objeto se deforma y la imagen del patrón de moteado correspondiente se captura. La imagen de referencia se resta de la imagen del objeto deformado. El resultado de la sustracción se puede filtrar, rectificar y mostrar en un monitor donde se observan franjas de correlación (Murukeshan, 2001).

La toma de imágenes de patrones de moteado es definida por las ecuaciones 1 y 2,

$$I_{ref}(m, n) = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \cos \Psi \quad (1)$$

$$I_{def}(m, n) = I_A + I_B + 2\sqrt{I_A I_B} \cos(\Psi + \Phi) \quad (2)$$

En donde I_{ref} es la imagen con el patrón de moteado en condiciones de referencia e I_{def} es la imagen con el patrón de moteado de la pieza deformada. Los subíndices A y B denotan los dos haces, mientras que I es la intensidad. El ángulo ϕ es la fase que va a ser afectada por la deformación y es la que se busca determinar.

Restando la ecuación (1) y (2) se obtiene:

$$I_{(m,n)} = 4\sqrt{I_A I_B} \sin\left(\frac{2\Psi + \Phi}{2}\right) \sin\left(\frac{\Phi}{2}\right) \quad (3)$$

El cambio de fase óptica por unidad de desplazamiento es determinado por el número de onda k

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (4)$$

donde λ es la longitud de onda de la luz.

El factor de sensibilidad Γ determina cuantas franjas corresponden a un dado desplazamiento de la superficie:

$$\phi = k\Gamma d_n \quad (5)$$

El cambio de fase total en el plano esta dado por:

$$\phi = \frac{2\pi}{\lambda} (\Delta I_A - \Delta I_B) = \frac{4\pi}{\lambda} u \sin \theta \tag{6}$$

Donde ΔI_A ΔI_B son el cambio en la longitud del camino óptico de cada uno de los haces, u es el desplazamiento, θ es el ángulo respecto al eje de visión.

Un mínimo de la franja aparece siempre que $\phi = 2N\pi$, dondequiera que la intensidad del patrón de moteado haya regresado su valor original.

El factor de sensibilidad de la franja será

$$\Gamma = 2 \sin \theta \tag{7}$$

Tabla 1. Algoritmo de cambio de fase (Malacara, 2007)

Núm. de imágenes	Algoritmo	Cambio de fase
3	$\tan \phi = \frac{\sqrt{3}(I_2 - I_3)}{-2I_1 + I_2 + I_3}$	$\delta_i = (i - 1) \frac{2\pi}{3}$
4	$\tan \phi = \frac{I_2 - I_4}{I_3 - I_1}$	$\delta_i = (i - 1) \frac{\pi}{2}$
6	$\tan \phi = \frac{-\sqrt{3}(I_2 + I_3 - I_5 + I_6)}{2I_1 + I_2 - I_3 - 2I_4 - I_5 + I_6}$	$\delta_i = (i - 1) \frac{\pi}{3}$

El cálculo de la deformación en plano se calcula mediante el uso de la ecuación de dilatación térmica lineal,

$$l = l_0 \cdot (1 + \lambda \cdot \Delta T) \tag{8}$$

Donde:

$\lambda =$ *coeficiente de dilatación lineal*, para la placa de aluminio se utilizó un valor de $23 \cdot 10^{-6} (^\circ C^{-1})$

$l_0 =$ *longitud inicial*. La placa tiene una longitud inicial de $l_0 = 0.107 m$

$\Delta T = T - T_0 =$ *variación de temperatura*

PARTE EXPERIMENTAL

El arreglo experimental mostrado en la figura 1 consta de un láser (La) He-Ne de 1.5 mW y 633 nm de longitud de onda, un divisor de haz (Da) de placa, 50:50 no polarizado, dos espejos (E1 y E2), dos lentes (L1 y L2), una cama caliente (CC) y una cámara (Ca). La medición de temperatura de la cama caliente se realizó con un termistor con encapsulado de vidrio ubicado por la parte de atrás y al centro de la cama caliente. En la tabla 2 se muestran las marcas y modelos de los componentes utilizados.

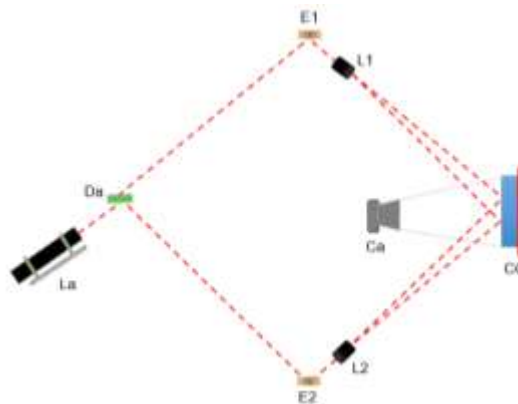


Figura 1. Diagrama del arreglo experimental ESPI

Tabla 2. Componentes utilizados en el arreglo experimental

Elementos	Modelo
Laser	Lumentum He-Ne 1101P
Divisor de haz	Thorlabs EBS1
Espejos	Thorlabs ME05-P01
Expansor de haz	Lente biconvexo
Cámara	iDS UI-1580LE-C-HQ 1/2"
Lente de cámara	Infaimon 150 p/mm (5MP), 6mm
Cama caliente	Heatbed MK2B Dual Power
Control de temperatura	Arduino uno Rev 3

Para el arreglo experimental se utilizaron monturas diseñadas y fabricadas por manufactura aditiva de plástico, por lo cual, este interferómetro se considera de bajo costo. Uno de los retos principales para el diseño de los soportes fue el diseño de la montura del láser. Esta montura debe soportar la temperatura del láser sin deformarse, por lo que el diseño consideró un espacio de ventilación y el contacto entre la montura y el láser a través de tornillos largos. Otro aspecto al considerar fue la montura del espejo, ya que esta debía tener la capacidad de ajustar el ángulo de inclinación con la finalidad de alinear el interferómetro.

En la figura 2 se muestra una fotografía del arreglo experimental colocado sobre una mesa de vidrio.

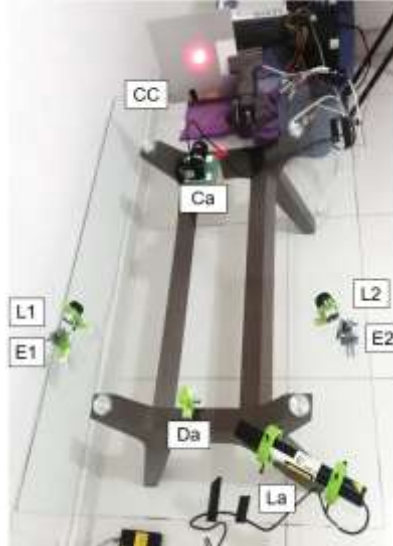


Figura 2. Arreglo experimental del interferómetro de patrón de moteado

En la figura 2, se muestra el arreglo experimental ESPI. El láser La emite una luz la cual se dirige hacia el divisor de haz (Da), permitiendo así el paso de una parte de la luz hacia el espejo (E1), mientras que la otra parte será reflejada hacia el espejo (E2). Cada haz de luz será redirigido por medio de los espejos (E1 y E2) hacia las lentes (L1 y L2) con el propósito de expandir el haz e iluminar una cama caliente (CC). La cama caliente es calentada por medio de una fuente hasta 60 °C. Una vez alcanzada esta temperatura, la placa se deja enfriar y se toman imágenes de los patrones de moteado por un lapso de 5 minutos hasta llegar a una temperatura de aproximadamente 35 °C. La cámara Ca captura imágenes cada 0.6 segundos.

La captura de imágenes es controlada por medio de un programa en Matlab el cual se explica a detalle en el diagrama de la figura 3.

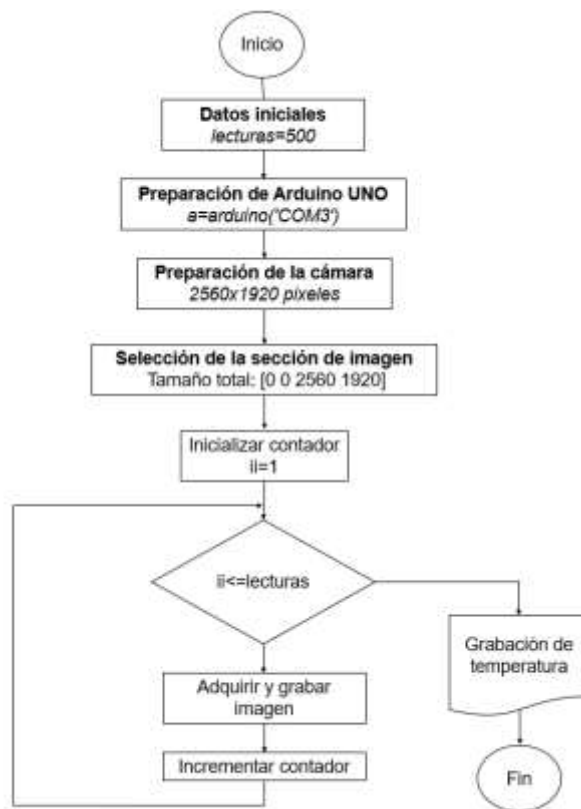


Figura 3. Diagrama de programa de captura de imágenes y temperatura

El procesamiento de las imágenes obtenidas se explica en el diagrama de la figura 4

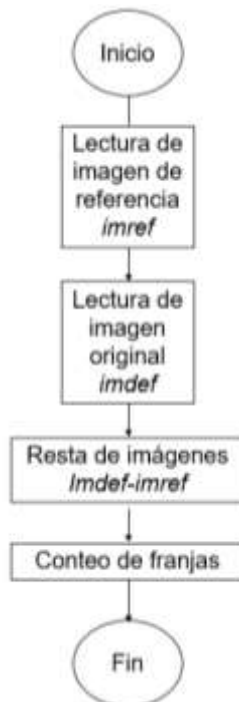


Figura 4. Diagrama de programa de procesamiento de imágenes

RESULTADOS

Utilizando la ecuación 8 para el intervalo de temperaturas de la tabla 3, se muestran los resultados del cálculo de dilatación térmica lineal obteniendo los siguientes valores:

Tabla 3. Cálculo de deformación por medio de la ecuación de dilatación térmica lineal

Longitud inicial	Lo	0.107	m
Coefficiente de dilatación lineal del aluminio	λ_{al}	0.000023	°C-1
Temperatura inicial	To	46.3	°C
Temperatura final	T	45.3	°C
Longitud final	L	0.1070	m
Diferencia de longitudes	ΔL	2.568	μm
Número de franjas	F	3	
Franjas por μm		1.168	

Las imágenes analizadas, corresponden a cambios de temperatura de aproximadamente 1 °C, observándose un corrimiento de franjas, el conteo de estas franjas fue de aproximadamente 3 para diferentes temperaturas.

Dado por cálculos geométricos del arreglo experimental:

$$\theta = 20.3^\circ$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad k = 0.0099417 \mu\text{m}^{-1} \quad k = 9.9417 \cdot 10^{-6} \text{ m}^{-1}$$

Para una franja: $\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot u \cdot \text{sen } \theta$

$$u = \frac{2\pi \cdot \lambda}{4\pi \cdot \text{sen } \theta} = 9.65 \cdot 10^{-7} \text{ m} \quad u \approx 1 \mu\text{m por franja}$$

Dando como resultado los valores de la tabla 4

Tabla 4. Cálculo de deformación utilizando el factor de sensibilidad

Angulo respecto al eje de visión	θ	20.3	°
Longitud de onda láser rojo He-Ne	λ	632.8	nm
Sensibilidad	Γ	0.912	$\mu\text{m por franja}$
Diferencia de longitudes	ΔL	2.736	μm
Número de franjas	F	3	

El interferómetro dio como resultado una sensibilidad de franja Γ de 0.912 μm por franja con la cual fue posible determinar la diferencia de longitudes dando un valor de 2.736 μm . El valor de la diferencia de longitudes obtenida por el cálculo de dilatación mostrados en la tabla 3 es de 2.568 μm . Dando así una diferencia de 0.168 μm entre cada uno de los métodos, el cual representa el 6.56% de variación.

CONCLUSIONES

Es posible detectar la deformación en el plano por medio de técnicas ópticas basadas en la interferometría de patrones de moteado.

La diferencia entre la deformación calculada por el método de dilatación térmica lineal y el cálculo de la sensibilidad de franja fue del 6.5% en el caso mostrado y menor al 10% en el peor de los casos. La medición de temperatura de la cama caliente por medio del encapsulado de vidrio; la vibración debido al ambiente no controlado en que se realizó el montaje y captura de imágenes, y la simplificación del modelo de la cama caliente a un modelo de dilatación térmica lineal se pueden considerar como las principales fuentes de error identificadas.

La vibración ambiental en un ambiente no controlado es considerable.

La cama caliente, además de la placa de aluminio, tiene pistas de cobre depositadas sobre un sustrato que no se toman en cuenta para el cálculo de deformación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hariharan, P. (2007). Basics of Interferometry. San Diego: Elsevier.
2. Malacara, D. (2007). Optical Shop Testing. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., Publication.
3. Morillo, M. M. (2014). Laser. *International Journal of Morphology*, 20.
4. M. Rezaiee-Pajand, F. S. (2012). Delamination detection in laminated composite beams using hybrid elements. *Elsevier*, 16.
5. Murukeshan, V. (2001). Use Of Matlab Filtering Techniques In Digital Speckle Pattern Interferometry. *Advanced Photonic Sensors and Applications II*, 9.
6. Rodríguez, D. A. (2016). Desarrollo y elaboración del manual de procedimientos de. Institución universitaria los libertadores, 62.
7. Rodríguez-Vera, R. &. (2010). Algunas aplicaciones industriales de la interferometría electrónica de patrones de moteado. Centro de Investigación en Óptica, 1-6

ANÁLISIS DE SEÑALES DE MUESTRAS ÓSEAS POR TÉCNICAS DE COMPONENTES PRINCIPALES Y K-MEANS

César Daniel Bravo Alvarado¹, P. A. I. Hernández-Becerra², Daniel Jiménez Mendoza³, Francisco Miguel Vargas Luna¹, Isabel Delgadillo-Holtfort¹ y María de Lourdes Sandoval Solís⁴

¹Departamento de Ingeniería Física, División de Ciencias e Ingenierías, Universidad de Guanajuato, Loma del Bosque 103, Col. Lomas del Campestre, León, Guanajuato 37150, México.

²Escuela del Nivel Medio Superior Centro Histórico León, Universidad de Guanajuato, Avenida Álvaro Obregón 308, Col. Centro, León, Guanajuato 37000, México. ³Departamento de ingeniería Electromecánica, Tecnológico Nacional de México / ITS de Purísima del Rincón, Blvd. Del Valle 2301, Col. Guardarrayas, Purísima del Rincón, Guanajuato 36413, México ⁴Facultad de Ciencias de la Computación, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Blvd. 14 Sur esq. Ave. San Claudio, Col. Jardines de San Manuel, CU, Puebla, Puebla, 72470, México.

E-mail: bravoac2016@licifug.ugto.mx

RESUMEN

La técnica de análisis por componentes principales (PCA) tiene como fin reducir dimensionalmente las variables interrelacionadas, manteniendo la mayor cantidad de variación presente en un conjunto de datos. Estas componentes principales se ordenan con respecto a la varianza de los datos. Por su parte, la técnica de *K-Means Clustering* es un algoritmo que agrupa datos similares en “n-agrupamientos”, usando una cierta métrica. En este trabajo se analizan datos obtenidos por espectroscopía de resonancia ultrasónica, densidad óptica y volumétrica de fémures *ex-vivo*, obtenidos de un conjunto de 21 ratas *Wistar* de tres edades diferentes. El objetivo de este análisis es comparar las dos técnicas de clasificación, empleando como atributos de agrupamiento resultados de su densidad óptica y volumétrica (atributos no-mecánicos), y, separadamente, la posición en frecuencia y amplitud normalizada (respuesta / estimulación) de los tres primeros picos de resonancia en la región ultrasónica (atributos mecánicos). Se comparan los resultados de las clasificaciones de ambos tipos de atributos. Se obtiene que la técnica de *K-Means Clustering*, bajo la suposición de tres agrupamientos, lleva a una mejor clasificación de los datos que mediante PCA.

INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos importantes del análisis de señales es el de clasificar grupos de acuerdo con características importantes de las respuestas (señales) obtenidas de sus muestras o individuos. Así se abre la posibilidad de que la respuesta de un individuo, no necesariamente extraído de los grupos originales, pueda ser identificado como perteneciente a alguno de ellos o que comparte las características de tal grupo. Existen dos enfoques diferentes para realizar este tipo de análisis, las estadísticas y las de *machine learning* [1].

En este trabajo se presentan análisis de datos obtenidos por espectroscopía de resonancia ultrasónica, densidad óptica y volumétrica de fémures *ex-vivo*, obtenidos de un conjunto de 21 ratas *Wistar* de tres edades diferentes, lo cual significa, en principio, tener tres calidades diferentes de muestras óseas. El objetivo de este análisis es comparar dos técnicas de clasificación, empleando como atributos de agrupamiento resultados de mediciones de sus densidades óptica y volumétrica de masa (atributos no-mecánicos), y separadamente, la posición y amplitud normalizada (respuesta / estimulación) de los tres primeros picos de resonancia en la región ultrasónica (atributos mecánicos). La razón de analizar los atributos mecánicos y no-mecánicos separadamente es que permite contrastar adicionalmente los resultados de ambas técnicas de clasificación para dos tipos diferentes de evaluación del estado de muestras óseas. A saber, se emplea una evaluación del hueso basada en la absorciometría de rayos X, como en las mediciones patrón reconocidas médicamente [2]; la otra en cambio, es una evaluación alternativa que utiliza la respuesta mecánica resonante de los huesos. Esta última evaluación está más directamente involucrada con el desempeño mecánico de la muestra. Sin embargo, y hasta nuestro mejor conocimiento, la espectroscopía de resonancia ultrasónica, aún es empleada exclusivamente para la determinación de propiedades mecánicas en muestras óseas homogéneas (ver [3] y referencias ahí mencionadas). De ahí la importancia de

emplear métodos de clasificación que permitan distinguir adecuadamente, dados estos atributos alternativos, entre diferentes calidades (edades) de hueso.

Una de las técnicas de clasificación estadísticas utilizadas es la denominada análisis por componentes principales (PCA: *principal component analysis*) [4]. Este tipo de análisis permite reducir el número de atributos, permitiendo interpretar de mejor forma el conjunto de datos con la menor pérdida de la información. Es un método de clasificación supervisada, que consiste en encontrar una transformación de coordenadas o componentes linealmente independientes a partir de los valores de los atributos originales, de tal manera que se tenga en cada componente la mayor cantidad posible de variación presente en el conjunto de datos. Las componentes de esta transformación se ordenan entonces con respecto al porcentaje de varianza total de los datos. Así, la primera componente principal es aquella que tiene el mayor porcentaje de varianza “explicada”, de la varianza total del conjunto de datos. Este ordenamiento (i) permite obtener una descripción reducida de los datos en cuanto al número de componentes necesarias de acuerdo con la varianza explicada que se quiera considerar, o bien, (ii) indica hasta qué grado de aproximación, en términos de varianza explicada, es la dimensionalidad de la representación en cuestión.

En términos de clasificación, la técnica de PCA consiste pues en realizar una transformación a un espacio de coordenadas adecuado que permita resaltar la diferencia entre las respuestas provenientes de los atributos considerados, de los diferentes grupos.

La técnica de *K-Means Clustering*, que es la segunda de las técnicas de clasificación empleadas, es considerada una técnica no supervisada de *machine learning* [5]. En contraste con el PCA agrupa datos similares en “n-agrupamientos”, usando para ello una cierta métrica o función distancia (euclidiana, infinito, máxima, Minkowsky, etc.).

En la siguiente sección se da una breve descripción de las muestras y métodos de medición utilizados para la obtención del conjunto de datos que conforman los valores de los atributos considerados. Posteriormente se explican detalles específicos acerca de los métodos de clasificación empleados, seguidos por la presentación y discusión de los resultados correspondientes a los dos diferentes análisis de señales. Por último, se exponen las conclusiones y comentarios finales del trabajo.

EXPERIMENTOS

MUESTRAS

Las muestras óseas consideradas en este trabajo son un conjunto de 21 fémures completos *ex-vivo* obtenidos de ratas *Wistar* de tres edades diferentes: 89 días, que corresponde a una edad joven (ratas jóvenes), de 173 días, que son ratas adultas (ratas maduras), y 726 días, correspondiente a ratas ancianas (ratas viejas) [6].

MEDICIONES

Espectroscopía de resonancia ultrasónica

El sistema experimental para la obtención de los espectros de resonancia mecánica consiste en un arreglo de espectroscopía de resonancia ultrasónica (*RUS: resonant ultrasound spectroscopy*) de contacto en modalidad temporal, similar a los reportados en [7]-[9]. Para estas mediciones en particular se emplearon transductores piezoeléctricos V150-RB. La estimulación fue realizada con pulsos cuadrados de 10 Vpp y ancho 6.7 μ s a una frecuencia de repetición de 150 Hz mediante un generador de funciones Tektronix AFG3021. La captura de datos se llevó a cabo mediante un osciloscopio digital Tektronix TDS5104 B, a una razón de muestreo de 5 MS/s, resolución de 200 ns/pt y adquisición promediada en 500 repeticiones para reducir el nivel de ruido. Los espectros en frecuencia son obtenidos mediante transformada rápida de Fourier (*FFT: fast Fourier transform*). Cinco espectros en frecuencia son obtenidos para cada muestra luego de montar y desmontar nuevamente para reducir la influencia del posicionamiento en el montaje. La respuesta espectral final considerada es el promedio de estas cinco mediciones independientes, obteniéndose 3 picos identificables en el dominio de frecuencia.

La posición en frecuencia y amplitud normalizada (razón de la amplitud de estimulación con respecto a la amplitud de la respuesta a esa frecuencia en particular $A_{\text{salida}}/A_{\text{entrada}}$) de estos picos ultrasónicos

constituyen los atributos mecánicos de cada una de las muestras considerados para el análisis en este trabajo.

Densidad volumétrica

La densidad volumétrica de masa (DV) de las muestras fue determinada empleando el procedimiento de inmersión y el principio de Arquímedes [10]. Para la medición de los volúmenes se utilizó un cilindro graduado con capacidad de 10.0 ± 0.1 mL. La medición de las masas se realizó empleando una balanza analítica (RADWAG AS 310.3Y).

Densidad óptica

Las densidades ópticas (DO) de cada muestra se obtuvieron de acuerdo con el protocolo descrito en [11] a partir de imágenes radiográficas de rayos-X en donde se empleó un sensor CMOS, Hamamatsu S10835 y una fuente de rayos-X tipo dental Satelec X-mind R con energía de salida de 70 KV, longitud de onda de 0.177×10^{-10} m, y 8 mA de corriente, con un tubo de rayos-x Toshiba DG-073B-DC-Japan, usando un tiempo de exposición de 0.158 s con una distancia de separación de la muestra y la base del tubo de rayos X de 16.5cm.

La DO es obtenida a partir de una región de interés (ROI) como $DO = (\sum_i N_i) / \text{Área ROI}$, en donde i es el valor de los pixeles de 0 a 255 para una imagen en escala de grises y N es la cantidad de pixeles con determinado nivel de gris.

Ambos tipos de densidades constituyen los atributos no-mecánicos de cada una de las muestras considerados para el análisis en este trabajo.

ANÁLISIS DE DATOS

La descripción general de los grupos de fémures de ratas, número de muestras por grupo y atributos considerados para su análisis para cada muestra se resumen en la Tabla I.

Grupos	Número de muestras	Atributos no-mecánicos		Atributos mecánicos	
Jóvenes	7	Densidad óptica (DO)	Densidad volumétrica (DV)	Amplitud normalizada 1	Frecuencia 1
Maduras	7			Amplitud normalizada 2	Frecuencia 2
Viejas	7			Amplitud normalizada 3	Frecuencia 3

Tabla I. Descripción general de los grupos y atributos analizados de los 21 fémures completos *ex-vivo* obtenidos de ratas *Wistar* de tres edades diferentes. El grupo etiquetado como “jóvenes” corresponde a fémures de ratas de 89 días, en tanto que los grupos “maduras” y “viejas” corresponden a ratas de 173 y 726 días respectivamente.

Los atributos mecánicos son la amplitud y frecuencia de los tres primeros picos ultrasónicos medidos.

Detalles básicos acerca de los métodos de clasificación se describen a continuación.

TÉCNICAS

Componentes principales

La técnica de análisis de componentes principales es una técnica estadística cuyo objetivo es simplificar la complejidad de la descripción de un fenómeno, sin perder las características esenciales de este, mediante la jerarquización y posibilidad de reducción del número de variables (componentes principales), de un conjunto de n individuos con m atributos.

Considérese un conjunto de datos para n individuos con m atributos y llámese d_{ij} al dato del individuo i para el atributo j . Es decir, este conjunto de datos puede ser representado por la matriz D de dimensión $n \times m$. Para no tener conflicto con unidades, se realiza la llamada “puntuación estadística” z para cada atributo, de tal manera que se obtiene la matriz Z de dimensión $n \times m$,

donde cada elemento se calcula con la siguiente ecuación usando la media y desviación estándar del atributo j :

$$z_{ij} = \frac{d_{ij} - \text{media}_j}{\text{desviación estándar}_j} \quad (1)$$

En esta ecuación

$$\text{media}_j = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n d_{kj}, \quad (2)$$

y

$$\text{desviación estándar}_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (d_{kj} - \text{media}_j)^2} \quad (3)$$

Este conjunto de puntuaciones Z tendrá una media cero. A este proceso se le conoce como estandarizar los datos, porque sus valores estarán dados en el intervalo $[-4,4]$ para todos los atributos sin importar las magnitudes de estos.

Para reducir el número de variables y explicar el fenómeno a estudiar, considere que los atributos se pueden representar como X_j , con $j = 1, 2, \dots, m$. Las nuevas variables o componentes principales las podemos denotar por Y_j , con $j = 1, 2, \dots, m$. Estas representan la máxima variabilidad, y son ortogonales entre sí. Lo que se desea es encontrar la transformación lineal entre las dos, es decir:

$$Y_k = a_{k1}X_1 + a_{k2}X_2 + a_{k3}X_3 + \dots + a_{km}X_m, \quad (4)$$

para $k = 1, 2, \dots, m$.

En forma matricial se tendrán que determinar los coeficientes a_i con $i = 1, 2, \dots, m$ para cada componente principal de Y , de tal manera que se conserve la máxima varianza y además sean ortogonales entre sí.

Por otra parte, la matriz de covarianzas entre los atributos está dada por

$$\text{cov}(X_i, X_j) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (d_{ki} - \text{media}_i)(d_{kj} - \text{media}_j)}{(n-1)^2}}, \quad (5)$$

la cual contiene la información de las relaciones entre los atributos X .

Deseamos que los nuevos componentes Y sean ortogonales y de máxima varianza. Se puede demostrar que esto es equivalente a resolver el problema de valores propios [4]:

$$\text{cov}(X_i, X_j) A = \lambda A, \quad (6)$$

donde A son los vectores propios y λ los valores propios. Los vectores propios son los que se conocen como componentes principales y sus valores propios asociados corresponden a las varianzas (varianzas explicadas). Como la matriz de covarianzas es simétrica se puede asegurar que sus valores propios son reales y se pueden ordenar $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$. Así el valor propio λ_1 , es decir, el de la mayor varianza corresponde a la componente principal A_1 , y así sucesivamente λ_2 corresponde a A_2 , etc.

Luego las componentes principales son:

$$\begin{aligned}
 A_1 &= [a_{11}, a_{12}, a_{13}, \dots, a_{1p}] \\
 A_2 &= [a_{21}, a_{22}, a_{23}, \dots, a_{2p}] \\
 A_3 &= [a_{31}, a_{32}, a_{33}, \dots, a_{3p}] \\
 &\vdots \\
 &\vdots \\
 A_p &= [a_{p1}, a_{p2}, a_{p3}, \dots, a_{pp}]
 \end{aligned} \tag{7}$$

Para cada individuo se tiene que el valor transformado en la componente principal j es:

$$Y_1 = D A_1 \tag{8}$$

Así la primera componente principal para cada individuo es:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11}d_{11} + a_{12}d_{12} + a_{13}d_{13} + \dots + a_{1m}d_{1m} \\ a_{11}d_{21} + a_{12}d_{22} + a_{13}d_{23} + \dots + a_{1m}d_{2m} \\ a_{11}d_{31} + a_{12}d_{32} + a_{13}d_{33} + \dots + a_{1m}d_{3m} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{11}d_{n1} + a_{12}d_{n2} + a_{13}d_{n3} + \dots + a_{1m}d_{nm} \end{bmatrix} \tag{9}$$

Similarmente para la segunda componente principal, cada individuo tiene un nuevo valor. La contribución de cada varianza está dada por los valores propios, así el porcentaje de contribución de cada varianza es

$$\% \lambda_j = \frac{\lambda_j \times 100}{\sum_{k=1}^p \lambda_k} \tag{10}$$

Si se considera la varianza acumulada de las dos primeras componentes principales % Acum, gráficamente se puede representar al fenómeno en estudio graficando los nuevos valores de los datos de la primera componente principal vs. los nuevos valores de la segunda componente principal, y % Acum corresponderá al porcentaje de varianza explicada debida a estas dos componentes.

En algunos casos esta gráfica nos representa una clasificación de los datos originales.

K-means

La técnica de *Machine Learning* no supervisada de agrupamiento conocida como *k-means clustering*, en la implementación WEKA (*Waikato Environment for Knowledge Analysis*) desarrollado por la University of Waikato, New Zealand, es software libre bajo la licencia GNU (General Public License), basado en el libro "*Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques*".[1].

El algoritmo consiste en suponer que el conjunto de datos se puede particionar en k agrupamientos, los cuales cuentan con un centroide que representa a cada agrupamiento y además son disjuntos, es decir, su intersección entre cualesquiera dos agrupamientos es el vacío y la unión de todos los agrupamientos resulta el total de datos; esto garantiza que cada dato está asociado a un centroide. Aquí no se requiere estandarizar los datos, ni saber de antemano a que agrupamiento pertenece cada dato.

El algoritmo es muy sencillo y consiste en los siguientes pasos:

Paso1. El usuario supone un número k de agrupamientos.

Paso2. Elección de k centroides. Existen varias formas de hacerlo, pueden ser generados aleatoriamente, o el usuario elegir k datos a partir de información que conozca.

Paso3. Medir la similaridad entre los centroides y cada uno de los datos.

Paso4. Asignar cada dato al centroide que tenga la mayor similaridad.

Paso5. Calcular la media de los datos asignados a cada centroide y esta media será el nuevo centroide del agrupamiento.

Paso 6. Repetir n veces los Pasos 3-5.

De esta forma se determina los datos pertenecientes a cada agrupamiento. El método converge al agrupamiento correcto si el usuario eligió adecuadamente el número de grupos de clasificación.

Existen varias formas de medir la similaridad entre dos datos, las más comunes son las funciones de distancia o métricas, como son la distancia euclídeana, distancia infinito, máxima distancia, Minkowsky, etc. [5]. En este trabajo se empleó la métrica euclídiana.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Componentes principales

En las Tablas II y III se muestran los coeficientes de las componentes principales a_i ($i = 1, 2, \dots, m$) obtenidas en el análisis, junto con las varianzas explicadas (valores propios) de cada componente principal (PC_i , $i = 1, 2, \dots, m$) para los atributos no-mecánicos y mecánicos respectivamente. En cada caso se indica la varianza de cada una de ellas y la varianza acumulada. Estos datos se obtuvieron empleando el módulo sklearn de Python [12].

<i>Componente principal</i>	<i>PC1</i>	<i>PC2</i>
a_1	0.70711	0.70711
a_2	0.70711	-0.70711
<i>Varianza</i>	1.1619	0.83812
<i>Porcentaje de varianza</i>	58.094	41.906
<i>Varianza acumulada [%]</i>	58.094	100

Tabla II. Componentes principales PC1 y PC2, coeficientes a_i ($i = 1, 2$) y varianzas obtenidas de los dos atributos no-mecánicos indicados en la Tabla I para los tres grupos de fémures.

Componente Principal	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
a_1	5.7636×10^{-1}	-2.5678×10^{-1}	-2.8409×10^{-1}	1.1918×10^{-1}	4.7877×10^{-1}	-5.2702×10^{-1}
a_2	-2.5678×10^{-1}	-2.8169×10^{-1}	-4.2055×10^{-1}	6.1812×10^{-1}	3.4475×10^{-1}	-4.2062×10^{-1}
a_3	-2.8409×10^{-1}	5.7445×10^{-1}	5.5097×10^{-1}	2.2661×10^{-1}	4.8298×10^{-1}	3.328×10^{-2}
a_4	1.1918×10^{-1}	-3.0764×10^{-1}	1.2546×10^{-1}	4.6744×10^{-1}	1.287×10^{-1}	8.0022×10^{-1}
a_5	4.7877×10^{-1}	2.4151×10^{-1}	2.0810×10^{-1}	5.6897×10^{-1}	-5.2780×10^{-1}	-2.5856×10^{-1}
a_6	-5.2701×10^{-1}	-4.9839×10^{-1}	5.5398×10^{-1}	3.229×10^{-2}	-3.7524×10^{-1}	-1.5848×10^{-1}
Varianza	2.0495	1.6319	1.0691e	7.8303×10^{-1}	3.1682×10^{-1}	1.4962×10^{-1}
Porcentaje de Varianza	34.158	27.199	17.819	13.051	5.280	2.493
Varianza Acumulada [%]	34.158	61.357	79.176	92.227	97.507	100

Tabla III. Componentes principales PC_i , coeficientes a_i , ($i = 1, 2, \dots, 6$) y varianzas obtenidas de los atributos mecánicos indicados en la Tabla I para los tres grupos de fémures.

Como puede observarse de las contribuciones a los porcentajes de la varianza de cada componente para el caso no-mecánico indicadas en la Tabla II, ambas componentes principales explican la varianza del sistema en proporciones muy similares. Esto se ve reflejado en el diagrama PC2 vs. PC1 mostrada en la figura 1a. En ella, en donde la varianza explicada es del 100 %, se puede observar que la diferenciación en edades no es clara entre los tres grupos considerados. Sin embargo, sí es posible identificar dos regiones (separadas visualmente por la línea punteada auxiliar en la figura) entre los puntos correspondientes a los individuos de los grupos Viejas y Maduras. Esto es consistente con el enfoque de las mediciones patrón reconocidas médicamente. La única excepción en esta separación es la existencia de 1 falso positivo en la región del grupo Viejas, correspondiente a un error en la identificación del 12.5 %. En contraste se observa que los puntos del grupo Jóvenes traslapan ambas regiones. Esto último puede interpretarse como debido a que, durante el desarrollo corporal de las ratas jóvenes, existen características óseas compartidas (en términos de los atributos considerados) con las de los otros dos grupos.

En la figura 1b se muestra el diagrama PC2 vs. PC1 obtenido del análisis PCA a los atributos mecánicos. Como se indica tanto en la Tabla III como en la figura, la varianza acumulada con estas dos componentes es de 61.36%. Pese a ello, la separación entre los grupos Viejas y Maduras (separadas visualmente por la línea punteada auxiliar en la figura) es mejor para este conjunto de muestras que para el análisis PCA de los atributos no mecánicos. Sin embargo, al igual que en el caso de atributos no-mecánicos, los puntos del grupo Jóvenes, traslapan las regiones correspondientes a los datos de los grupos Viejas y Maduras.

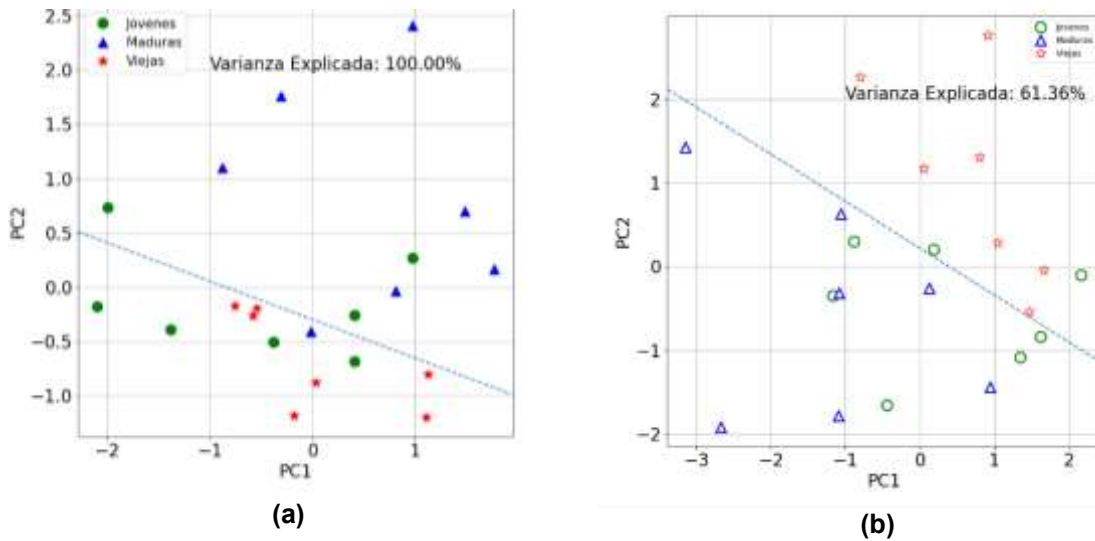


Figura 1. Diagramas de componentes principales en términos de las dos primeras componentes PC1 y PC2 para las 21 muestras de los grupos Jóvenes (círculos verdes), Maduras (triángulos azules) y Viejas (estrellas rojas) descritos en la Tabla I. El panel (a) corresponde al análisis de los atributos no-mecánicos (símbolos abiertos), en tanto que el (b) es para los atributos mecánicos (símbolos cerrados). Las líneas rectas punteadas auxiliares separan visualmente los grupos Maduras y Viejas.

De estos resultados se puede concluir que, de acuerdo con el análisis de los datos mediante la técnica por componentes principales, ambos enfoques de evaluación ósea, el medicamento aceptado y el alternativo, muestran comportamientos similares en cuanto a la clasificación de los grupos. En el marco de ambos enfoques, la separación entre grupos Viejas y Maduras es adecuada, en tanto que el grupo Jóvenes no puede ser identificado.

K-means

Dado que el análisis por PCA para el caso de los atributos no-mecánicos sólo toma en consideración dos atributos (DO y DV), el diagrama mostrado en la figura 1a es básicamente la representación rotada del gráfico original de estos dos atributos en su versión de puntuación estadística z. De aquí es evidente que la identificación de grupos (*clusters*) en el espacio DO-DV, en términos de edades mediante la técnica de k-means, no es posible. Por ello se prefirió analizar por separado los atributos densidad óptica y densidad volumétrica, suponiendo la existencia de 3 agrupamientos. Los resultados de este análisis se muestran en la figura 2.

Como se observa en la figura 2, es posible identificar agrupamientos, pero salvo en el caso del *Cluster 2*, en el que todos los puntos (sólo 2 en cada caso) corresponden al grupo Maduras, en los otros *clusters* se tienen mediciones de los tres grupos. Esto indica que la técnica de *k-means clustering*, aplicada a los atributos no-mecánicos, no discrimina entre los grupos Jóvenes, Maduras y Viejas.

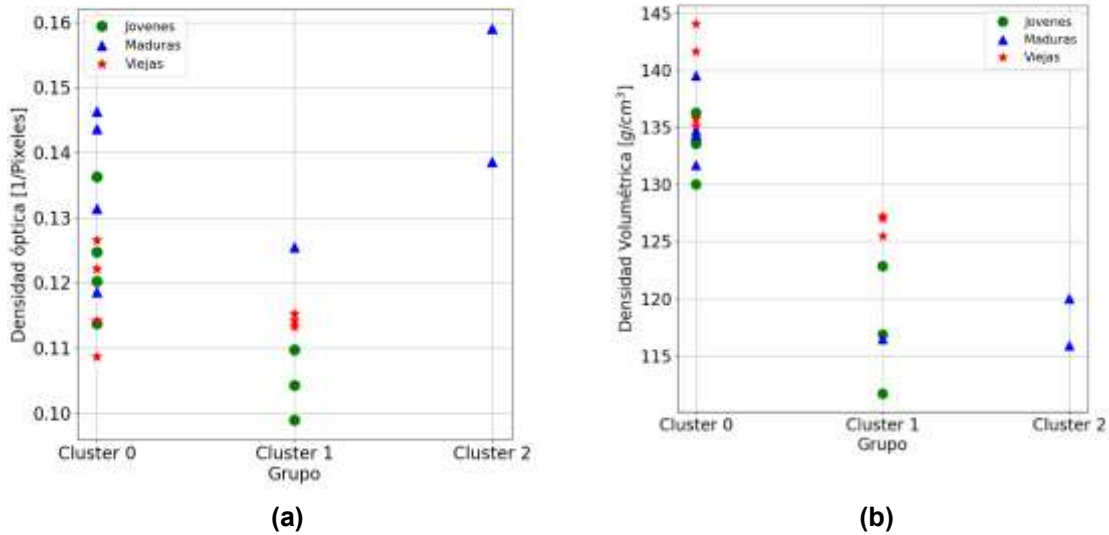


Figura 2. Diagramas de agrupamiento bajo la suposición de que se tienen tres grupos de datos, de acuerdo con la técnica *k-means clustering* para el análisis de la densidad óptica (a) y de la densidad volumétrica de masa (b). Las muestras de los grupos Jóvenes, Maduras y Viejas descritos en la Tabla I se representan mediante círculos verdes, triángulos azules y estrellas rojas respectivamente.

En la figura 3a se muestra el conjunto total de los atributos mecánicos, graficados en la forma frecuencia vs. amplitud normalizada ($A_{\text{salida}} / A_{\text{entrada}}$). Aquí, los colores de los símbolos representan la pertenencia del dato a cada pico ultrasónico considerado, en tanto que la forma del símbolo indica la pertenencia del dato al correspondiente grupo de edades. La figura 3b muestra el mismo conjunto de datos que en la figura 3a, pero clasificado mediante la técnica *k-means* bajo el supuesto no supervisado de la existencia de tres posibles grupos. En 3b, cada color y forma indica la pertenencia a cada uno de los *clusters* encontrados (ver figura).

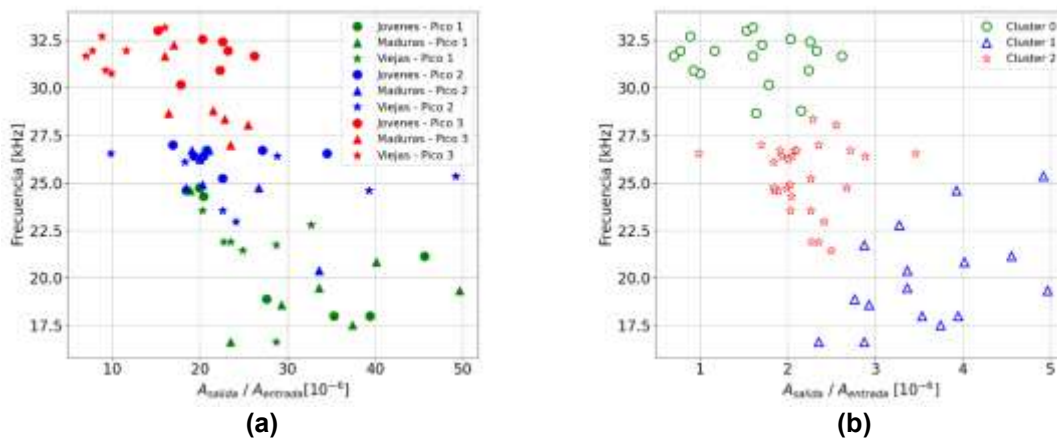


Figura 3. (a) Gráfico de los puntos atributos mecánicos de las 21 muestras de los grupos Jóvenes (círculos), Maduras (triángulos) y Viejas (estrellas) descritos en la Tabla I. Los colores verde, azul y rojo indican aquí la pertenencia de los puntos frecuencia vs. amplitud normalizada ($A_{\text{salida}} / A_{\text{entrada}}$) al primero, segundo y tercer pico ultrasónico obtenido para cada muestra. (b) Gráfico de los atributos mecánicos de las 21 muestras, analizadas mediante *k-means* bajo la suposición de que se tienen tres grupos de datos. Los grupos identificados se presentan con símbolos abiertos. Cada color y forma indica la pertenencia a cada *cluster*.

Los resultados mostrados en la figura 3 evidencian que el clasificador *k-means* está identificando básicamente el pico al cual corresponden los datos. No obstante, esta clasificación coincide únicamente de manera parcial con los grupos de edades, ya que los puntos identificados como *cluster 1* (triángulos abiertos azules) y *cluster 2* (estrellas abiertas rojas), involucran puntos que pertenecen al siguiente y/o anterior pico. Este comportamiento está también presente, pero de una menor manera, en el *cluster 0* (círculos verdes). Por ese motivo se eligen los datos del pico 3 y se realiza un nuevo análisis de *k-means* a estos datos, nuevamente bajo la suposición de la existencia de tres grupos diferentes dentro del conjunto.

Los datos frecuencia vs. amplitud normalizada del tercer pico ultrasónico se muestran en la figura 4a. Al igual que en la figura 3a, se identifica con símbolos diferentes la pertenencia a los grupos de edades. En la figura 4b se muestra el conjunto de datos de 4a, pero clasificado por *k-means* para 3 grupos.

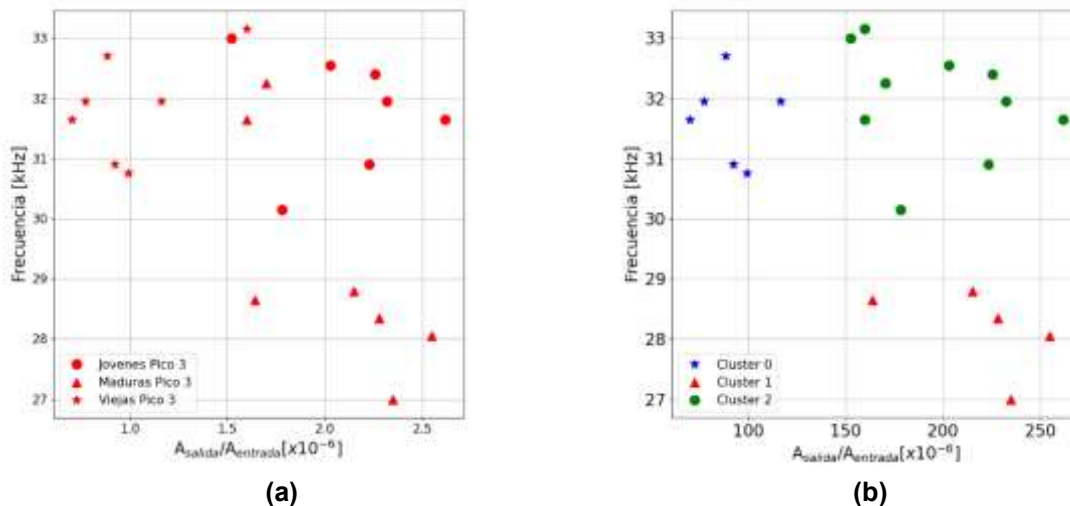


Figura 4. (a) Gráfico de los puntos de los atributos mecánicos asociados al tercer pico ultrasónico de las 21 muestras de los grupos Jóvenes (círculos), Maduras (triángulos) y Viejas (estrellas). (b) Gráfico de los mismos datos del panel (a), analizados mediante *k-means* bajo la suposición de que se tienen tres grupos. Los grupos identificados se presentan con símbolos y colores diferentes para cada *cluster*.

Comparación entre las figuras 4a y 4b revela que los agrupamientos identificados por *k-means* coinciden *grosso modo* con los grupos Jóvenes (círculos), Maduras (triángulos) y Viejas (estrellas). En este análisis se tiene un error de clasificación de 3 falsos positivos dentro del *cluster 1*, de 10 puntos, e interpretado como correspondiente al grupo de los Jóvenes. Esto significa en particular para cada grupo que existe un error de clasificación del 10 % de Viejas, y del 20 % de Maduras, que son identificadas como pertenecientes al grupo de las Jóvenes.

COMENTARIOS FINALES Y CONCLUSIONES

En este trabajo se analizaron datos experimentales obtenidos de tres conjuntos de fémures *ex-vivo* de ratas *Wistar*. Cada uno de los conjuntos constaba de 7 fémures. La característica común de cada conjunto de muestras era la edad de las ratas, denominadas como viejas (726 días), maduras (173 días) y jóvenes (89 días).

Los datos experimentales utilizados se consideraron como característicos de dos enfoques diferentes de evaluación ósea. Por una parte, se tomaron como atributos de cada muestra la densidad óptica y la densidad volumétrica de masa (atributos no-mecánicos), y por otra parte la posición y amplitud de los tres primeros picos de resonancia mecánica de los fémures en la región ultrasónica (atributos mecánicos). Tanto los atributos mecánicos como los no-mecánicos se analizaron de manera separada empleando la técnica PCA y la de *k-means*.

Se encuentra que las mediciones empleando el enfoque médicamente aceptado (atributos no-mecánicos) y el alternativo (atributos mecánicos) muestran similitudes en comportamiento en cuanto a la separación de grupos cuando se realiza la clasificación con la técnica de análisis por componentes principales. Los resultados muestran un contraste adecuado entre los grupos Maduras y Viejas, si bien existe un error del 12.5% de identificación entre estos dos grupos, en el caso de los atributos no-mecánicos. En ambos casos el clasificador por PCA no permite distinguir con claridad al grupo muestras provenientes de ratas jóvenes. Estos resultados permiten concluir que el enfoque de evaluación ósea alternativo es, en términos del análisis PCA por lo menos tan bueno como el enfoque tradicional.

Un resultado interesante es que la técnica de *k-means clustering*, aplicada a los atributos no-mecánicos, no discrimina entre los grupos clasificados de acuerdo con las edades de las ratas. En contraste, este clasificador sí permite una identificación de las muestras de los tres grupos de edades en el caso de los atributos mecánicos correspondientes a un solo pico de resonancia (en este caso el tercer pico ultrasónico). La identificación de los tres grupos asigna erróneamente el 10 % de Viejas, y el 20 % de Maduras, al grupo de las Jóvenes.

Se puede finalmente concluir que la técnica de *k-means clustering*, bajo la suposición de tres agrupamientos, lleva a una mejor clasificación de los atributos mecánicos que mediante el análisis por componentes principales. Por último, es importante destacar la relevancia de las mediciones de resonancia mecánicas como una nueva propuesta no-destructiva y mínimamente invasiva para la evaluación ósea. Los resultados de este trabajo indican que las perspectivas de aplicación de este tipo de mediciones aumentan con el uso de métodos adecuados de clasificación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ian H. Witten, and Frank Eibe. "Data mining: practical machine learning tools and techniques with Java implementations." *Acm Sigmod Record* 31, no. 1 (2002): 76-77.
2. Thomas M. Link, "Osteoporosis imaging: state of the art and advanced imaging." *Radiology* 263, no. 1 (2012): 3-17
3. Luke B. Beardslee, Marcel C. Remillieux, and T. J. Ulrich. "Determining material properties of components with complex shapes using Resonant Ultrasound Spectroscopy." *Applied Acoustics* 178 (2021): 108014.
4. I.T. Jolliffe, "*Principal Component Analysis (2nd edition)*", Chapter 1, Springer, (2002): 1-6.
5. ISBN: 0-387-95442-2
6. Junjie Wu, "*Advances in K-means Clustering. A data Mining Thinking*", Springer Science & Business Media, (2012): 7-11.
7. Pavlos P. Lelovas, Theodoros T. Xanthos, Sofia E. Thoma, George P. Lyritis, and Ismene A. Dontas. "The laboratory rat as an animal model for osteoporosis research." *Comparative medicine* 58, no. 5 (2008): 424-430.
8. Paulina Alicia Irais, Hernández-Becerra, Isabel Delgadillo-Holtfort, Diana Guadalupe Ramírez-Infante, Marco Balleza-Ordaz, María Raquel Huerta-Franco, and Miguel Vargas-Luna. "Explorative geometrical RUS study of bone phantoms considering load variations." In *AIP Conference Proceedings*, vol. 1747, no. 1, p. 110002. AIP Publishing LLC, (2016).
9. Paulina Alicia Irais Hernández-Becerra, Miguel Vargas-Luna, María Raquel Huerta-Franco, Isabel Delgadillo-Holtfort, Gabriel Herrera-Pérez, Rafael Vargas-Bernal, Xóchitl Sofía Ramírez-Gómez, Esmeralda Rodríguez-Miranda. "Explorative study of rats femorale bone with experimentally induced diabetes by resonant ultrasound spectroscopy." In *21st International Bone Densitometry Workshop and 7th European Symposium on Ultrasonic characterization of Bone, 26-30 June 2017, Kloster Banz, Germany* p. 83. (2017).
10. Paulina Alicia Irais Hernández-Becerra, Marco Balleza-Ordaz, Miguel Vargas-Luna, and Isabel Delgadillo-Holtfort. "Comparison of Time-Domain and Frequency-Domain Contact Resonant Ultrasound Spectroscopy." *Instruments and Experimental Techniques* 62, no. 2 (2019): 241-246.
11. Radi, Hafez A., and John O. Rasmussen. "Principles of Physics." *Springer, Berlin Heidelberg, New Delhi*, DOI 10 (2013): 323-4.

12. Daniel Jiménez-Mendoza, Diego G. Espinosa-Arbeláez, Astrid L. Giraldo-Betancur, Margarita I. Hernández-Urbiola, Damián Vargas-Vázquez, and Mario E. Rodríguez-García. "Single x-ray transmission system for bone mineral density determination." *Review of Scientific Instruments* 82, no. 12 (2011): 125105.
13. Scikit-learn: Machine Learning in Python, Pedregosa et al., *JMLR* 12, (2011): 2825-2830.

CONVERSIÓN DE COQUE DE PETRÓLEO EN COMPUESTOS ANÁLOGOS A LAS SUSTANCIAS HÚMICAS MEDIANTE OXIDACIÓN HÚMEDA

Zayra Yannet Méndez Martínez ¹, Jaime Ignacio Cervantes Arista ², Víctor Alejandro Suárez Toriello¹, Juan José Quiroz Ramírez ¹ y Ricardo Jaime Guerra Sánchez ¹

¹CIATEC, A.C., Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, Omega 201, Industrial Delta, 37545 León, GTO, México, ²Instituto Mexicano del Petróleo, Eje Lázaro Cárdenas 152, San Bartolo Atepehuacan, 07730 G.A.M., CDMX, México

zmendez.picyt@ciatec.mx

RESUMEN

El coque de petróleo es un residuo sólido obtenido en la refinación del petróleo. Debido a su alto poder calorífico y bajo costo se emplea principalmente como combustible en la industria cementera y de fundición, lo que genera emisiones significativas de gases de efecto invernadero. Recientemente, se ha propuesto una técnica de oxidación en medio acuoso para el aprovechamiento de coque de petróleo, de la cual se obtienen compuestos orgánicos oxigenados análogos a las sustancias húmicas; con emisiones mínimas de CO₂. Las sustancias húmicas poseen funcionalidades químicas, principalmente de grupos fenólicos y carboxílicos, que les confieren características útiles para su aplicación agroindustrial. En este trabajo se evalúa la obtención de compuestos análogos de las sustancias húmicas obtenidas por el proceso de oxi-craqueo de coque de petróleo. Las reacciones se realizaron en un reactor por lotes considerando 200, 215 y 230°C, 750 psi, gas O₂ como oxidante y agua como solvente. Los productos obtenidos de este proceso se caracterizaron mediante distintas técnicas analíticas y espectroscópicas. Se obtuvieron distintas fracciones de compuestos húmicos (huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos), las cuales mostraron funcionalización de grupos oxigenados mostrándose independientes a la temperatura de reacción.

INTRODUCCIÓN

El coque de petróleo es un residuo sólido obtenido en el craqueo térmico de las fracciones del crudo pesado en la refinación del petróleo. El coque de petróleo está constituido principalmente de carbono (~85%), además contiene hidrógeno, nitrógeno, oxígeno, azufre y algunos metales como níquel y vanadio [1]. Debido a su alto poder calorífico (32.7 MJ/t) y su bajo costo (64 USD/ Ton) se emplea como combustible en la industria cementera y de fundición, generándose gases de combustión como dióxido de carbono que contribuye al efecto invernadero, óxidos de azufre y óxidos de nitrógeno precursores de lluvia ácida y ozono troposférico [2] [3]. Es posible aprovechar el coque de petróleo mediante una técnica de oxidación en medio acuoso, conocida como oxicraqueo. A partir del oxicraqueo se pueden producir compuestos orgánicos solubles, análogos a las sustancias húmicas [4]. Las sustancias húmicas son macromoléculas orgánicas de alto peso molecular con fracciones tanto alifáticas como aromáticas. Se dividen en tres fracciones de acuerdo a su solubilidad en agua: ácidos húmicos (AH) solubles a pH >2, ácidos fúlvicos (AF) solubles en todo el rango de pH y las huminas insolubles en cualquier rango de pH [5]. Las sustancias húmicas presentan un alto contenido de oxígeno y contienen grupos funcionales fenólicos, carboxílicos, quinonas e hidroxilos que los hacen químicamente reactivos. Sus diversos grupos funcionales proporcionan la capacidad de retener nutrientes y agua en el suelo, por lo que actúan como bioestimulantes para mejorar el desarrollo de las plantas [6]. Además, tienen la capacidad de formar complejos con metales y adsorber contaminantes orgánicos por lo que son útiles para eliminar contaminantes del agua como metales pesados (hierro, mercurio, cadmio y cobre). En el presente trabajo se realiza el proceso de oxidación húmeda (oxicraqueo) de coque de petróleo para la obtención de compuestos oxigenados de menor peso molecular: análogos a las sustancias húmicas, con el fin de evaluar el efecto de la temperatura y tiempo sobre la cinética química.

TEORÍA

La técnica de oxicraqueo implica la combinación de reacciones de oxidación y craqueo en un medio acuoso alcalino a temperaturas (170-230°C) y presiones (500-750 psi) relativamente suaves, donde

se convierten hidrocarburos pesados en compuestos orgánicos oxigenados solubles, está basado en estudios de oxidación y ozonólisis de asfaltenos. Los productos intermedios, es decir, hidrocarburos parcialmente oxidados se vuelven solubles en agua debido a la funcionalización polar de los bordes aromáticos y los carbonos parafínicos a través de la incorporación de oxígeno [4]. Los hidrocarburos pesados presentan estructuras químicas complejas, por lo que su procesamiento en el oxicraqueo deriva en una variedad de productos con diferentes grupos funcionales. Además, para comprender el mecanismo de reacción se requiere entender la estructura química del hidrocarburo. Para un mejor entendimiento se ha estudiado el mecanismo de reacción de la quinolina-65 (Q-65), una molécula modelo que se asemeja a la estructura de asfaltenos, que posee un núcleo aromático en su estructura, cadenas alquílicas y heteroátomos de nitrógeno, oxígeno y azufre comunes en el coque de petróleo. El mecanismo de reacción parte del modelo cinético de oxidación húmeda de compuestos orgánicos. Este mecanismo establece que no todos los compuestos orgánicos presentes en el medio acuoso sufren una oxidación total (oxidación directamente a CO_2 y H_2O), sino que además pueden sufrir una oxidación parcial (productos intermedios capaces de ser oxidados totalmente) [7]. De acuerdo con Manasrah et al. [8] la reacción de oxicraqueo da inicio con el radical hidroxilo ($\bullet\text{OH}$) y el anión hidróxido (OH^-), generando varios grupos funcionales ácidos y que posteriormente pueden ser oxidados hasta CO_2 . Inicialmente, la cadena alquílica se rompe y enseguida hay una disociación de los enlaces de carbono y los átomos de azufre. Posteriormente, la molécula se rompe por completo para producir los compuestos orgánicos oxigenados que pueden considerarse químicamente análogos de las sustancias húmicas. Después de la generación de radicales libres ($\bullet\text{OH}$), los compuestos orgánicos son degradados en productos intermedios, ya sea añadiendo doble enlaces de carbono, así como en compuestos aromáticos. La formación de radicales libres es continua para formar hidroperóxido orgánico (ROOH). Consecutivamente, los compuestos formados son degradados produciendo radicales peroxi ($\text{ROO}\bullet$), que reaccionan con el material inicial generando más hidroperóxidos orgánicos (ROOH) que pueden oxidarse hasta CO_2 . Por lo tanto, la reacción de oxicraqueo involucra rutas paralelas y consecutivas en las que a partir de la descomposición oxidativa se obtienen hidrocarburos oxigenados intermedios antes de descomponerse en CO_2 . El proceso involucra diferentes vías de reacción, por lo que se describe por una reacción triangular. Por consiguiente, se validó el modelo cinético de oxidación húmeda de compuestos orgánicos en el coque de petróleo (Figura 1).

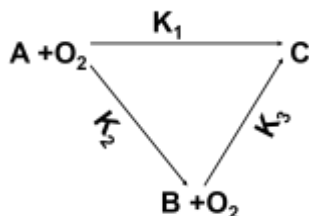


Figura 1. Reacción triangular de oxi-craqueo de coque de petróleo [12]. "A" es coque de petróleo, "B" es el producto intermedio y "C" es el CO_2 tanto en fase gas (Cg), como el disuelto en el líquido en forma de carbonatos (IC).

Por otro lado, las condiciones de oxidación juegan un rol importante sobre el mecanismo de reacción y la obtención de productos. Por lo tanto, se han definido condiciones de oxicraqueo que comprenden temperaturas entre 200-230 °C y presiones de 500-750 psi. Además, las condiciones de operación como tiempo de reacción, tamaño de partícula y velocidad de agitación afectan al rendimiento y conversión por lo que previamente se han estudiado en coque de petróleo. Una velocidad de agitación superior a 500 rpm, tamaño de partícula entre 53-710 μm , relación coque-KOH 1:1 son favorables para la obtención de productos oxigenados al minimizar efectos de impedimento de transferencia de masa.

PARTE EXPERIMENTAL

En la Figura 2 se muestra el diagrama de proceso, inicialmente una muestra de coque de petróleo seco se trituró y tamizó. Las reacciones de oxicroqueo se realizaron en un reactor por lotes a condiciones de 200-230°C y 750 psi, utilizando O₂ como agente oxidante, agua como solvente y KOH como agente regulador de pH. La mezcla de productos de reacción fue inicialmente filtrada para recuperar la fracción de huminas, luego la fracción líquida fue acidificada (pH <2) para separar por precipitación la fracción de ácido húmico (AH) y ácido fúlvico (AF). El coque de petróleo y los productos de reacción se caracterizaron con técnicas de análisis elemental CHNS/O, espectroscopia de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS), fluorescencia de rayos X (XRF) y espectroscopia infrarroja (FTIR). Posteriormente, se realizaron los perfiles de conversión del coque de petróleo para evaluar el efecto de la temperatura sobre la cinética de la reacción. En tanto, la conversión y rendimiento de productos se calcularon con base al carbono total de los productos solubles.

$$\text{Conversión } X (\%) = \frac{T_C}{C_A} \quad (1)$$

$$\text{Rendimiento } Y_{AF} = X - \frac{T_{CAF}}{C_A} \quad (2)$$

$$\text{Rendimiento } Y_{AH} = X - Y_{AF} \quad (3)$$

Donde:

T_C: es la concentración de carbono total en la fase líquida

C_A: es la concentración inicial de carbono.

T_{CAF}: es la concentración de carbono total en los ácidos fúlvicos

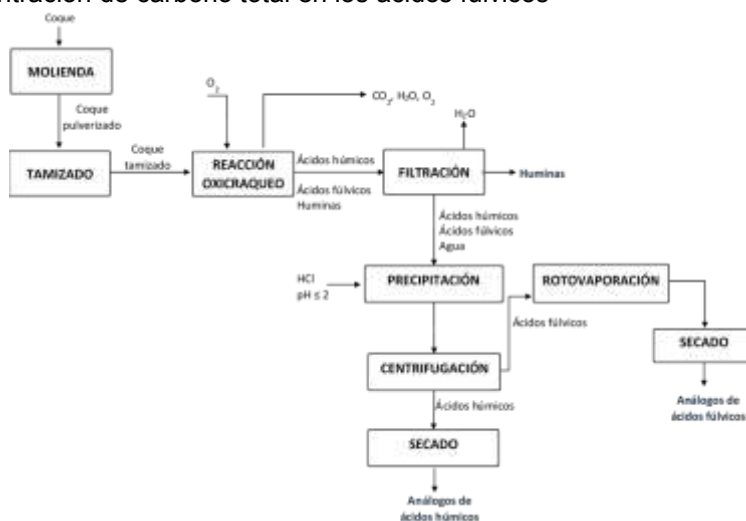


Figura 2. Diagrama de proceso

RESULTADOS

En la tabla 1 se presenta el análisis elemental de coque de petróleo y compuestos análogos de sustancias húmicas. Se mostró que el coque de petróleo se compone principalmente de carbono (88.3%) seguido de azufre (5.9%), hidrógeno (3.4%), nitrógeno (1.4 %), oxígeno (0.7%) y trazas de metales pesados como vanadio, níquel, hierro y calcio (< 1%). El coque de petróleo presenta un alto contenido de azufre, el cual facilita la disociación de los enlaces de carbono que se encuentran adyacentes al azufre. Conforme avanza el grado de reacción el área de las estructuras presentes en el coque de petróleo se va reduciendo, por lo que se van produciendo los compuestos análogos de ácidos húmicos y fulvicos. Cabe resaltar que existe una parte del coque no reacciona totalmente, por lo que es considerada como fracción humina ya que cumple con las características de insolubilidad.

En comparación con el coque de petróleo, los compuestos análogos de sustancias húmicas presentan una disminución en el contenido de carbono, nitrógeno y azufre y un mayor contenido en hidrógeno y oxígeno. Conforme avanza el tiempo de reacción hay una desulfuración en el proceso y la molécula de coque de petróleo se va rompiendo y se va incorporando el oxígeno, por lo tanto, aparecen los grupos oxigenados. Derivado del análisis XRF (Tabla 1) se encontró una fracción de potasio y cloro en los productos, derivado del medio en el que se lleva la reacción y la adición de HCl en el proceso de separación de la fracción de ácidos húmicos.

Tabla 12. Composición de coque de petróleo y análogos a las sustancias húmicas a 200°C y 90 min

Elemento	Composición (%)			
	Compuesto			
	Coque	Huminas	Ácidos húmicos	Ácidos fúlvicos
Carbono	88.3	57.6	37.3	10.4
Hidrógeno	3.4	4.1	3.3	2.1
Nitrógeno	1.4	1.1	0.8	0.3
Azufre	5.9	3.0	1.9	0.5
Oxígeno *	0.7	17.0	21.9	13.1
Níquel	0.018	0.046	0.008	n.d.
Vanadio	0.042	0.040	0.041	0.040
Hierro	0.005	0.116	0.005	0.001
Potasio	n.d.	21.3	18.6	21.7
Cloro	n.d.	n.d.	13.7	24.0

*Determinado por diferencia

En la Figura 3 se presentan los espectros FT-IR de coque de petróleo, análogos de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos obtenidos a 200°C y 90 min. Se observan claras diferencias en la naturaleza química del coque con las diferentes fracciones de los análogos de sustancias húmicas. El espectro de coque de petróleo permitió identificar grupos alquilo y especies aromáticas. Se caracteriza por enlaces C=C poliaromáticos en 1434 cm^{-1} , enlaces C-H aromáticos entre 741-860 cm^{-1} , enlaces C=C aromáticos en 1594 cm^{-1} y sustituciones alquílicas de enlaces C-H en 2900 cm^{-1} y enlaces C \equiv C: 2110 cm^{-1} . Como se observa, la fracción de huminas mantiene bandas aromáticas y alquílicas similares al coque de petróleo correspondientes a enlaces C-H entre 741-860 y 2900 cm^{-1} aunque con la aparición de grupos -OH entre 3200-3600 cm^{-1} . Por otro lado, los espectros de los ácidos húmicos y fúlvicos muestran una disminución en las regiones de enlaces C-H y un aumento de grupos oxigenados con respecto al coque de petróleo. Los ácidos húmicos y fúlvicos se caracterizan principalmente por presencia de grupos carboxilo en las bandas en 1709 y 1770 cm^{-1} correspondientes a enlaces C=O y 1230 cm^{-1} que se atribuyen a enlaces C-O. Además, se denotan los grupos hidroxilo en la región de 3000-3600 cm^{-1} , carboxilatos (C-H) en 1564 y 1370 cm^{-1} y sulfóxidos (S-O) en \sim 1030.

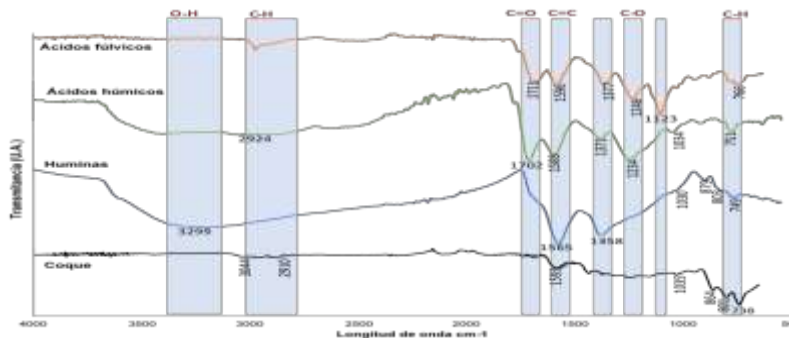
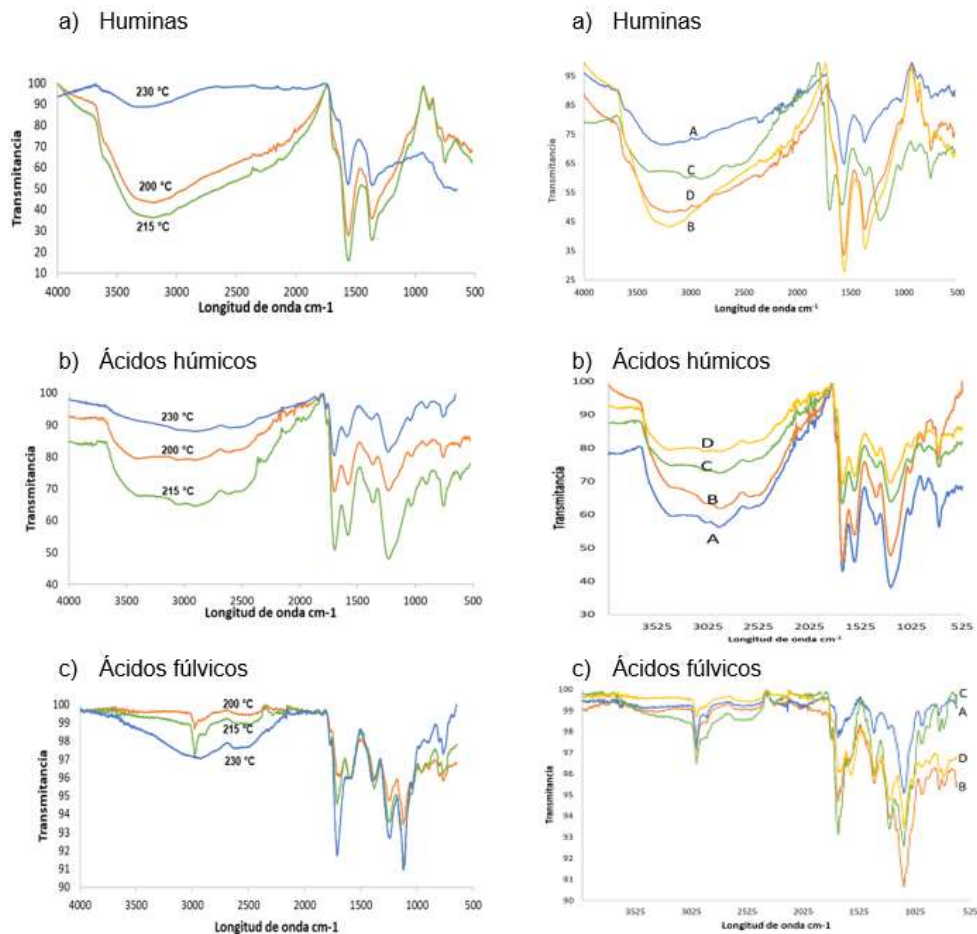


Figura 3. Espectros FT-IR de coque de petróleo y compuestos análogos de sustancias húmicas a 200° C y 90 minutos

En la Figura 4 se presentan los espectros FT-IR de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos a diferentes temperaturas (200, 215 y 230° C) y un tiempo de 90 minutos. De acuerdo con los espectros

mostrados la temperatura no influye significativamente en la estructura química de los compuestos. Como se observa, no hay aparición de picos diferentes entre una temperatura y otra. No obstante, los espectros varían ligeramente con el tiempo de reacción (Figura 5). Es evidente en los espectros muestran contribuciones significativas de $-OH$ alrededor de 3400 cm^{-1} debido al enriquecimiento de grupos oxigenados y conforme aumenta el tiempo de reacción van cambiando la intensidad. Como se observa, en las huminas la banda más intensa se encuentra en 1550 correspondiente a enlaces $C=C$ aromáticos, en los ácidos húmicos predominan las bandas en 1230 cm^{-1} de enlaces $C-O$ de ácidos carboxílicos y las bandas en 1690 cm^{-1} de enlaces $C=O$ de grupos carbonilos. En los ácidos fúlvicos predominan las bandas encontradas en 1120 cm^{-1} de enlaces $S=O$ de sulfonas y bandas en 1709 cm^{-1} de enlaces $C=O$ de grupos carboxilo.



Por último, en la Figura 4 se muestra el efecto de la temperatura en la conversión del coque de petróleo. Como se observa, con el incremento de la temperatura aumenta la conversión de coque de petróleo. Además, se muestra la determinación de constantes de reacción considerando una cinética de primer orden para la determinación de las constantes de velocidad. Se determinó que la tasa de reacción se duplicó al pasar de 200 °C a 230 °C y que se necesita una energía de activación de 51.6 kJ/mol .

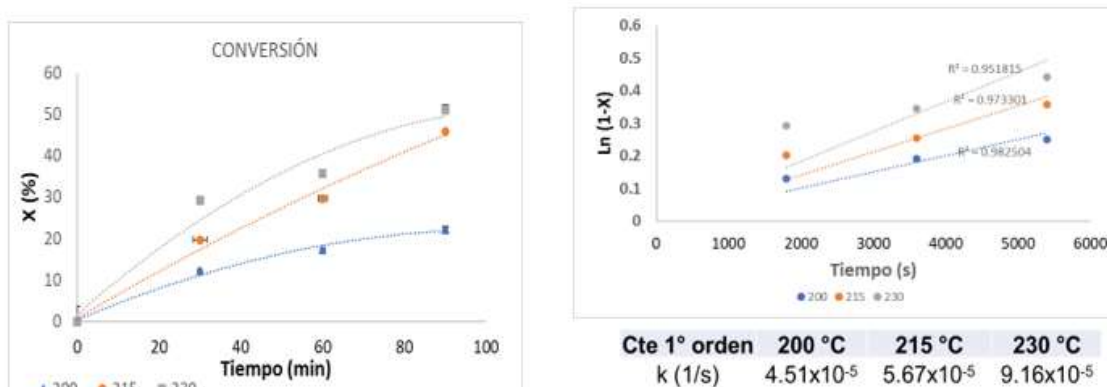


Figura 6. Efecto de la temperatura en la conversión de coque de petróleo y determinación de constantes de velocidad.

CONCLUSIONES

A partir del oxicroqueo de coque de petróleo se obtuvieron compuestos orgánicos solubles, los cuales se identificaron a través del análisis FT-IR como fracciones de huminas, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos. Los compuestos identificados se caracterizan por la disminución de carácter aromático, y por la aparición de grupos oxigenados principalmente carboxílicos. La estructura de los análogos a las sustancias húmicas varía en función al tiempo de reacción. No obstante, la temperatura no afecta significativamente la estructura química de los productos.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. Huang, Y. Zhang y B. Wang, «Modeling the Change of Green coke to Calcined Coke using Quigdao High-Sulfur Petroleum Coke, *Energy & Fuels*, 29(5) 3345-3352, 2015.
2. Andrews y R. K. Lattanzio, *Petroleum coke: Industry and Environmental Issues*, Congressional Research Service, pp. 1-30, 2014.
3. J. Chen y X. Lu, «Progress of Petroleum coke combusting in circulating fluidized bed boilers—A review and future perspectives, *Resources, Conservation and Recycling*, 49(3) 203-216, (2007).
4. D. Manasrah, Conversion of petroleum coke into valuable products using oxy-cracking technique, *Fuel*, 215,865-878, 2018.
5. M. Omar, A. Taha y A. Abbas, Physicochemical Characteristics of Humic and Fulvic Acids Extracted from Different Feedstocks, *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, 9(7) 277-281, 2018.
6. B. A. Gomes de Melo, F. Lopes Motta y M. H. Andrade Santana, «Humic acids: Structural properties and multiple functionalities for novel, *Materials Science and Engineering*, (62), 967-974, 2016.
7. S.K. Bhargava, J. Tardio, J. Prasad, K. Föger, D.B. Akolekar, S.C. Grocott, Wet oxidation and catalytic wet oxidation, *Industrial & Engineering Chemistry Research* 45(4) 1221- 1258, 2006.
8. P. Haghghat, L. Carbognani, P. Pereira-Almao, Experimental study on catalytic hydroprocessing of solubilized asphaltene in water: A proof of concept to upgrade asphaltene in the aqueous phase, *Energy & Fuels* 30(4) 2904-2918, 2016.

APLICACIÓN DE METODOLOGÍAS DE ECODISEÑO E INNOVACIÓN EN EL DISEÑO DE UN PRODUCTO ALIMENTICIO FUNCIONAL CON APEGO A LOS PRINCIPIOS DE LA INGENIERÍA SOSTENIBLE.

Fabiola Alcalá Díaz Infante¹, Lilia García Azpeitia²

Instituto Tecnológico José Mario Molina Pasquel y Henríquez Unidad Académica de Lagos de Moreno.

Fabiolaalcala.fa@gmail.com

RESUMEN

En la actualidad, el 57 % de la población mundial sufre de casos de enfermedades metabólicas. El proyecto se ha enfocado principalmente en el Estado de Jalisco ya que las enfermedades crónicas no transmisibles se han incrementado notablemente, por mencionar uno de los casos es la diabetes, este ocupa el primer lugar dentro de las principales causas de mortalidad y su prevalencia es del 7.9 %. El objetivo de la investigación fue aplicar metodologías de ecodiseño e innovación en el desarrollo de un producto alimenticio funcional elaborado con mezquite, con apego a los principios de la ingeniería sostenible y la normatividad mexicana. Se realizó un estudio de mercado, para conocer el mercado meta, así como otros aspectos importantes como preferencia en el tipo de producto, el sabor y el precio. Para este proyecto se aplicaron varias metodologías como lo son “Food Design”, los criterios de ecodiseño y ecoinnovación; se planteó un diseño de experimentos (DOE) para la selección de variables de proceso; el “Desarrollo de Cadena de Valor” de acuerdo con la Organización Internacional para el Trabajo (OIT); todo esto para realizar el diseño de un alimento funcional de bajo Índice glicémico, elaborado con fruto de mezquite que es una de las especies de ecosistema espinoso en los Altos Norte de Jalisco. Se determinó que el 93% de la población objetivo está dispuesta a consumir el producto, prefiriendo un alimento de tipo pan de característica dulce. Se aplicaron tres etapas de la metodología Food Design logrando la caracterización del producto y del proceso. En el diseño de experimentos (DOE) se seleccionaron las variables (tiempo de mezclado, temperatura y tiempo de horneado), factores no controlables (composición de las vainas de mezquite), variables de salida (volumen del producto, sabor y textura y composición nutrimental), así como el efecto en las características de calidad; para ser analizado a un 90% de confianza mediante un ANOVA y una prueba de medias por Tukey. La ingeniería del producto se apegó a los principios de la economía circular, contando con fichas técnicas de la materia prima e insumos, un diagrama de flujo de proceso en el cual se representan los tiempos de cada proceso a realizar y se desarrolló la cadena de valor de acuerdo con las especificaciones de la OIT. Finalmente el diseño y la producción de un nuevo alimento, es de suma importancia se apegue a las Normas Oficiales Mexicanas (NOM-247-SSA-208, NOM-251-SSA1-2009, NOM-F-442-1983, NOM-051-SCFI/SSA1-2010, NOM-014-SSA3-2013, NOM-116-SSA1-1994) para el contenido nutrimental y procesamiento, considerar las propiedades y requerimientos de un alimento funcional de bajo índice glucémico que coadyuve a la disminución de la problemática de salud en México y a su vez sea respetuoso con el medio ambiente, mediante un diseño sustentables y el uso de recursos endémicos de las regiones, en este caso el uso de mezquite.

INTRODUCCIÓN

se presentan a detalle varias metodologías como el “Food design”, que es uno de los métodos más conocidos y usados actualmente. Este método se enfoca en necesidades que existen de un producto o servicio mediante la determinación de las necesidades o problemas que tienen los consumidores. Los criterios de ecodiseño y ecoinnovación, permiten obtener oportunidades comerciales, así como hacer frente a las amenazas externas. Es decir, permiten reducir costos de producción, el consumo de productos y recursos, optimizar la calidad y aumentar la vida útil de los productos, seleccionar recursos más sostenibles o con menor consumo energético, buscan la utilización de tecnologías más limpias, y minimizar los costos de manipulación de residuos y desechos.

Un diseño de experimentos (DOE) es una técnica estadística que se basa en organizar y diseñar una serie de experimentos de forma que con el mínimo número de pruebas se consiga extraer información útil para obtener conclusiones que permitan optimizar la configuración de un proceso o producto.

El “Desarrollo de Cadena de Valor” describe la gama de actividades que se requiere para llevar un producto o servicio desde su concepción, pasado por las fases intermedias de la producción, la entrega a consumidores.

TEORÍA

Se consideran alimentos funcionales aquellos que, con independencia de aportar nutrientes, han demostrado científicamente que afectan beneficiosamente a una o varias funciones del organismo, de manera que proporcionan un mejor estado de salud y bienestar. Estos alimentos, además, ejercen un papel preventivo ya que reducen los factores de riesgo que provocan la aparición de enfermedades.

El aprovechamiento del mezquite es una actividad antigua entre las comunidades indígenas y las poblaciones rurales del norte de México. Por ejemplo, en el estado de Sonora los yaquis lo utilizan en la construcción de viviendas, cercos, corrales, como medicina y alimento. Los mayos consideran al mezquite como símbolo espiritual, la dureza de la madera representa la fortaleza espiritual y forma diaria de vivir. La comunidad de seri, lo utiliza como alimento, moliendo las vainas secas en moteros de piedra caliza para obtener harina, la cual contiene el 28.7 % de proteína.

El ecodiseño permite ir a la vanguardia de lo que exige la sociedad, la globalización, el crecimiento de los mercados, las normas internacionales, la demanda y la evolución que se deriva en competitividad y productividad.

El diseño de experimentos (DOE) es una técnica estadística que se basa en organizar y diseñar una serie de experimentos de forma que con el mínimo número de pruebas se consiga extraer información útil para obtener conclusiones que permitan optimizar la configuración de un proceso o producto.

El Design Thinking o “pensamiento de diseño” es uno de los métodos más conocidos y usados actualmente. Este método se enfoca en necesidades que existen de un producto o servicio mediante la determinación de las necesidades o problemas que tienen los consumidores.

METODOLOGÍA DEL PROYECTO

Aplicación de metodología Food design. (por el tipo de proyecto, no refiere una parte experimental, pero si una investigación documental y de campo).

Para realizar este proyecto se implementó una metodología llamada “Food Design” la cual está integrada por etapas: Empatía, Definición, Ideación.

En la primera etapa se determina a quien va dirigido el producto, para esto se realizó una segmentación de mercado en la cual revela la problemática, la población a quienes va dirigido el producto que en este caso son a personas que tengan alguna enfermedad como; Obesidad, Diabetes, Hipertensión, Triglicéridos, Intolerancia a la lactosa, Colesterol alto, entre otras y se determinó el número de muestra para poder continuar con la etapa dos de esta metodología.

En la segunda etapa se desarrolló y aplicó una encuesta por medio de redes sociales con la herramienta forms, para saber las necesidades de las personas a quienes va dirigido el producto, en esta se realizaron preguntas como, “si llevaban una dieta especial”, “si conoce los alimentos funcionales”, “si los consumiría”, “si conocía el fruto del cual estaría hecho este producto”, “qué sabor les gustaría”, y “qué tipo de alimento les gustaría consumir como una bebida, una galleta, un pan o una gelatina” y finalmente “que precio estaría dispuesto a pagar”.

En la tercera etapa con base en los resultados de la encuesta se proyectó y diseñó el alimento funcional, tomando como bases las normativas nacionales e internacionales. También en esta etapa se definió el nombre del producto, el eslogan y la imagen.

Desarrollo del producto.

Se elaboró una ficha técnica del producto para citar la información necesaria para la fabricación, como el nombre, la descripción del producto, el lugar en donde se elaborará, la materia prima, su composición nutricional, la presentación y empaque, las características, la normatividad con la cual se debe cumplir, hasta el método de conservación.

Desarrollo del Diseño de Experimentos.

Se planteó el diseño de experimentos definiendo las variables de entrada, los factores y niveles, así como las variables de salida; también se calculó el tamaño de muestra, la selección del orden de

corridas, la determinación o no de bloques y restricciones para la aleatorización, esto se obtuvo con el programa Minitab.

Desarrollar la Ingeniería del Producto.

Para desarrollar la ingeniería del producto se elaboraron fichas técnicas para la materia prima, con las cuales se obtuvo una estandarización de cada ingrediente requerido y así se especificó lo que debe contener cada uno de los productos, de esta manera evaluar si es adecuado o no para el alimento. Las fichas fueron elaboradas con base las normativas correspondientes a cada alimento como la SSA, CODEX, etc.

Por otra parte, se realizó un diagrama de flujo para representar la secuencia de las actividades en el proceso que se realizó para así mostrar cómo se debe ir desarrollando desde su comienzo, hasta su final.

Se seleccionó el equipo y maquinaria que se requiere para la elaboración del producto, tomando en cuenta las características como las dimensiones, la capacidad, modelo y precio. Estos elementos fueron consultados en empresas mexicanas.

Desarrollo de cadena de valor.

Se propuso desarrollar la cadena de valor de acuerdo con la Organización Internacional del Trabajo (OIT) ya que lo que se pretendió lograr con este modelo fue describir la gama de actividades que se requirieron para llevar un producto desde su inicio hasta su fin, esto incluye actividades como el diseño, la producción la comercialización, la distribución y los servicios de apoyo hasta llegar al consumidor final, esto se lo logro analizando los cinco factores principales

RESULTADOS

Con las respuestas obtenidas se conoció que el 62.4 % conoce los alimentos funcionales y el 37.6 % no.

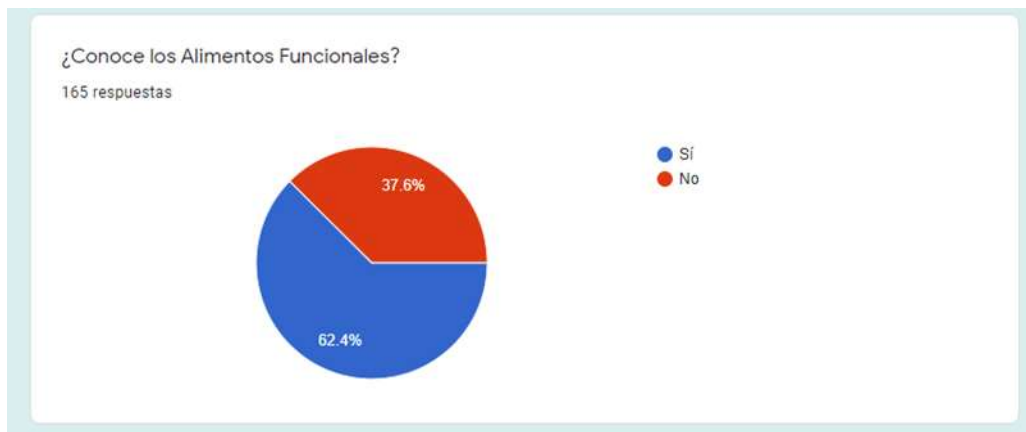


Figura 1.1 resultados de encuesta impartida (elaboración propia).

En los resultados de la pregunta si consumiría un alimento funcional el 93.3 % contestó que, si lo consumiría, aquí se percató de que el alimento funcional puede tener una buena aceptación.

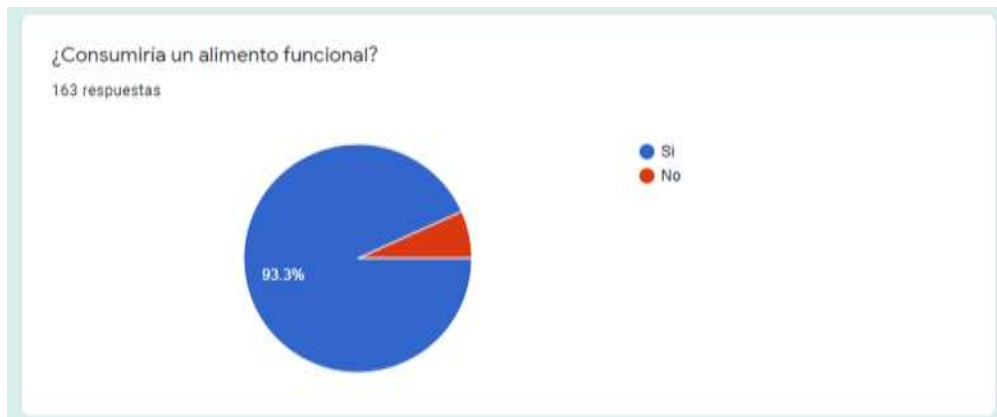


Figura 1.2 resultados de encuesta impartida (elaboración propia).

El sabor que se prefirió para el alimento funcional a desarrollar fue el dulce teniendo un 68.5 % de preferencia en cambio el sabor salado solo obtuvo un 31.5 %.

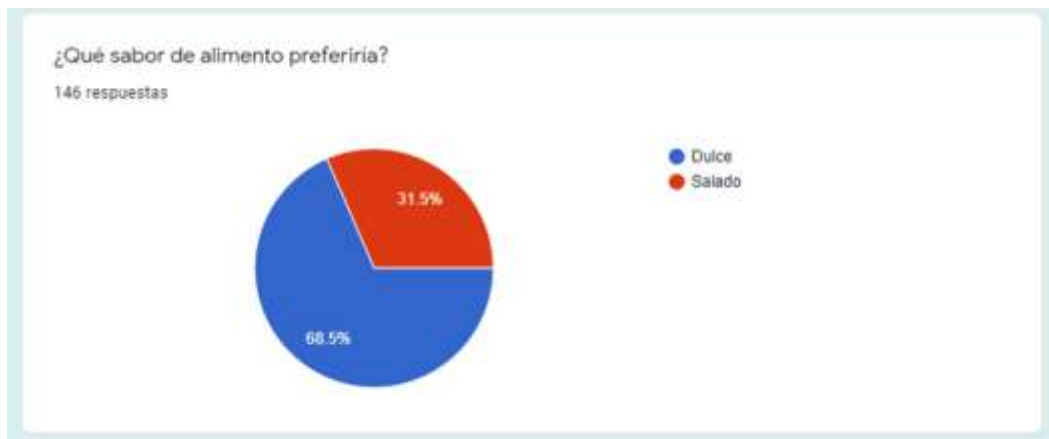


Figura 1.3 resultados de encuesta impartida (elaboración propia).

En cuestión de qué tipo de alimento prefirió se conoció que ya fuese bebida, galleta o pan, el alimento sería aceptado pues fueron los más votados con mínimas diferencias.

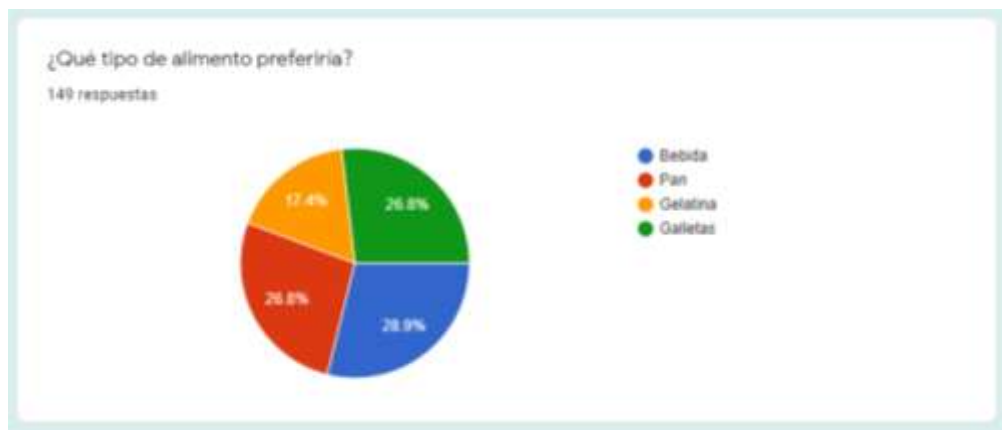


Figura 1.4 resultados de encuesta impartida (elaboración propia).

Con base a estudios previos de este proyecto se consultaron diferentes para productos similares



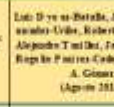








		PARÁMETROS DE PROCESO					
		 Hernández Ángel, María Guadalupe (Diciembre 2016)	 Leticia Guzmán Reyes López (Marzo 2018)	 Luis D. y su familia, Juan P. Hernández Uribe, Roberto Gutiérrez, Alejandro T. y su familia, Javier Castro, Rogelio Fuentes-Cabrera y Carlos A. Gómez (Agosto 2018)	 Luis Díaz-Herrera, Juan P. Hernández Uribe, Alan D. Ramírez Gutiérrez, Rogelio Carrillo-Cortés, Javier Castro-Heras, Alejandro Uribe-Jurado y Carlos A. Gómez Aldape (Diciembre 2016)	 M. Cruz-González, S. Siles-Arreola, L.L. Méndez-Lagunas, S. Saucedo Torres, J. Rodríguez-Ramírez y G. Hernández Becerra (Julio-Septiembre 2019)	
	Secado de vainas	Secado de vainas 60° C	4-7 Días 40- 60° C 20-30 minutos	N/C	N/C	N/C	Las vainas se secaron a 50 ± 0.22° C y 70 ± 0.45° C, cantidad de aire de 2 cm, un secador durante 7 y 3 h.
	Proceso de trituración a molienda	3-10 minutos en molino	3-10 minutos	Trituración en molinador 600w	Las vainas se muelen utilizando un molinador 600w	Se trituraron en un molino durante 20 segundos	
	Tamizado de la harina de mezquite con malla	Se muestreo en una malla N° 60	N/C	Se muestreo en una malla N° 30 considerando el muestreo inicial	Se tamizó en una malla de tamices de 12 kg. Se usaron N° 30 y 60	Se muestreo en una malla N° 60	
	Segundo proceso de trituración a molienda	N/C	N/C	El muestreo inicial fue sometido a un segundo proceso de molienda en molinador 600w	El muestreo inicial fue sometido a un segundo proceso de molienda en molinador 600w	N/C	
	Segundo proceso de muestreo de la harina de mezquite con malla	N/C	N/C	Se muestreo en una malla N° 60 produciendo harina de semillas	Se muestreo en una malla N° 60 produciendo 3 fracciones	N/C	
	Proceso de Hidratación	N/C	N/C	N/C	Se hidrataron con 1.3 ml de agua por gramo de harina	N/C	
	Temperatura Horneado	180° C (Dulces) 13-20 minutos	120° C (Pan) 20 minutos	N/C	N/C	Se hornearon en un proceso de horneado a 190° C durante 20 minutos	N/C

Figura 1.5 parámetros de proceso (Raya Cárdenas)

Se elaboró una tabla de requerimientos de insumos con las especificaciones de cada ingrediente como la marca, tipo de empaque, dimensiones, volumen y el peso de cada producto.

MATERIA PRIMA	MARCA	TIPO DE EMPAQUE	DIMENCIONES	VOLUMEN	PESO DEL PRODUCTO
ACEITE	Aceite 1.2.3	BOTELLA DE PLASTICO	10.5 X 43 X33 cm	3758 mil.	3.78 g
AZUCAR DE CAÑA	natulce	COSTAL DE POLIPROPILENO TEJIDO	45X 37 X 22 cm	25000	25kg
SUERO DE LECHE		CAJA DE CARTON	26.43 X 24.98 X 39.9 cm	10000 g	10 kg
HARINA DE TRIGO	SELECTA	COSTAL DE POLIPROPILENO TEJIDO	44 x 37 X 22 cm	20000	20 kg
HUEVO	SAN JUAN	CAJA DE CARTON		360 pzas	22KG
HARINA DE MEZQUITE					
BICARBONATO DE SODIO	GENERIC	LATA	11.3 X 8.5 X 8.5 cm	500g	1/2 kg

Figura 1.6 Requerimientos de insumos (elaboración propia).

En el diseño de experimentos se seleccionaron las variables (tiempo de mezclado, temperatura y tiempo de horneado), factores no controlables (composición de las vainas de mezquite), variables

de salida (volumen del producto, sabor y textura y composición nutrimental), así como el efecto en las características de calidad; para ser analizado a un 90% de confianza mediante un ANOVA y una prueba de medias por Tukey.

En el siguiente diagrama de identifican las variables de entrada y de salida junto con los factores.

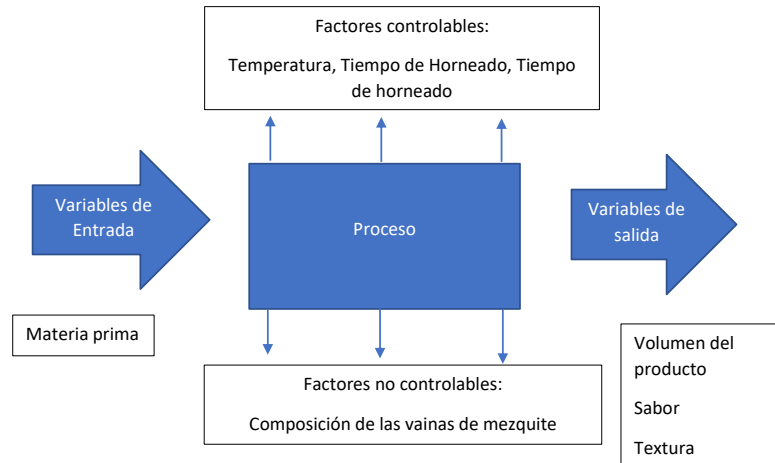


Figura 1.7 Diagrama de variables de entrada y salida junto factores (elaboración propia).

Se realizó el diagrama de flujo para saber los pasos de la elaboración del proceso y su secuencia. Se realizó el mapeo de la cadena de valor, plasmando nuestras actividades primarias que son las actividades que debe de llevar la realización de proceso del producto y las actividades de apoyo que son necesarias ya que son una guía de como se deben o que se deben de apegar las actividades primarias para su realización

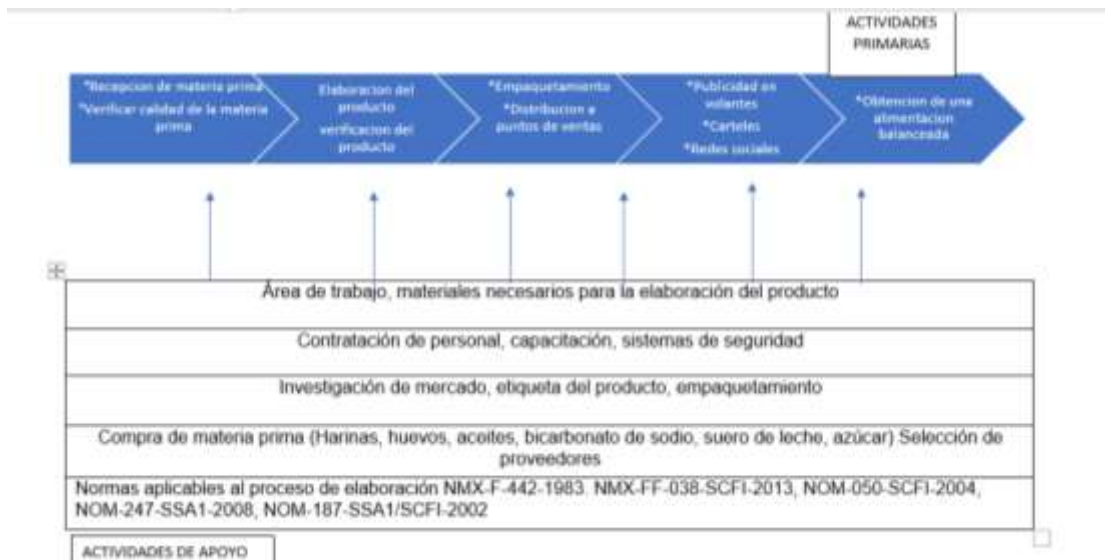


Figura 1.8 Mapeo de cadena de valor (Elaboración propia).

CONCLUSIÓN

Para la elaboración de un producto alimenticio, es muy importante apegarse a las Normas Oficiales Mexicanas para el contenido nutrimental y procesamiento del producto, considerar las propiedades y requerimientos de un alimento funcional de bajo índice glicémico que contribuya a la disminución

de la problemática de salud en México y a su vez sea solidario con el medio ambiente, mediante un diseño sustentable y el uso de recursos endémicos de las regiones, en este caso el fruto de mezquite. Al igual es importante seguir metodologías como Food Design”, los criterios de ecodiseño y ecoinnovación, diseño de experimentos, la ingeniería del producto y “Desarrollo de Cadena de Valor” de acuerdo con la Organización Internacional para el Trabajo (OIT) ya que estas ayudan a tener procesos factibles y resultados precisos

BIBLIOGRAFIA

1. Aranceta, D. (31 de octubre de 2019). Guía de alimentos funcionales. Obtenido de https://www.fesnad.org/resources/files/Publicaciones/guia_alimentos_funcionales.pdf
2. Marin, V. O. (18 de mayo de 2020). repository.unimilitar.edu.com. Obtenido de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/36530/OsorioMarinViviana2020.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
3. Moya, D. P. (2021). Obtenido de <https://www.gestionar-facil.com/como-calcular-los-costos-de-produccion-del-pan/>
4. Ormazabal, F. (Noviembre de 2000). IHOBE . Obtenido de https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/ekodiseinu7/es_def/adjuntos/PUB-2000-014-f-C-001.pdf
5. Pérez, H. R. (Febrero de 2016). universidad utozona agraria antonio narro .
6. Piqueras, V. Y. (abril de 2013). Victoryepes. blog . Obtenido de <https://victoryepes.blogs.upv.es/2013/04/21/que-es-el-diseno-de-experimentos/>
7. Ramírez, N. F. (Mayo de 2020). Desarrollo y Lanzamientos de Nuevos Productos . Obtenido de http://tauja.ujaen.es/bitstream/10953.1/12575/1/TFG_FRANCO_RAMREZ_NATALIA.pdf
8. Sievers, N. N. (2016). Guia general para el desarrollo de cadena devalor . Obtenido de http://www.ilo.ch/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/---ifp_seed/documents/instructionalmaterial/wcms_541432.pdf

COMPARATIVO DE ESTUDIOS EXPERIMENTALES DE LA RIGIDEZ ENTRE BLOQUES DE CONCRETO Y PAVIMENTO APLICANDO MÉTODOS ENTRÓPICOS

Yajaira Concha Sánchez¹, Gabriel Arroyo Correa², José Vega Cabrera² y Margarito Octavio Anguiano Méndez¹

¹Facultad de Ingeniería Civi, UMSNH, ²Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UMSNH.
yajaira.concha@umich.mx

RESUMEN

En el campo de la ingeniería se emplean técnicas destructivas y no destructivas para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales. El uso de máquinas para aplicar esfuerzos sobre materiales específicos hasta sus límites de ruptura es un ejemplo típico de técnica destructiva. Por otra parte, el empleo de ondas acústicas de baja y alta frecuencia (ultrasonidos) figura entre los métodos no invasivos utilizados con frecuencia en el campo de la ingeniería civil, mecánica y aeronáutica. La técnica del impacto acústico (IA) es un método no invasivo que se puede usar para cuantificar la rigidez de un material, que se emplea ampliamente en la industria frutícola [1]. En la técnica IA el objeto bajo estudio es impactado por un objeto sólido pequeño, aunque también se puede usar un martillo de impacto. El impacto sobre el objeto produce vibraciones en el rango audible que son captadas por sensores de sonido colocados cerca de la superficie del objeto. En este trabajo realizamos una comparación de la aplicación de la técnica IA entre bloques de concreto y pavimento para analizar las señales acústicas detectadas por dos sensores de sonido, uno colocado en la dirección del impacto y otro a 90 grados con respecto a esta dirección. Se consideran los casos en que los bloques descansan libremente sobre una superficie horizontal y cuando son sometidos a una presión. Se obtienen los espectros de Fourier para ambos casos y se cuantifica un parámetro de entropía, basado en la llamada entropía de Shannon [2], en el espacio fase definido por las señales acústicas detectadas por los dos sensores. Los resultados experimentales muestran que cuando los bloques de concreto y pavimento son sometidos a presión su espectro de Fourier muestra frecuencias bajas que no aparecen en el caso en que los bloques no sean sometidos a presión y también se observa un incremento en la entropía de Shannon.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la interacción entre radiación y materia ha sido un problema clave tanto en la física básica como aplicada. Los esquemas teóricos y experimentales en las bajas energías son muy amplios y variados, aunque en términos generales se puede hablar de análisis destructivos y no destructivos. En el caso de los métodos acústicos, su aplicación en el control de calidad de productos industriales es ya bien conocida [1]. La técnica de análisis por impacto acústico (IA) está basada en la dinámica de la colisión elástica entre dos cuerpos en donde la respuesta dinámica del objeto bajo estudio se detecta con sensores de vibraciones colocados sobre diferentes puntos del objeto, y por medio de una tarjeta de adquisición de datos se transfiere la información para ser procesadas posteriormente. Los espectros de Fourier de las señales acústicas muestran frecuencias de resonancia dominantes propias del estado mecánico del objeto, por lo que en principio el análisis de estas frecuencias nos permite identificar características propias del estado mecánico del objeto bajo estudio. La aplicación de la técnica IA es ampliamente en la industria frutícola conocida para caracterizar el estado de madurez de frutos [1], pero su uso para caracterizar la rigidez de materiales como el concreto y pavimento es más bien limitado, por no decir nulo.

En este trabajo aplicamos la técnica IA para caracterizar la rigidez de bloques de concreto y pavimento. Adicionalmente al análisis de Fourier convencional, caracterizamos el estado dinámico de los bloques mediante la cuantificación de la entropía de Shannon [2] (E_s). El cálculo de E_s se hace en el espacio de configuración (que no es más que el diagrama de Lissajous) definido por las dos señales acústicas que provienen de dos sensores de sonido colocado en diferentes posiciones cerca de los bloques de concreto y pavimento. Se construye una malla rectangular de puntos. La malla se divide en N celdas rectangulares idénticas. El número de puntos en una celda dividido entre el número total de puntos da la probabilidad de ocupación p_i de la celda. La entropía asociada a cada celda es:

$$E_s = -\sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i), \quad (1)$$

en donde \ln representa el logaritmo natural. La regularidad o irregularidad del diagrama de Lissajous correspondiente arrojará diferentes valores de E_s . Este enfoque de la entropía de Shannon lo hemos utilizado para caracterizar la dinámica de sistemas caóticos [3].

PARTE EXPERIMENTAL

En la Fig. 1 se muestra un arreglo típico de la instrumentación de la técnica IA. La instrumentación es de la marca PASCO: dos sensores de sonido colocados en la dirección del impacto (S1) y a 90 grados con respecto a esta dirección (S2); la señal fue registrada durante 0.010 segundos con una interfaz 750 a una razón de muestreo de 5000 muestras por segundo. Los objetos estudiados fueron tres bloques similares de concreto en forma de cubo y tres cilindros similares de pavimento, fabricados en el Laboratorio de Materiales de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Para cada bloque de concreto y pavimento se tomaron tres mediciones para tener una señal promedio de cada sensor. Sobre los promedios de las señales se obtuvo su espectro de Fourier. Con las dos señales acústicas promedio de cada sensor se generó su diagrama de Lissajous para calcular la entropía de Shannon de acuerdo a la Ec. (1). Para analizar la rigidez de los bloques, se tomaron mediciones en dos condiciones: i) cuando los bloques reposaban libremente sobre una superficie horizontal; ii) y cuando los bloques eran sometidos a una presión aplicada sobre su cara superior.

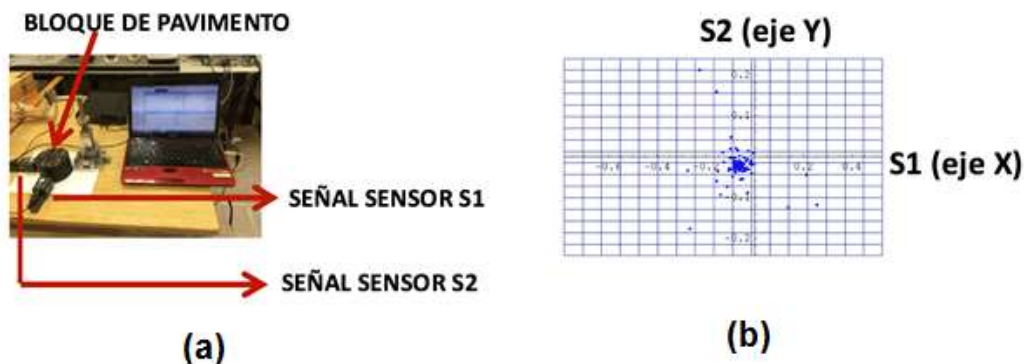


Figura 1. (a) Arreglo típico para instrumentar la técnica del impacto acústico y (b) mallado en plano S1-S2 para el cálculo de la entropía de Shannon.

RESULTADOS

En la Fig. 2 se muestran las señales acústicas temporales registradas por el sensor S1 y sus correspondientes espectros de Fourier para el bloque de concreto. Se nota claramente la aparición de una frecuencia baja cuando el bloque fue sujeto a una presión. También se observa un corrimiento en las frecuencias dominantes (indicadas por la fecha) entre los casos sin presión y presión. En la Fig. 3 se muestran los resultados correspondientes para el sensor S2. Se notan también la aparición de una frecuencia baja cuando el bloque de concreto fue sujeto a una presión y un corrimiento en las frecuencias dominantes (indicadas por la fecha) entre los casos sin presión y presión. La Fig. 4 muestra el diagrama de Lissajous para el caso sin presión en el bloque de concreto. El eje horizontal registra la señal acústica del sensor S1 y el eje vertical registra la señal acústica del sensor S2. El valor de la entropía de Shannon E_s , la calculamos de acuerdo a la Ec. (1), está indicado en la figura. La Fig. 5, por su parte, presenta los resultados para el caso con presión en el bloque de concreto. Al comparar estas figuras se puede notar una mayor dispersión de los puntos para el diagrama correspondiente al caso con presión, de aquí que su entropía de Shannon sea mayor. Esto es una consecuencia de la deformación experimentada por el bloque de concreto cuando es sometido a la presión. Esta deformación produce una inhomogeneidad en la distribución de la masa del bloque de

concreto. Desde luego, a simple vista esto no se puede observar, pero los resultados de las Figs. 4 y 5 si explican este hecho.

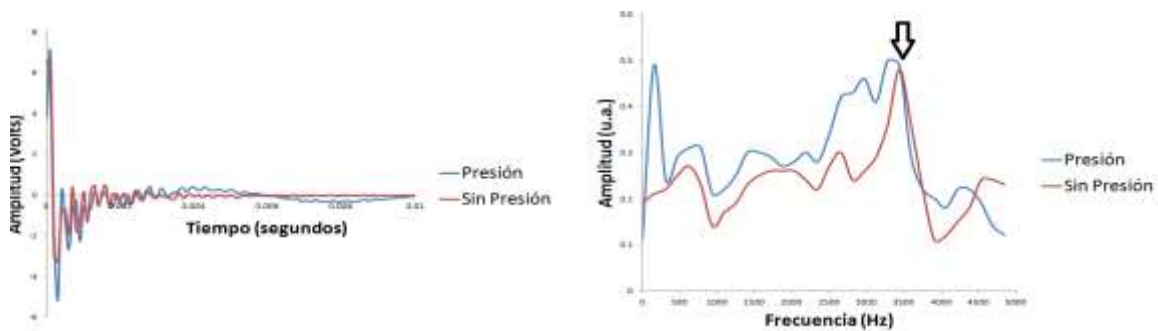


Figura 2. Señales acústicas (gráfico izquierdo) y espectros de Fourier (gráfico derecho) registradas por el sensor S1.

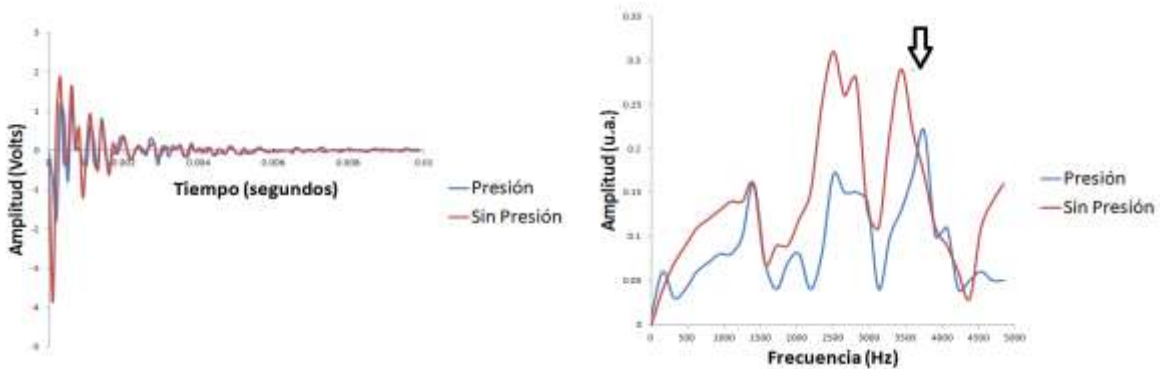


Figura 3. Señales acústicas (gráfico izquierdo) y espectros de Fourier (gráfico derecho) registradas por el sensor S2.

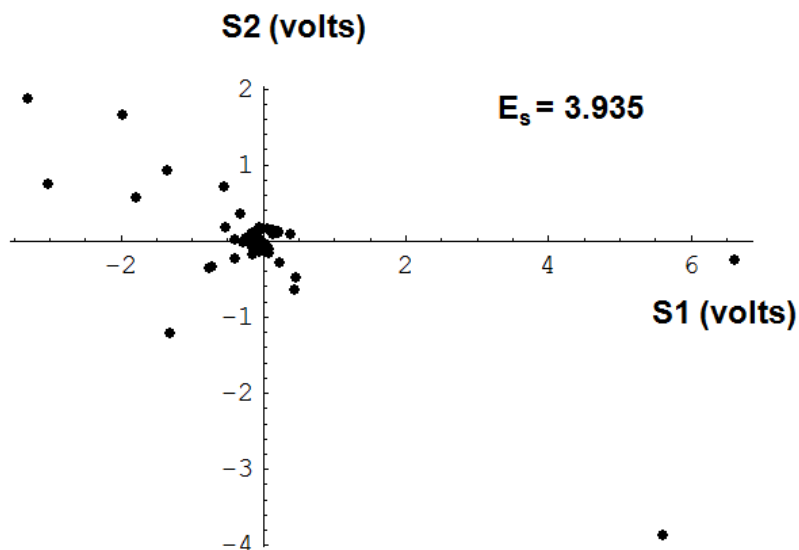


Figura 4. Diagramas de Lissajous formado por las señales acústicas registradas por los sensores S1 y S2. Este caso corresponde al bloque de concreto cuando no hay presión.

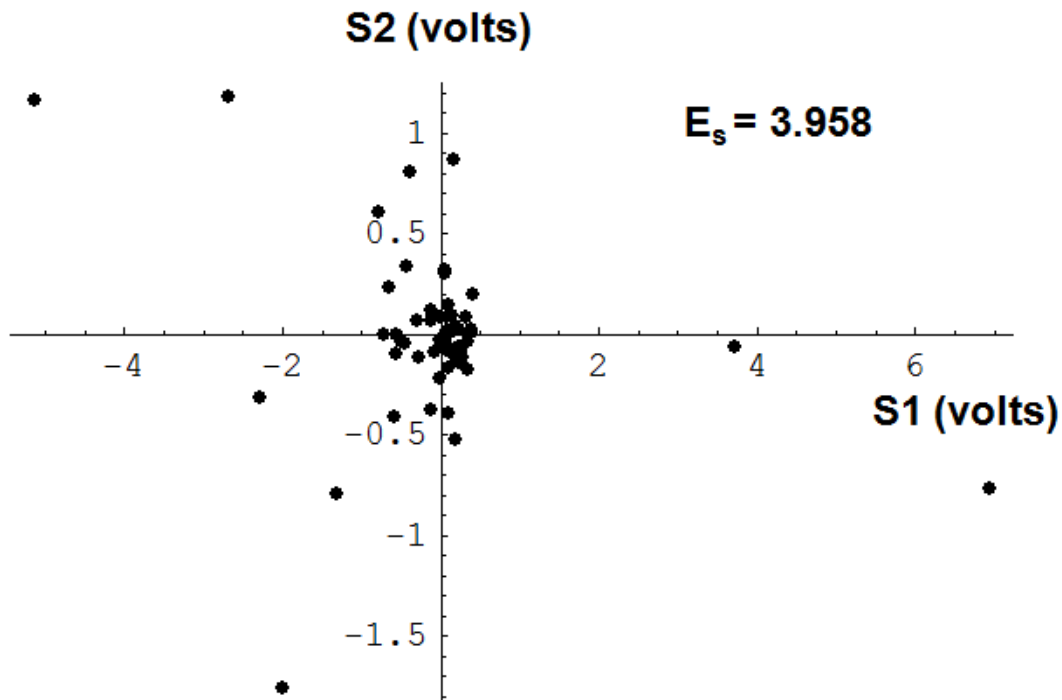


Figura 5. Diagramas de Lissajous formado por las señales acústicas registradas por los sensores S1 y S2. Este caso corresponde al bloque de concreto cuando está sometido a una presión.

A continuación, en la Fig. 6 mostramos los resultados obtenidos por la técnica de IA aplicada a uno de los tres bloques de pavimento flexible que se colaron de acuerdo a la norma para su respaldo el bloque 50-1 con una masa de 936.8 gramos, un diámetro de 10.21 cm y una altura de 5.75 cm. Los 3 bloques de pavimento flexible se componen de un 5.8 % de asfalto y un 50% de polímero Estireno-Buta-Estireno (SBS).

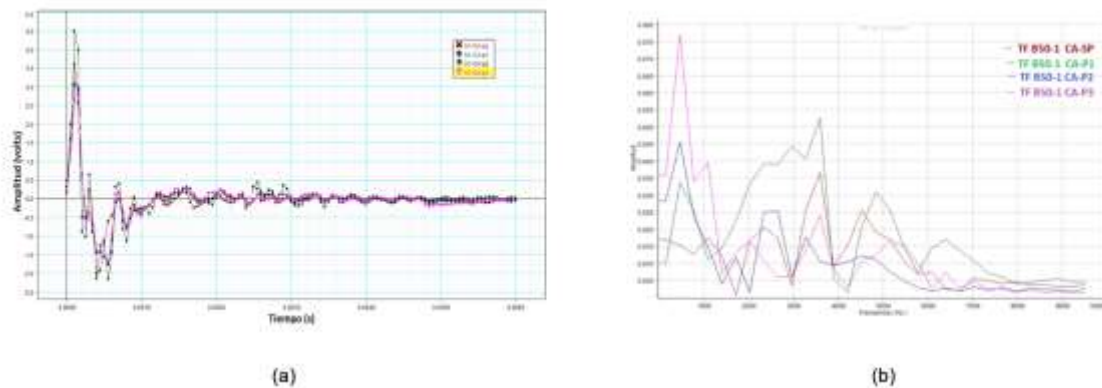


Figura 6: (a) Señales temporales del bloque de pavimento 50-1. (b) Transformadas de Fourier del bloque de pavimento 50-1.

La Fig. 7 muestra los diagramas de Lissajous para el caso del bloque de pavimento 50-1 sin presión y con diferentes intensidades de presión. Al comparar estas figuras se puede notar una mayor dispersión de los puntos para el diagrama correspondiente al caso con presión 3 (50-1 P3), de aquí que su entropía de Shannon E_s [2] cambia al igual como en el caso del bloque de concreto. En al Fig. 8 se muestran los resultados experimentales de la entropía de Shannon para los bloques de pavimento analizados en este trabajo.

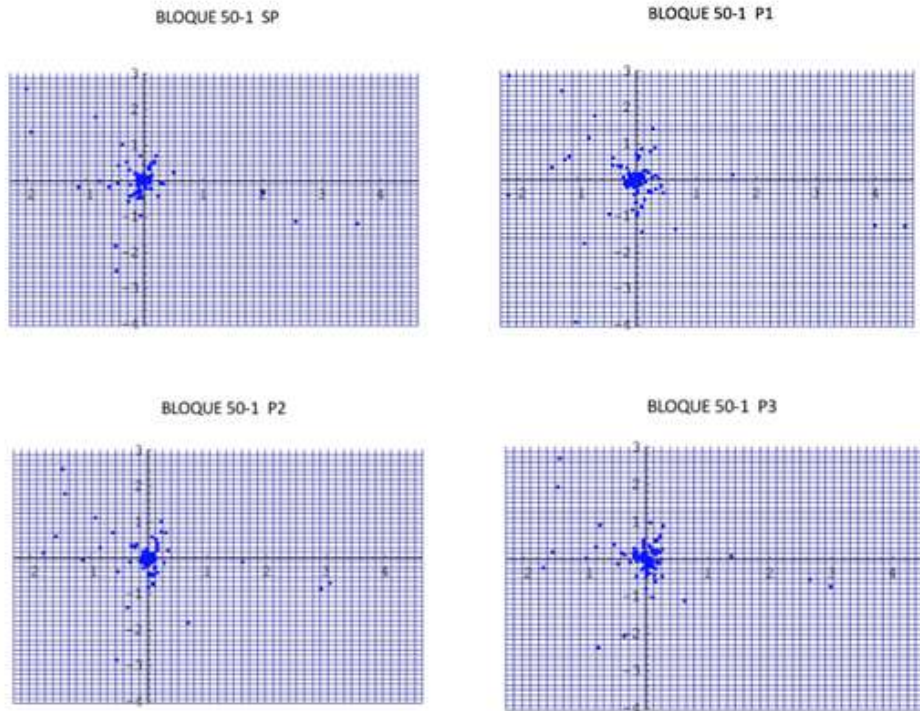


Figura 7: Diagramas de Lissajous formados por las señales acústicas registradas por los sensores S1 y S2. Este caso corresponde al bloque de pavimento 50-1 sin presión (50-1 SP), con presión 1 (50-1 P1), presión 2 (50-1 P2) y presión 3 (50-1 P3).

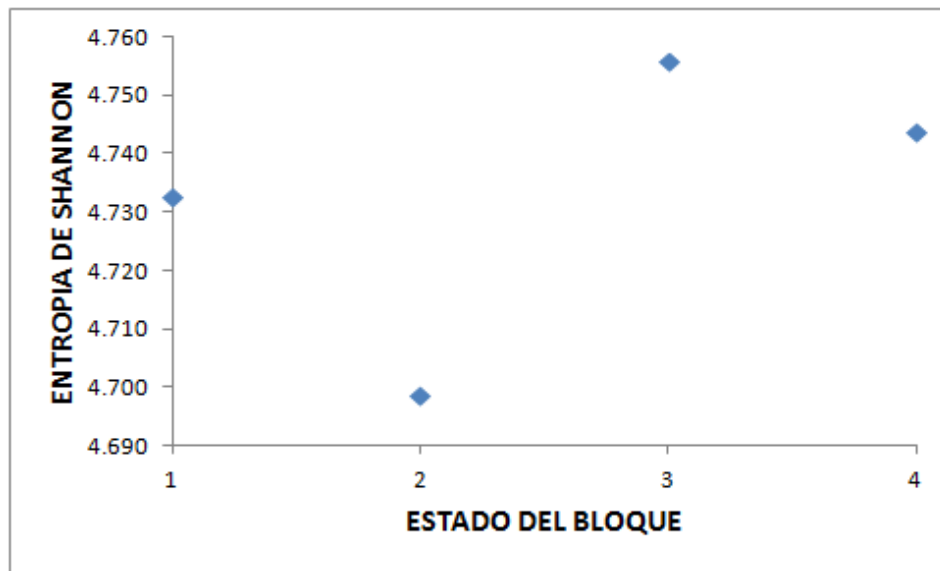


Figura 8: Entropía de Shannon para el bloque de pavimento 50-1 y sujeto a diferentes grados de presión mecánica: 1=SP (sin presión), 2=P1 (presión 1), 3=P2 (presión 2), 4=P3 (presión 3).

CONCLUSIONES

En este trabajo se estudió experimentalmente la rigidez de bloques de concreto y pavimento mediante la técnica de impacto acústico y la cuantificación de la entropía de Shannon definida en el diagrama de Lissajous de las señales acústicas. Los resultados experimentales muestran que el

efecto de la presión sobre los bloques se manifiestan en los espectros de Fourier por corrimientos en la frecuencia de resonancia dominante y por la aparición de frecuencias de resonancia bajas. La entropía de Shannon de los diagramas de Lissajous muestran un incremento en el caso en que los bloques tanto de concreto como de pavimento son sometidos a una presión, lo cual es un indicativo de la inhomogeneidad en la distribución de la masa de los bloques inducido por el cambio de presión. Los resultados obtenidos nos llevan a concluir que la propuesta descrita en este trabajo puede instrumentarse como una técnica alterna para analizar propiedades mecánicas de estructuras usadas en la Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFÍA

1. F. Duprat, et al., "The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit", *J. Agric. Eng. Res.*, Vol. 66, 1997, pp. 251-259.
2. C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379-423, 623-656.
3. G. Arroyo Correa, J. Vega Cabrera, "Efecto de una perturbación magnética local en la estabilidad de dos cadenas caóticas abiertas acopladas", XVI Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia, León, Gto., 2019. Trabajo S3-FMCT09.

SÍNTESIS DE NANOTUBOS DE TiO₂ POR EL MÉTODO DE ANODIZACIÓN ELECTROQUÍMICA

Ma. Guadalupe Garnica Romo¹, Zaira Mora Mora², Héctor Eduardo Martínez Flores³ y Leandro García González⁴

¹Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ²Estudiante de Programa Institucional de Maestría en Ciencias Biológicas, ³ Facultad de Químico Farmacobiología, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ⁴Centro de Micro y Nanotecnología, Universidad Veracruzana.
gromar05@yahoo.com.mx

RESUMEN

El óxido de titanio (TiO₂) nanoestructurado es un material altamente investigado en diversas áreas médicas, ambientales y químicas, gracias a sus excelentes propiedades mecánicas y de biocompatibilidad sus aplicaciones se siguen extendiendo. Para aquellas aplicaciones que dependen del área superficial los nanotubos de óxido de titanio (TiNT's) se han convertido en una de las mejores opciones, siendo la anodización electroquímica el método de síntesis que provee estructuras con mejores propiedades electrocatalíticas al resultar en una matriz de canales paralelos entre sí que facilitan la transferencia de cargas y proveen mayor área superficial que reduce la recombinación de huecos y electrones¹. La composición del electrolito, la diferencia de potencial y el tiempo de anodizado, entre otros factores, tienen un efecto directo en las características finales de los TiNT's sintetizados. En el presente trabajo se probaron tres tratamientos de anodizado electroquímico distintos para la obtención de TiNT's, se utilizó una placa de titanio metálico como sustrato y electrolitos en proporción variante de etilenglicol y agua desionizada en presencia de iones de flúor y ácido clorhídrico (HCl), a diferentes tiempos de anodizado y potencial constante; seguido de un tratamiento térmico. De los sustratos anodizados y recocidos se analizó la morfología y composición por las técnicas de microscopía electrónica de barrido (MEB), espectroscopia de energía dispersiva (EDS) y espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR). Las micrografías obtenidas ilustraron los efectos del tiempo de anodizado, del porcentaje de agua y la presencia de HCl, además de permitir identificar el tratamiento con el cual se consiguió el crecimiento de la morfología deseada (TiNT's) y corroborar el rango nanométrico. En el análisis de EDS y en espectros IR se confirmó la presencia de Ti y O. Las condiciones determinadas para la síntesis de una matriz de nanotubos de TiO₂ paralelos entre sí, perpendiculares al sustrato y con diámetro homogéneo del rango nanométrico consisten en anodizado de una placa de titanio a 30V por 60 minutos en un electrolito de etilenglicol y agua desionizada en proporción 9:1 y NH₄F al 0.5% en peso.

INTRODUCCIÓN

Los nanotubos de óxido de titanio (TiNT's) son estructuras cilíndricas huecas con al menos una de sus dimensiones en el rango nanométrico, en la última década se han vuelto tendencia en una diversidad de áreas de estudio ambientales y clínicas por su biocompatibilidad, gran área superficial, estabilidad térmica, bajo costo, procesos simples de síntesis a baja temperatura, alta resistencia mecánica y propiedades catalíticas y de semiconductor; recientemente han adquirido gran interés en el sector alimentario por su estabilidad y nula toxicidad, además de las características antes mencionadas. [1][2]

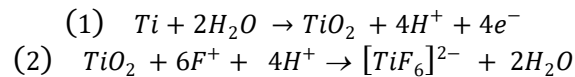
Aunque se han desarrollado exitosamente muchas formas de óxido de titanio nanoestructurado, como nanovarillas, nanopartículas, nanocables, entre otros, los nanotubos son de interés creciente para las aplicaciones tecnológicas debido a su estructura de gran área superficial y a su geometría única que facilita el flujo de cargas, convirtiéndose para las aplicaciones que dependen del área superficial como el mejor candidato. [3]

TiNT's se han crecido a través de dos principales vías: técnica de crecimiento asistida por plantilla/replica y técnica de crecimiento auto-estructurado [4]. La síntesis asistida por plantilla [5], el método de replica [6], método hidrotérmico [7] y sol-gel [8], son ejemplos de técnicas asistidas. Entre los métodos auto-estructurados se encuentran la síntesis química a baja temperatura [9], método hidrotérmico asistido con microondas [10] y anodización [11]. Este último método también conocido

como oxidación anódica, destaca entre los anteriores por su baja temperatura de síntesis, procesamiento relativamente simple, bajo costo y estructuras resultantes altamente ordenadas y orientadas perpendicularmente al sustrato favoreciendo la difusión de iones y aunado a una mayor área superficial incentiva la eficiencia de sus propiedades catalíticas y de semiconductor[3][12].

El método consiste en aplicar una diferencia de potencial (V) en una celda electrolítica generalmente conformada por dos electrodos (ánodo y cátodo), donde el sustrato para el crecimiento de las nanoestructuras se conecta como ánodo (polo positivo) y como cátodo (polo negativo) se usa un conductor inerte. Se utiliza un electrolito ácido u orgánico en presencia de iones F^- . Las condiciones del proceso están ligadas a las características morfológicas, composicionales y estructurales resultantes.

Este método es considerado como un enfoque top-down donde el crecimiento de los nanotubos se rige por la competencia de dos principales reacciones que tienen lugar en el ánodo del sistema: La formación de una capa de óxido (1) y su disolución química (2).



La ventaja principal de este método es la posibilidad de controlar a conveniencia las condiciones de síntesis sin embargo esto proporciona una robusta cantidad de combinaciones posibles con diferentes resultados lo que hace su entendimiento un proceso complejo. Bavykin & Walsh (2010) mencionan que es posible inferir tres etapas principales en el mecanismo de formación a partir del comportamiento de la densidad de corriente en función del tiempo de anodizado (figura 1).

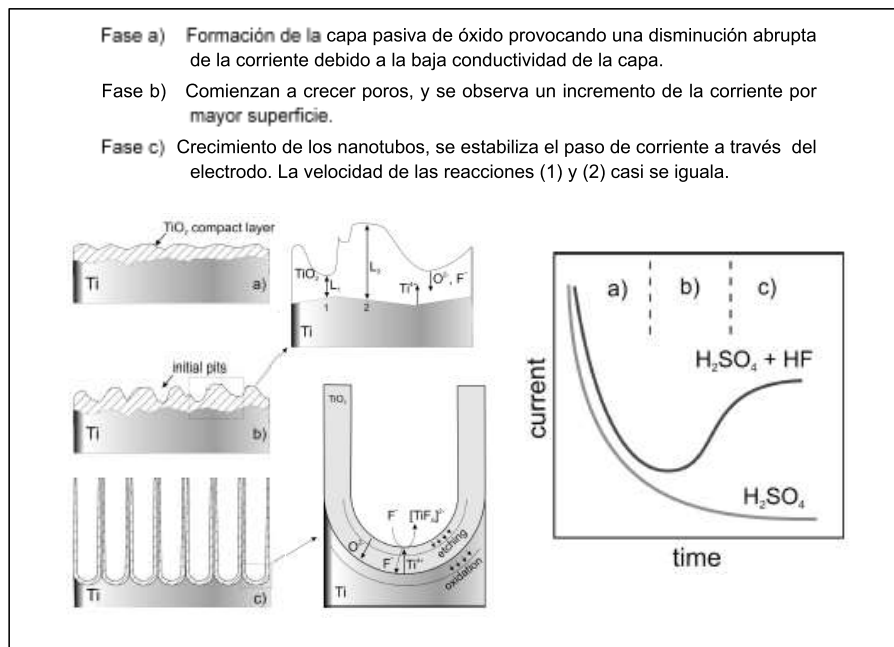


Figura 42. Etapas del mecanismo de formación de TiNT's. Modificada de Bavykin & Walsh (2010).

Puesto que el proceso está mediado directamente por la difusión de iones F^- , las condiciones de síntesis (potencial, pH, temperatura, composición del electrolito, etc) afectarán directamente la cinética de crecimiento.

Longitud de los NT: Aumenta con voltajes altos, mayor tiempo de exposición, pH ácido, electrolitos orgánicos y alta concentración de iones F^- .

- Diámetro de los NT: Directamente ligado al potencial aplicado, disminuye a mayor tiempo de exposición.
- Paredes de los NT: Alto contenido de agua se relaciona con superficies rugosas al igual que aplicación de voltaje ascendente y pH ácido.

Las características esperadas de los nanotubos estarán en función de la aplicación deseada, no ha sido reportado ampliamente para sensado en matrices alimenticias, sin embargo, algunos autores sugieren que en aplicaciones que dependen directamente del área superficial se recomiendan nanotubos de baja dimensión que provean mayores sitios de acción sin embargo dimensiones muy pequeñas podrían comprometer la capacidad de facilitar la transferencia de cargas.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el crecimiento de los nanotubos de Titanio se utilizó como material sustrato una lámina de Titanio metálico (99.7% de pureza, 0.127 mm de espesor) y el procedimiento se realizó en tres etapas: pretratamiento, anodizado y calcinado de la lámina.

El pretratamiento consistió en una limpieza por pulido mecánico con papel abrasivo de carburo de silicio de diferentes numeraciones (#400, #600, #1200, #1500 y #2000) seguido de limpieza por ataque químico en baño ultrasónico con diferentes solventes (acetona, alcohol isopropílico, alcohol metílico y agua desionizada) durante 15 minutos con cada uno, por último, se sumergieron por 10s en HCl 0.1 M y se enjuago con abundante agua desionizada, se dejaron secar a temperatura ambiente y se procedió a la síntesis por anodizado.

En la figura 2, se puede observar el arreglo de la celda electrolítica utilizada, la cual se conforma de un ánodo y un cátodo conectados respectivamente al polo positivo y negativo de una fuente de poder y suspendidos paralelamente en un electrolito orgánico a una distancia aproximada de 2 cm. La lámina sustrato de titanio metálico pretratada (2x1.5cm) fungió como ánodo y como cátodo se utilizó otra lámina del mismo material (4.5x4cm).

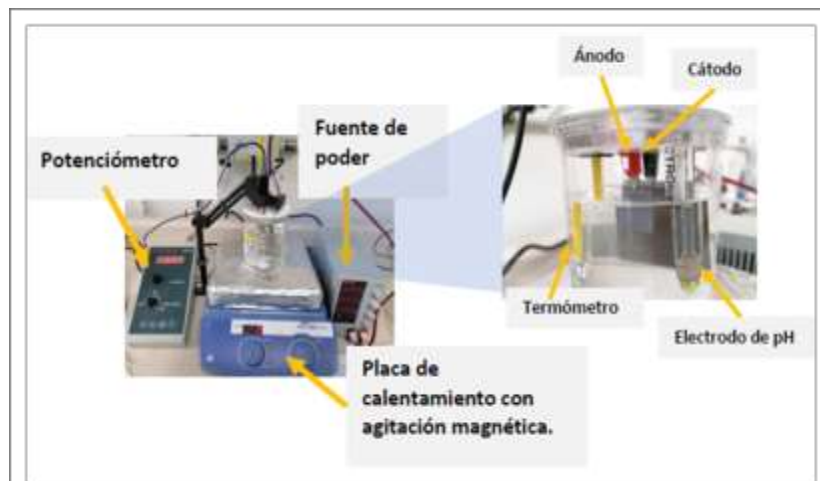


Figura 43 Arreglo experimental de la celda electrolítica utilizada para el proceso de anodización electroquímica en el crecimiento de nanotubos de óxido de titanio.

Se trabajó con tres tratamientos distintos denominados de ahora en adelante como T1, T2 y T3, las condiciones de síntesis consistieron en un potencial constante de 30V durante 60 min (la muestra T2 se detuvo a los 45min), temperatura ambiente y agitación magnética constante en medio electrolítico constituido de etilenglicol, agua desionizada y iones F^- . La variante entre T1 y T3 fue la adición de 0.5%vol de HCl 0.1 M, y la diferencia de T1 con T3 fue la proporción de agua respecto del etilenglicol. Las condiciones se resumen en la tabla 1.

Tabla 13 Condiciones de síntesis.

Tratamiento	Potencial	Temperatura	Tiempo	Electrolito
T1	30V	Ambiente	60min	NH ₄ F al 0.5%<i>m</i> en solución de etilenglicol y agua en proporción 1:1
T2	30V	Ambiente	45min	NH ₄ F al 0.5%<i>m</i> y HCl al 0.5%<i>v</i> en solución de etilenglicol y agua en proporción 1:1
T3	30V	Ambiente	60min	NH ₄ F al 0.5%<i>m</i> en solución de etilenglicol y agua en proporción 9:1

Terminado el anodizado, las láminas sustrato se enjuagaron con abundante agua desionizada y se secaron a temperatura ambiente. Para finalizar con la síntesis, se sometieron a un tratamiento térmico a temperatura de 500°C por 2 horas con rampa de 10°C. Para evaluar los resultados de los tratamientos se realizó un análisis morfológico y composicional utilizando las técnicas de microscopia electrónica de barrido (MEB), espectroscopia de energía dispersiva (EDS, por sus siglas en ingles) y espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier (FTIR, por sus siglas en ingles).

RESULTADOS

Durante el proceso de anodizado se observaron diversos cambios de color en el ánodo, resultando en diferente coloración final debido a los diferentes tiempos de anodizado y al potencial aplicado, lo cual, Zaragoza (2018) menciona que está relacionado con el espesor de la capa de óxido.

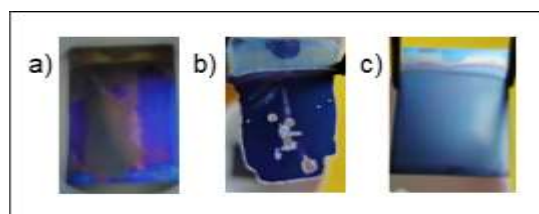


Figura 44 Láminas anodizada y calcinadas a) T1, b) T2 y c) T3.

En la figura 3, se muestran las láminas resultantes de los tres tratamientos, se observa en la muestra T1 una coloración desigual por consiguiente se deduce que la capa de óxido no creció uniforme, en la muestra correspondiente al tratamiento 2 se obtuvo una coloración uniforme de color azul intenso sin embargo es evidente una corrosión excesiva atribuida a una aceleración de la difusión de iones F⁻ provocada por el HCl en conjunto con un alto contenido de agua. Por otro lado la muestras del tratamiento T3 presenta coloración azul uniforme en el área anodizada lo cual es un indicio del crecimiento uniforme de la capa de óxido.

Las micrografías obtenidas del análisis morfológico realizado por MEB (*figura 4*) permitieron comprobar que en los tratamientos T2 y T3 fue en los cuales se obtuvo el crecimiento de nanotubos. En T1, se observa la formación de la capa porosa y apenas comienza el crecimiento longitudinal, sin embargo, la morfología de tubo aun no se aprecia. En T2 se obtuvo el crecimiento de tubos de forma desordenada en distintas direcciones con un diámetro aproximado de 79nm y 19 nm de espesor de pared, mientras que en T3 crecieron nanotubos perpendiculares al sustrato y paralelos entre sí, con diámetro promedio de 93nm y espesor de pared de 19nm.

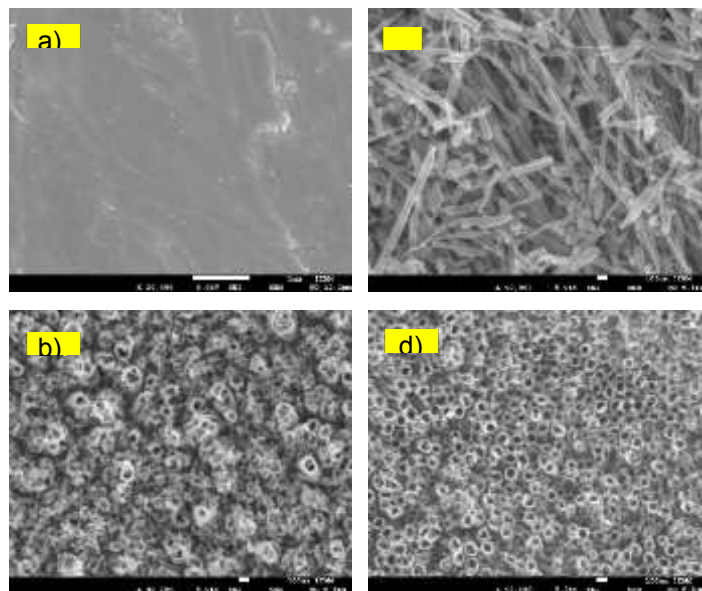


Figura 45 Micrografías (MEB). a) Lámina de Titanio metálico (blanco), b) T1, c) T2 y d) T3.

Las pruebas de energía dispersiva comprueban la presencia de oxígeno en las muestras anodizadas por efecto de la electro-oxidación en comparación con la lámina de Titanio metálico en la que solo está presente el Titanio y una traza de Carbono proveniente de la manipulación de la muestra (figura 5).

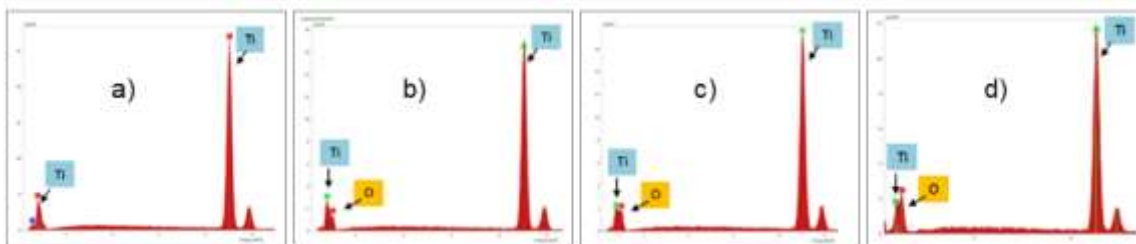


Figura 46 Espectros de energía dispersiva (EDS). a) Lámina de Titanio metálico (blanco), b) T1, c) T2 y d) T3.

En la tabla 2, se presentan los porcentajes atómicos de Oxígeno y Titanio presentes en las muestras. T3 es la muestra con mayor porcentaje de Oxígeno, lo que podría estar relacionado a una capa de óxido de mayor espesor.

Tabla 14 Resultados EDS. %Atómicos.

Elemento	T1	T2	T3
Oxígeno	12.6%	19.8%	31.9%
Titanio	87.4%	80.2%	68.1%

Complementando los resultados composicionales de energía dispersiva (EDS), los espectros FTIR presentados en la figura 6, muestran la presencia de bandas de diferente magnitud en la región de huella dactilar características de los enlaces Ti-O-Ti y Ti-O ($420-750\text{ cm}^{-1}$), lo que indica que el oxígeno presente en las muestras y determinado en las pruebas EDS se encuentran formando enlaces con el Titanio, esto comprueba la formación una capa de TiO_2 . Los picos encontrados en 2300 cm^{-1} son atribuidos al grupo C-O de grupos orgánicos remanentes en la lámina o derivados de la manipulación de la muestra. Además, los picos comprendidos en la región de 1620 a 3394 cm^{-1} corresponden a las vibraciones de los grupos hidroxilo (OH) de las moléculas de agua que pudieron quedar atrapadas en la superficie de la capa de óxido. [15][16]

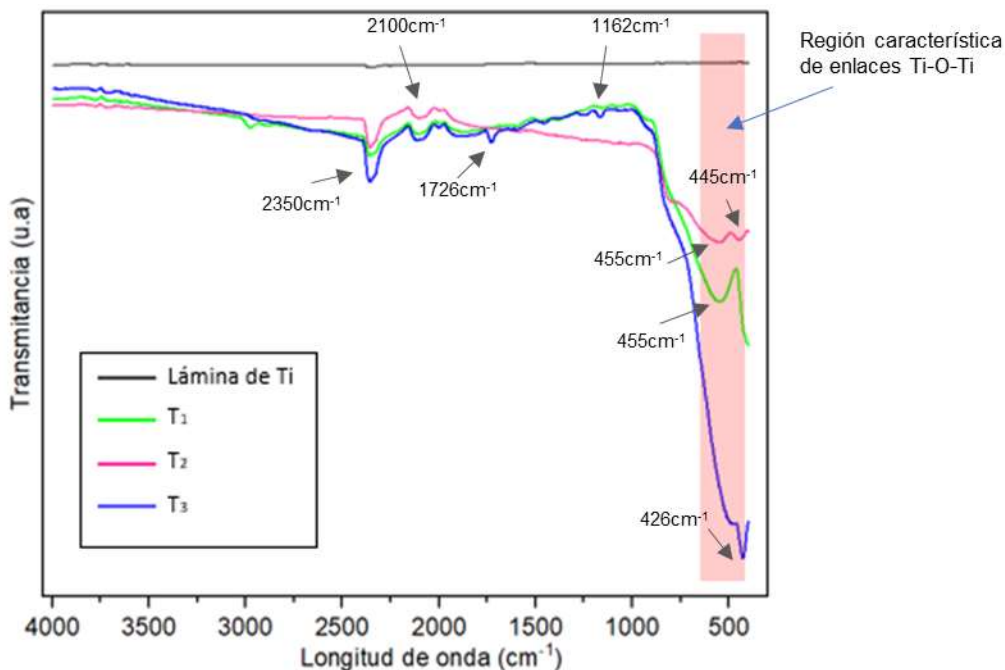


Figura 47 Espectros FTIR.

CONCLUSIONES

Se consiguió la síntesis de nanotubos de Óxido de Titanio por el método de anodización electroquímica en dos de los tratamientos, siendo T3 en el que se obtuvieron nanotubos de pared delgada (promedio de 19nm) y diámetros en el rango de 84-114 nm, ordenados paralelamente entre sí, y perpendiculares al sustrato. El tratamiento con menor contenido de agua es el adecuado para la obtención de NT's con las características requeridas para la aplicación de nanosensores electroanalítico. Derivado de las observaciones en este trabajo y en concordancia con lo reportado en la literatura, se concluye lo siguiente: El contenido y pH del electrolito, potencial aplicado y tiempo de exposición son factores clave en los resultados obtenidos. El potencial está directamente ligado al diámetro de los tubos y a la coloración obtenida, por su parte el tiempo influye principalmente en la longitud. Un pH ácido acelera la tasa de crecimiento lo favorece menores diámetros y espesor de pared en menor tiempo, sin embargo, los tubos pierden soporte y crecen desordenadamente en distintas direcciones. Por su parte un bajo contenido de agua en electrolito orgánico de pH neutro y potencial constante permite un mejor equilibrio entre la formación y disolución de la capa de óxido favoreciendo así, el crecimiento de una matriz de nanotubos altamente ordenados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Manescu, V., Paltanea, G., Popovici, D., & Jiga, G. (2016). Electrical Characterization of TiO₂ Nanotubes Synthesized Through Electrochemical Anodizing Method. American Institute of Physics. doi:10.1063/1.4949714
2. Oliveira, W. F., Arruda, I. R., Silva, G. M., & Machado, G. (2017). Functionalization of titanium dioxide nanotubes with biomolecules for biomedical applications. Materials Science & Engineering C, 81(2017), 597-606. doi:10.1016/j.msec.2017.08.017
3. Wu, J.-W., Chen, C.-H., Lin, C.-J., Kumar, K., Lu, Y.-R., Liou, S., . . . Dong, C.-L. &.-L. (2020). Improved photocatalytic efficacy of TiO₂ open nanotube arrays: A view by XAS. Applied Surface Science, 527(2020), 146844. doi:10.1016/j.apsusc.2020.146844

4. Sekino, T. (2010). Synthesis and Applications of Titanium Oxide Nanotubes. En K. Tsuyoshi, *Inorganic and metallic Nanotubular Materials* (Vol. 117, págs. 17-32). Topics and Applied Physics. doi:10.1007/978-3-642-03622-4_2
5. Endo, R., Siriwardena, H. D., Kondo, A., Yamamoto, C., & Shimomura, M. (2018). Structural and chemical analysis of TiO₂ nanotube surface for dye-sensitized solar cells. *Applied Surface Science*, 439(2018), 954-962. doi:10.1016/j.apsusc.2018.01.124
6. Hoyer, P. (1996). Formation of a Titanium Dioxide Nanotube Array. *Langmuir*, 12(6), 1411-1413. doi:10.1021/la9507803
7. Kmentova, H., Kment, S., Wang, L., Pausova, S., Vaclavu, T., Kuzel, R., . . . Krysa, J. & (2016). Photoelectrochemical and structural properties of TiO₂ nanotubes and nanorods grown on FTO substrate: Comparative study between electrochemical anodization and hydrothermal method used for the nanostructures fabrication. *Catalysis Today*. doi:10.1016/j.cattod.2016.10.022
8. Takahashi, M. (2018). Oxide (TiO₂) Nanotubes Obtained Through Sol-Gel Method. En L. Klein, M. Aparicio, & A. Jitianu (Edits.), *Handbook of Sol-Gel Science and Technology* (Vol. 1). Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-32101-1
9. Kasuga, T., Hiramatu, M., Hoson, A., Sekino, T., & Niihara, K. (1999). Titania Nanotubes Prepared by Chemical Processing. *Advanced Materials*, 11(15), 1307-1311. doi:10.1002/(SICI)1521-4095(199910)
10. Sales, D., Marques, T., Ghosh, A., Gusmao, S., Vasconcelos, T., Luz-Lima, C., . . . Viana, B. (2020). Synthesis of silver-cerium titanate nanotubes and their surface properties and antibacterial applications. *Materials Science & Engineering C*, 115. doi:10.1016/j.msec.2020.111051
11. Bhadra, C., Davidson, D. J., & Raja, D. H. (2020). Fabrication of titanium oxide nanotubes by varying the anodization time. *Materials Today: Proceedings*. doi:10.1016/j.matpr.2020.01.455
12. Esmailnejada, A., Mahmoudib, P., Zamaniana, A., & Mozafaria, M. (2019). Synthesis of titanium oxide nanotubes and their decoration by MnO nanoparticles for biomedical applications. *Ceramics International*, 45(2019), 19275-19282. doi:10.1016/j.ceramint.2019.06.177
13. Bavykin, D., & Walsh, F. C. (2010). Titanate and Titania Nanotubes. *Synthesis, Properties and Applications*. (Vol. 12). RSC Nanoscience & Nanotechnology.
14. Zaragoza, P. I. (2018). Degradación de contaminante emergentes mediante un proceso fotocatalítico empleando nanotubos de TiO₂ (Tesis de maestría). UNAM, México
15. Misriyani, & Kunarti, E.S. (2020). Synthesis and Photoelectrochemical Activity of TiO₂ Nanotube Based Free standing membrane. *Asian Journal of Chemistry*. 32. 2739-2742. doi:10.14223/ajchem.2020.22764
16. Zulfiqar, M., et al. (2021). Development of Photo-Fenton oxidation as green strategy for phenol degradation enhancement via DMF-controlled TiO₂ nanotubes under various oxidizing agents. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 2213-3437. doi:10.1016/j.jece.2020.104933.

FOTOCATALIZADOR LIBRE DE METALES COMPUESTO DE NITRURO DE CARBONO SOPORTADO EN CARBÓN ACTIVADO DE BAGAZO DE AGAVE

H. E., Zilli Tomita¹, J.O., Saucedo Lucero², V.A., Suárez Toriello³ J. A., Arcibar Orozco⁴, ^{1,2,3,4}

Centro de Innovación Aplicada en Tecnología Competitiva. Omega 201, Industrial Delta, 37545. León, Gto. México, ³ CONACYT-CIATEC, Av. Insurgentes Sur 1582, Col. Crédito Constructor Alcaldía Benito Juárez, C.P. 03940, Ciudad de México. Autor de correspondencia: javier.arcibar@gmail.com

RESUMEN

El nitruro de carbono grafitico ($g-C_3N_4$) es un fotocatalizador libre de metales activo bajo luz visible, sin embargo, tiene una actividad fotocatalítica baja ya que posee un área específica baja y sufre de una rápida recombinación. Para mejorar la efectividad y el rendimiento de los fotocatalizadores, se emplean materiales de soporte, como el carbón activado (CA). El CA comercial es un material obtenido de diferentes materias primas, generalmente de precursores costosos y no renovables. En los últimos años se ha empleado residuos agrícolas como fuente alternativa renovable y económica para la síntesis de CA; representando una valorización para subproductos que poseen poco o ningún valor económico. En este proyecto se empleó bagazo de agave como precursor de carbón activado, un subproducto de la industria tequilera para emplearlo como soporte del $g-C_3N_4$ y con ello contribuir al desarrollo de fotocatalizadores libres de metales. Para preparar los compuestos de $g-C_3N_4$ soportado en CA a partir de bagazo de agave se realizó una activación química con $ZnCl_2$ y se carbonizó en una atmósfera inerte. Una vez obtenido el material carbonoso, se colocó en contacto con una solución de dicianidamida y se secó. Después, se carbonizó a una temperatura de $550^\circ C$ por 4h en la mufla y se lavó para eliminar impurezas. En los resultados obtenidos por la caracterización por FT-IR de los carbones obtenidos se observó que casi todas las señales de los grupos funcionales presentes en el bagazo de agave permanecen en los carbones activados. En cuanto a la interacción entre $g-C_3N_4$ y carbón activado se observaron bandas características del $g-C_3N_4$ en los espectros de FT-IR de los compuestos sintetizados. Por lo que estos resultados demuestran la síntesis de un compuesto con propiedades fotocatalíticas y de adsorción a base de $g-C_3N_4$ soportado sobre carbón activado obtenido de bagazo de agave que puede contribuir con el desarrollo de materiales fotocatalíticos verdes y ser una alternativa para la gestión de los desechos de la industria tequilera.

INTRODUCCIÓN

Los principios de la química verde promueven el desarrollo de prácticas y procesos sustentables donde se reduzca o se elimine la generación de sustancias peligrosas, especialmente hacer una química libre de metales pesados¹. El nitruro de carbono grafitico ($g-C_3N_4$) es un fotocatalizador libre de metales activo bajo luz visible, sin embargo, posee una área superficial baja y sufre de una rápida recombinación de pares electrones lo que resulta en una baja actividad fotocatalítica². Para mejorar la efectividad y el rendimiento de los fotocatalizadores se emplean materiales de soporte, como el carbón activado, ya que se ha observado efectos sinérgicos entre la matriz y la fase activa³. Los residuos lignocelulósicos son considerados una fuente de energía alternativa y renovable para la producción de carbón activado⁴. El bagazo de agave es un residuo sólido lignocelulósico obtenido de la trituración y extracción del jugo de las piñas del agave tequilana Weber var. azul en la producción de tequila⁵. La industria Tequilera representa una importante actividad económica para los mexicanos, en el 2020 la producción de tequila fue de 374 millones de litros⁶, siendo en promedio 4-6 kg de agave por litro de tequila en donde aproximadamente el 40% del peso húmedo total representa el bagazo de agave⁷. El bagazo de agave representa un problema ambiental ya que la mayor parte de estos residuos se queman, generando grandes cantidades de partículas que se liberan al medio ambiente⁵. Por lo que este proyecto se ha examinado la probabilidad de emplear como precursor de carbón activado para obtener un soporte para el fotocatalizador $g-C_3N_4$.

TEORÍA

La fotocatalisis se define como un cambio en la velocidad de la reacción química o su generación bajo la acción de la luz en presencia de fotocatalizadores que suelen ser materiales semiconductores⁸. El proceso fotocatalítico inicia con la absorción de fotones con energía superior a la banda prohibida (E_g) en la superficie del semiconductor, generando electrones excitados (e^-) de la banda de valencia (VB) que son promovidos a la banda de conducción (CB) con la creación simultánea de huecos (h_{VB}^+) en la VB. Una vez que el fotocatalizador está excitado, el destino de las cargas fotogeneradas es recombinarse o migrar a la superficie e interactuar con las moléculas adsorbidas en el fotocatalizador para producir especies reactivas, inhibiendo la recombinación de las cargas fotogeneradas⁹ (Figura 1).

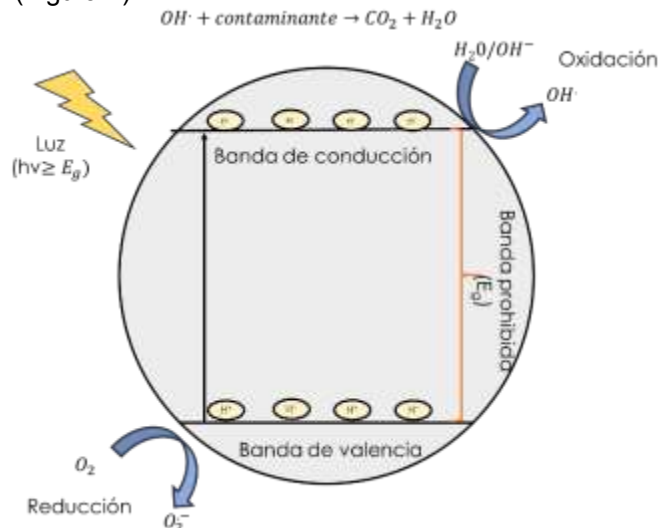


Figura 48 Diagrama del mecanismo de la fotocatalisis. Elaboración propia

El g-C₃N₄ es un fotocatalizador libre de metales activo bajo luz visible con una banda prohibida de ~2.7 eV lo que le permite absorber en la región de 400-450 nm². Posee una estructura en capas como el grafito unidas por fuerzas de van der Waals y están compuestas por dos unidades de estructura básica: s-triazina y tri-s-triazina (Figura 2)². Se puede preparar mediante una policondensación térmica de precursores ricos en nitrógeno, que a diferencia de los fotocatalizadores a base de metales, son de bajo costo, y gracias a su estructura y su alto grado de condensación le dan gran estabilidad térmica (600°C) y química. Sin embargo, posee un área específica baja y sufre de una rápida recombinación de pares de electrones resultando en una baja actividad fotocatalítica².

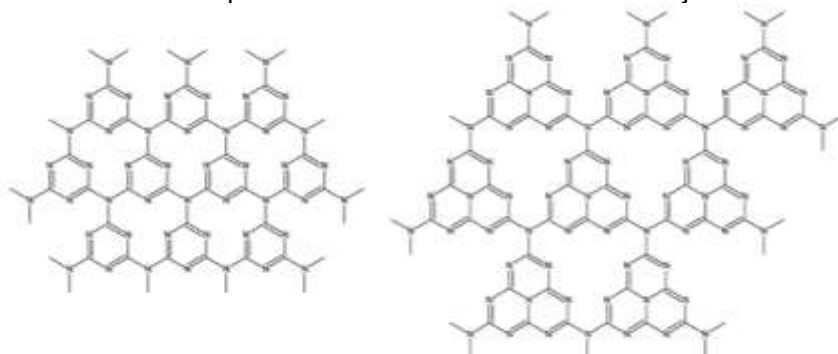


Figura 49. Diagrama de los patrones de conexión basados en s-triazina (izquierda) y tri-s-triazina (derecha)².

Se han empleado soportes para inmovilizar fotocatalizadores para aumentar la capacidad fotocatalítica al incrementar el área específica³. El carbón activado se ha utilizado como soporte de fotocatalizadores debido a sus propiedades de superficie, tales como un área específica grande

(>400 m²/g), inercia, estabilidad en medios ácidos y básicos y química, etc¹⁰. Se ha demostrado que los grupos del CA inducen algunos efectos beneficiosos sobre el rendimiento fotocatalítico de óxidos metálicos semiconductores al crear sinergias con la fase activa. Estos efectos se atribuyen a una mejora de las propiedades de adsorción ya que se crea una interfaz de contacto común entre ambos sólidos y se da la transferencia del contaminante del CA al fotocatalizador ¹¹. Además, de una disminución de la tanto de la energía de banda prohibida de los fotocatalizadores compuestos como la de la recombinación de pares de electrones ¹¹.

El proceso de obtención de carbón activado se divide en principalmente en pretratamiento, pirólisis y activación, y consiste básicamente formar una estructura altamente porosa ¹⁰. Durante el proceso de activación se elimina el carbono desorganizado, se mejora la distribución de poros y se pueden agrandar los poros ya desarrollados ¹⁰. Hay dos tipos de activación, la primera es la activación física consiste en oxidar materias primas a altas temperaturas (800 y 1100°C) en presencia de agentes oxidantes como CO₂, vapor o una combinación de vapor y N₂ ¹⁰. El segundo tipo de activación es la química que se basa en la deshidratación de la materia prima mediante el uso de sustancias químicas realizándose la carbonización y activación al mismo tiempo a temperaturas menores que la activación física (entre 400-600 °C). La activación química favorece el desarrollo de una estructura porosa, un mayor rendimiento y la generación de grupos funcionales en la superficie del carbón activado ¹⁰. Los carbones activados se pueden preparar a partir de una variedad de materias primas tales como carbón, madera, cáscara de coco y residuos agrícolas. En la investigación realizada por Nieto et al (2011) ⁵ obtuvieron carbón activado a partir de bagazo de agave empleando ZnCl₂ como agente activante y produjeron carbones con área específica en un rango de 2 a 2109 m²/g. Encontraron que este residuo es un buen precursor de carbones activados donde se obtiene una estructura altamente microporosa siendo ideal para adsorber ya que presenta canales que pueden servir al adsorbato para llegar a los sitios activos más rápido.

PARTE EXPERIMENTAL

Se sintetizó g-C₃N₄ a partir de diciandiamida, en donde se colocó 5 g en un crisol con tapa y se calentó en una mufla a 550°C por 4 h¹². La preparación de los compuestos de g-C₃N₄ soportados en carbón activado de bagazo de agave se realizó en dos etapas. La primera etapa fue la obtención de carbón activado, la cual se basó en la metodología realizada por Nieto et al (2011) ⁵ en donde se va impregnar el bagazo de agave con cloruro de zinc a diferentes relaciones y se va a pirolizar a diferentes temperaturas de acuerdo a las condiciones indicadas en la Tabla 1 a una rampa de calentamiento de 10 °C/min y un flujo de N₂ de 100 mL/min.

Tabla 15.- Condiciones de activación del bagazo de Agave⁵.

Nombre	Relación ZnCl ₂ /Bagazo	Temp. (°C)	Tiempo activación (min)
C-BA-A	3	450	40
C-BA-M	0.8	400	40
C-BA-B	0.4	300	40

Se realizó la desmineralización de los carbones activados obtenidos con ácido clorhídrico al 1% y se lavaron con agua desionizada hasta pH neutro y se secaron a 80°C. Se obtuvo el rendimiento de producción carbón activado.

Una vez obtenido el material carbonoso, se colocaron en contacto con una solución de diciandiamida en una relación de 15 % de g-C₃N₄/CA considerando un rendimiento del 30% de conversión de diciandiamida a g-C₃N₄ y se secaron en el horno a 80°C. Se llevaron a una temperatura de 550°C por 4 horas en la mufla y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Los materiales obtenidos se lavaron y se secaron en el horno a 100°C. Se rotularon los materiales como C-A-g-C₃N₄, C-M-g-C₃N₄ y C-B-g-C₃N₄ para el carbón de porosidad alta, media y baja respectivamente. Se obtuvieron los rendimientos y se caracterizaron por XRD y FTIR.

RESULTADOS

Se obtuvo g-C₃N₄, carbón activado y compuestos formados con g-C₃N₄/CA. En la Tabla 2, se muestran los rendimientos obtenidos para cada uno de los materiales.

Tabla 16.- Rendimientos de los materiales sintetizados

Material	Rendimiento promedio
g-C ₃ N ₄	30.35%
C-BA-A	52.49%
C-BA-M	53.76%
C-BA-B	51.46%
C-A-g-C ₃ N ₄	55.43%
C-M-g-C ₃ N ₄	58.28%
C-B-g-C ₃ N ₄	39.95%

En la Figura 3 se observa el bagazo de agave y los carbones activados obtenidos donde se aprecia la estructura de fibras del bagazo de agave, la cual se va perdiendo al aumentar la relación de impregnación y la temperatura.



Figura 50 Fotografía del bagazo de agave (A), carbón de bagazo de agave porosidad alta (B), media (C), baja (D)

Se realizó XRD a los materiales carbonosos (Figura 4) los cuales presentan un pico ancho en $2\theta=24.39$ para C-BA-A, $2\theta=21.41$ para C-BA-M y $2\theta=20.653$ para C-BA-B que es característicos de las estructuras amorfas de los carbones activados y correspondientes al plano (002)¹³. Además de estos picos, se observan unos picos para el C-BA-B que podrían estar relacionados con pequeñas cantidades de sales inorgánicas¹³.

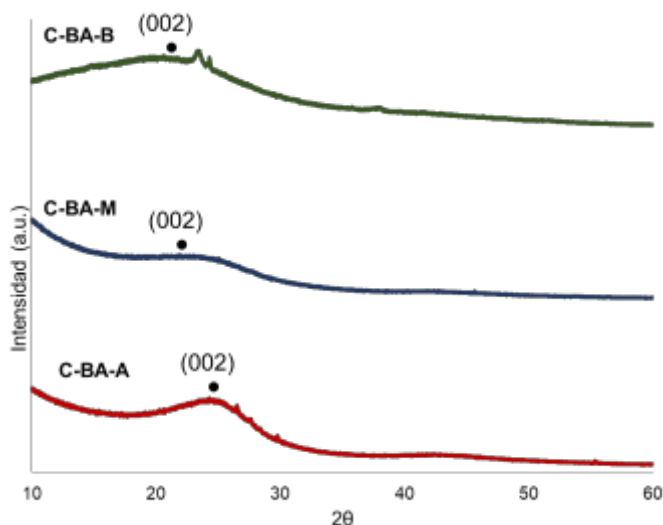


Figura 51 XRD de los carbonos activados

En los resultados del análisis FT-IR para los carbonos activados a partir de bagazo de agave (Figura 5) se puede observar algunas señales del bagazo de agave presentes en los carbonos activados. Se aprecia una diferencia entre el precursor y los carbonos activados en la disminución de la banda entre 3200 a 3600 cm^{-1} que es correspondiente al grupo funcional hidroxilo, lo que sugiere la eliminación del grupos OH durante el proceso de activación⁵. La banda a 2981 cm^{-1} que aparece para el bagazo de agave se atribuyen al estiramiento CH y $-\text{CH}_2-$ de grupos alifáticos, no obstante, en los carbonos activados se observa una disminución de esta banda. Las bandas que aparecen a 1710-1680 cm^{-1} se les atribuye a grupos carbonilo ($\text{C} = \text{O}$)⁵.

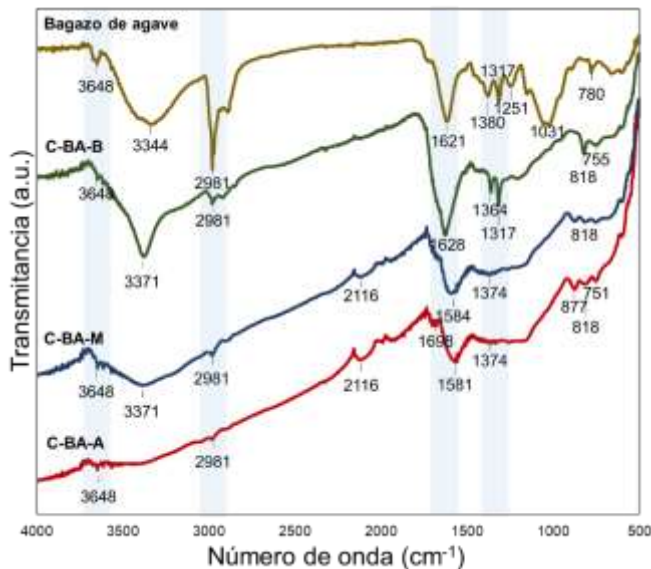


Figura 52.- Espectros FT-IR del bagazo de agave y de los carbonos activados

El $\text{g-C}_3\text{N}_4$ sintetizado a partir de diciandiamida presentó una coloración amarillenta. Se empleó XRD para identificar las fases cristalinas de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ (Figura 6), en donde se muestran picos de difracción a $2\theta = 27.37$ y 13.2 lo que están relacionados con los planos cristalinos (002) relacionados con el empaquetamiento estructural en el plano de las unidades de tri-s-triazina y (100) que están relacionado con el apilamiento de las capas de anillos aromáticos del $\text{g-C}_3\text{N}_4$ respectivamente¹⁴. En el XRD de los materiales compuestos de $\text{g-C}_3\text{N}_4$ y el carbón activado se observa para los material

C-B-g-C₃N₄ y C-M-g-C₃N₄ la aparición del pico en $2\theta=27.44$ y 27.62 respectivamente, correspondiente al plano (002) g-C₃N₄. El pico característico a 13.2° desapareció en el g-C₃N₄/CA, que se le atribuyó principalmente al cambio de espaciado de capas en el plano ¹⁴.

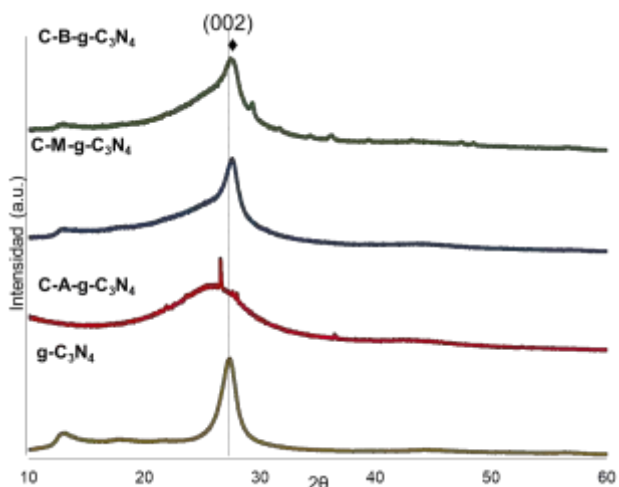


Figura 53 XRD de g-C₃N₄ y de g-C₃N₄ soportado en CA

También, se realizó un FT-IR (Figura 5) y se observaron bandas características de g-C₃N₄, en donde las bandas en el rango $3000-3500\text{ cm}^{-1}$ son atribuidas a las vibraciones de N-H de los grupos amino del g-C₃N₄. Las bandas en $1200-1700\text{ cm}^{-1}$ son señales características de la presencia de tri- s triazina. Las bandas en 804 y 888 cm^{-1} están relacionadas con las unidades tri- s triazina y la formación de N-H, respectivamente¹⁴. Para investigar la interacción entre g-C₃N₄ y el carbón activado se realizó un FT-IR de los materiales preparados. Se puede observar que se mantiene una estructura similar al carbón activado y presentan una banda característica correspondiente g-C₃N₄ entre $1230-1196\text{ cm}^{-1}$, que son atribuidas a heterociclos CN ¹⁵.

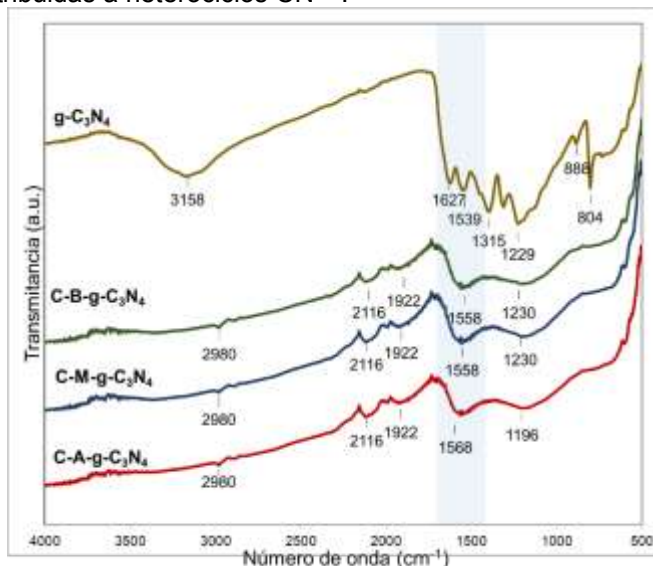


Figura 54 Espectro FT-IR de g-C₃N₄ y de g-C₃N₄ soportado en CA

CONCLUSIONES

Se logró sintetizar el fotocatalizador g-C₃N₄ a partir de dicianidamida, confirmando su obtención mediante las técnicas de caracterización XRD y FT-IR. Además, se consiguió soportar el fotocatalizador g-C₃N₄ en el carbón activado de bagazo de agave, en donde los resultados por XRD

y FT-IR confirmaron la síntesis de un compuesto formado de g-C₃N₄ y carbón activado. Este material puede contribuir con el desarrollo de materiales fotocatalíticos verdes y ser una alternativa para la gestión de los residuos de la industria tequilera.

BIBLIOGRAFÍA

1. Anastas, P.T.y Warner, J.C. Principles of green chemistry. Green Chem Theory Pract. 1998, pp 29-56.
2. Thomas, A.Fischer, A.Goettmann, F.Antonietti, M.Müller, J.O.Schlögl, R.y Carlsson, J.M. Graphitic carbon nitride materials: variation of structure and morphology and their use as metal-free catalysts. J Mater Chem. 2008, pp 4893-908.
3. Šuligoj, A.Štangar, U.Ristić, A.Mazaj, M.Verhovšek, D.y Tušar, N. TiO₂-SiO₂ films from organic-free colloidal TiO₂ anatase nanoparticles as photocatalyst for removal of volatile organic compounds from indoor air. Appl Catal B Environ. 2016, pp 119-31.
4. Sulyman, M.Namiesnik, J.y Gierak, A. Low-cost Adsorbents Derived from Agricultural By-products/Wastes for Enhancing Contaminant Uptakes from Wastewater: A Review. Polish J Environ Stud. 2017.
5. Nieto, C.y Rangel, R. Production of activated carbon from organic by-products from the alcoholic beverage industry: Surface area and hardness optimization by using the response surface methodology. Ind Crops Prod. 2011, pp 1528-37.
6. CRT. Informe Estadístico 2020. Consejo Regulador del Tequila. Jalisco, México. 2020.
7. Macías, R.González, E.Covarrubias, G.Natera, F.López, P.López, M.y Pérez, E. Caracterización física y química de sustratos agrícolas a partir de bagazo de agave tequilero. Interciencia. 2010, pp 515-20.
8. Jasso, A.B. Synthesis, characterization and photocatalytic performance of zinc oxide structured nanocomposites for the treatment of endocrine disrupting compounds in water 2014.
9. Demeestere, K.Dewulf, J.y Van Langenhove, H. Heterogeneous photocatalysis as an advanced oxidation process for the abatement of chlorinated, monocyclic aromatic and sulfurous volatile organic compounds in air: state of the art. Crit Rev Environ Sci Technol. 2007, pp 489-538.
10. Hassan, M.F.Sabri, M.A.Fazal, H.Hafeez, A.Shezad, N.y Hussain, M. Recent trends in activated carbon fibers production from various precursors and applications—A comparative review. J Anal Appl Pyrolysis. 2020, pp 104715.
11. García, A.y Matos, J. Photocatalytic activity of TiO₂ on activated carbon under visible light in the photodegradation of phenol. Open Mater Sci J. 2010.
12. Li, H.Sun, B.Sui, L.Qian, D.y Chen, M. Preparation of water-dispersible porous gC₃N₄ with improved photocatalytic activity by chemical oxidation. Phys Chem Chem Phys. 2015, pp 3309-15.
13. Nieto, C. Production of activated carbon from agave salmiana bagasse and its modification to remove arsenic from water 2010.
14. Gu, L.Dong, G.Yu, H.Qiao, X.Zhang, K.Lu, X.y Wen, H. Graphitic carbon nitride--doped sewage sludge as a novel material for photodegradation of Eriochrome Black T. Environ Sci & Pollut Res. 2020.
15. Shi, J.Chen, T.Guo, C.Liu, Z.Feng, S.Li, Y.y Hu, J. The bifunctional composites of AC restrain the stack of g-C₃N₄ with the excellent adsorption-photocatalytic performance for the removal of RhB. Colloids Surfaces A Physicochem Eng Asp. 2019, pp 123701.

SISTEMA DE RECOMPENSAS LABORALES EN TIENDAS DE ABARROTES EN EMPRESAS FAMILIARES EN IRAPUATO, GTO.

Paulina Valeria Corona Perez, Alfredo Puerta Zaragoza, Miguel Anguiano Sanchez

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

lis17110179@irapuato.tecnm.mx; lis17110675@irapuato.tecnm.mx; miguel.as@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

La implementación de sistemas de incentivos permite al empleado tener acceso a diferentes servicios, pero existen empresas que no son conscientes del valor que tienen dichos sistemas. Esto se da sobre todo en lugares más pequeños que presentan una menor cantidad de integrantes y falta de formalidad, por ejemplo, empresas familiares más específicamente las tiendas de abarrotes, por lo que se propone el siguiente objetivo: verificar la viabilidad de aplicar un sistema de recompensas en tiendas de abarrotes que son empresas familiares en Irapuato, Gto.

Los sujetos de estudio fueron los dueños, empleados y/o integrantes familiares quienes laboran en las tiendas de abarrotes con una muestra de tipo no probabilístico, de sujeto tipo, el tipo de estudio se definió cuantitativo, descriptivo, transversal descriptivo y observacional. El instrumento utilizado fue una encuesta para empleados y otra para el patrón diseñadas expresamente en relación con los sistemas de recompensas.

Las encuestas se aplicaron de manera digital con la ayuda de la plataforma Google Forms, se concentró la información y se describieron los resultados en frecuencias y porcentajes, se trianguló la información de la encuesta de empleados con la del jefe atendiendo al apartado correspondiente. Se identificó que para la mayoría de los jefes les es importante un sistema de recompensas otorgando así más recompensas no económicas que económicas sin embargo el 66.7% de los empleados menciona que no han recibido ningún tipo de incentivo aun así el 100% de los jefes y una parte de los empleados están dispuestos a desarrollar un sistema de recompensas en las tiendas de abarrotes.

De acuerdo con lo expuesto, se establece que no se cuentan con los elementos de viabilidad para aplicar un sistema de recompensas en tiendas de abarrotes que son empresas familiares.

Palabras clave: viabilidad, sistemas de recompensas, tiendas de abarrotes.

INTRODUCCIÓN

La presente investigación se refiere al tema de los sistemas de recompensas laborales, que se puede definir como el premio o reconocimiento de los servicios de un empleado competente. El sistema salarial o de compensaciones es el conjunto de políticas, técnicas y objetivos de compensación traducidos en las retribuciones financieras, prestaciones o beneficios tangibles que se dan a los empleados como parte de la relación laboral.

Las características principales de este tipo de sistemas es que está formado principalmente por dos grandes bloques, uno relacionado con los aspectos monetarios y el otro por los aspectos no monetarios. En primer lugar, las compensaciones de tipo monetario son los sueldos, los salarios, los incentivos, las bonificaciones, las comisiones, así como los pagos indirectos, también llamados beneficios o prestaciones en especie que ofrecen las empresas a sus trabajadores, es decir, todo ingreso que reciba un trabajador a cambio del servicio prestado que realiza

Para analizar esta problemática es necesario mencionar que el crecimiento exige mayor complejidad en los recursos para ejecutar las operaciones, provoca el aumento del número de personas y genera la necesidad de intensificar la aplicación de conocimientos, habilidades y destrezas indispensables para mantener la competitividad. Las organizaciones buscan mejorar el desempeño laboral de sus empleados con el fin de aumentar la productividad y por lo tanto obtener beneficios que sean satisfactorios para ambas partes. Por esta razón se han implementado sistemas de incentivos que permiten al empleado tener acceso a diferentes servicios. Uno de los principales problemas en la empresa familiar está relacionado con los procesos de control y de gestión que recaen principalmente en el consejo de administración familiar-empresarial al momento de tomar decisiones.

Los mejores sistemas corresponden a grandes empresas donde siempre es posible utilizarlos como fuente de inspiración y adaptarlos para empresas más pequeñas ya que éstas no cuentan con un plan o programa de recompensas laborales en donde planifiquen cuáles son los incentivos idóneos según la empresa y el tipo de empleados.

La investigación tipo cuantitativa se realizó con dos encuestas una para a los jefes y otra para los empleados de 7 y 12 reactivos respectivamente en 3 tiendas de abarrotes. Este tipo de muestra de tipo no probabilístico fue el que se empleó en la metodología para el estudio y servirá para verificar cual es la viabilidad de aplicar un sistema de recompensas en tiendas de abarrotes que son empresas familiares en Irapuato, Gto y así saber cuál es el apropiado para esa organización específica, teniendo en cuenta la misión, la visión, el plan estratégico y el personal en cuanto a sus necesidades y llene las expectativas y necesidades motivacionales de los trabajadores para que puedan ver resultados favorables.

TEORÍA

Sistemas de recompensas.

Según Morales y Velandia (1999) el sistema salarial o de compensaciones es el conjunto de políticas, técnicas y objetivos de compensación traducidos en las retribuciones financieras, prestaciones o beneficios tangibles que se dan a los empleados como parte de la relación laboral. Sin embargo, Chiavenato en su libro "Talento Humano" define el sistema de compensaciones como la remuneración producto del salario directo más el salario indirecto, que representa todo lo que el empleado recibe como fruto del trabajo que realiza en la organización.

La remuneración y los incentivos contribuyen a la implantación de las estrategias porque dan forma a la conducta de las personas y del grupo. Los planes de recompensas, bien diseñados, son congruentes con los objetivos y la estructura de la organización. Motivan a los empleados para que dirijan su desempeño hacia las metas de la organización. El sistema de recompensas tiene que ser compatible con el carácter arriesgado de la estrategia. (Finch, 1997).

Las recompensas organizacionales, tales como pagos, promociones y otros beneficios, son poderosos incentivos para mejorar la satisfacción del empleado y su desempeño. Por ello, los expertos en Desarrollo Organizacional se preocupan cada vez más por atender el diseño e implantación de dichos sistemas.

Según Chiavenato (2002), siempre que se crea un sistema de recompensas en la organización se debe tener en cuenta una constante retroalimentación que contribuya al esfuerzo positivo del comportamiento, para incrementar el desempeño excelente, tampoco se puede olvidar la relación de los incentivos o recompensas con los resultados establecidos o esperados.

De esta misma manera, como dice Chiavenato (2002), todo sistema de recompensas debe tener en cuenta el concepto de esfuerzo positivo, regulado por dos principios básicos, en el primero que se refiere a que las personas desempeñan sus actividades para obtener mayores recompensas o beneficios y el segundo que habla sobre las recompensas obtenidas y cómo actúan de refuerzo para mejorar cada vez más el desempeño.

Componentes de los sistemas de recompensas.

Un sistema de compensaciones está formado principalmente por dos grandes bloques, uno relacionado con los aspectos monetarios y el otro por los aspectos no monetarios. En primer lugar, las compensaciones de tipo monetario son los sueldos, los salarios, los incentivos, las bonificaciones, las comisiones, así como los pagos indirectos, también llamados beneficios o prestaciones en especie que ofrecen las empresas a sus trabajadores, es decir, todo ingreso que reciba un trabajador a cambio del servicio prestado que realiza, tal como lo mencionan Gómez-Mejía, Balkin & Cardy (2008), Chiavenato (2007), Bohlander & Snell (2008), Mondy (2010), Buetow (2008), Nisar (2006), Carrasco & Sánchez (2007).

En segundo lugar, las compensaciones no monetarias son aquellas que hacen referencia a cualquier tipo de recompensa, premio, reconocimiento o gratificación que no sea monetario, y está relacionado principalmente con el puesto de trabajo, con los aspectos de ambiente y condiciones de trabajo (Udechuwku, 2009; Madero, 2009a; Madero, 2009b; Sachau, 2007; Udechukwu, 2007; Ruthankoon & Olu, 2003).

Encontramos también una serie de actividades que se realizan en las empresas y que no se reconocen como compensaciones no monetarias, pero que de alguna manera son proyectos que están enfocados a mejorar la calidad de vida del trabajador (Madero, 2009a; Madero, 2009b), así como a favorecer las condiciones de trabajo, el trato y las relaciones interpersonales, tal como lo indican Abbott & DeCieri (2008), Vanhala & Tuomi (2006), Gómez-Mejía, Larraza & Makri (2003) y Lawler (2003).

Relación entre empleo y recompensa.

El Centro Europeo de Postgrado menciona lo siguiente: En una relación laboral, el empresario y el empleado establecen un acuerdo mediante el cual, el trabajador se compromete a realizar una serie de funciones y tareas a cambio de una recompensa.

Dicha recompensa por la prestación profesional de sus servicios puede ser, principalmente, de dos tipos:

- Extrínsecas o monetarias: incluyen las percepciones económicas en dinero y todos aquellos bienes susceptibles de valoración económica (denominados también retribución en especie), como, por ejemplo: los tickets comida.
- Intrínsecas o no monetarias: hacen referencia a los beneficios que obtiene el trabajador como consecuencia del trabajo desarrollado y que no son susceptibles de valoración económica. Tal es el caso de la satisfacción personal por el trabajo bien hecho o el estatus social.

Ambos tipos de recompensas se encuentran relacionadas e influyen sobre la motivación y el comportamiento de los individuos en la organización, por lo que son factores a tener en cuenta en el diseño de la estrategia de retribución de la empresa.

Efectos de las recompensas en los individuos y las organizaciones.

Desde una perspectiva individual, relacionada con la calidad de vida en el trabajo, las recompensas deben de ser suficientes para satisfacer las necesidades del personal. De no ser así, los empleados no estarán contentos ni satisfechos en la organización, ya que tienden a comparar los sistemas de recompensas con los de otras empresas.

Asimismo, quieren que las recompensas sean otorgadas de manera equitativa, por lo cual comparan sus recompensas con las recibidas por otros miembros de la organización. Por ello es importante, que los sistemas de recompensas sean diseñados de acuerdo con las necesidades de los individuos. Por ejemplo, los empleados en jóvenes apreciarán más dentro de su paquete de sistemas de recompensas la inclusión de un seguro de vida que aquellos trabajadores ya mayores. (Guizar, 2004).

Generalmente, los sistemas de recompensas mejoran cuatro aspectos de la eficacia organizacional:

1. Motivan al personal a unirse a la organización.
2. Influyen sobre los trabajadores para que acudan a su trabajo.
3. Los motivan para actuar de manera eficaz.
4. Refuerzan la estructura de la organización para especificar la posición de sus diferentes miembros.

El pago como herramienta de los sistemas de recompensas

Se le considera como una herramienta para mejorar la satisfacción del empleado y su desarrollo, a partir de lo cual se han desarrollado novedosos esquemas de pago, a saber:

1. Planes de pago basados en las habilidades.
2. Sistemas de pago para toda la fuerza laboral.
3. Incremento de salario para todos.
4. Sistemas de pago basados en el desempeño.
5. Participación en las ganancias.

Reconocimientos

Rafael Guizar Montufar (2004) señala los siguientes tipos de reconocimientos:

- a. Reconocimientos sin costo:

Felicitar al empleado en el momento oportuno, llamarlo a la oficina para darle las gracias, manifestarle nuestra satisfacción por su desempeño y los resultados logrados.

- b. Recompensas de bajo costo:

Una pequeña inversión de dinero permite aumentar notablemente la cantidad de estímulos. Por ejemplo: invitar a cenar a los empleados, escribir a mano las notas de agradecimiento.

c. Recompensas sociales:

El reconocimiento público agrega valor a la recompensa. Así se podría destacar los éxitos; expresar los reconocimientos y otorgar los premios en forma abierta y pública.

d. Comunicación:

Los empleados le dan gran importancia a obtener información sobre su trabajo, sobre su desempeño y sobre el curso de la empresa. Una forma muy utilizada es la de realizar reuniones informales (almuerzos, desayunos) entre empleados elegidos al azar y la gerencia, con el fin de debatir asuntos de interés.

e. Tiempo libre:

Se puede utilizar el tiempo libre como premio de diferentes maneras:

- Asignar a los empleados una tarea y un plazo, si lo concluyen antes del plazo límite, el tiempo sobrante es la recompensa.
- Establecer la cantidad de trabajo a realizar en determinado período, concluida la tarea se lo puede recompensar con medio día o un día.
- Otorgar tiempo libre por mejoras de calidad, seguridad u otra clase de desempeño que se considere importante.

f. Sustitutivos del dinero:

Para los trabajadores, el dinero es un estímulo real y significativo, pero no tiene valor duradero. La alternativa al dinero la constituyen los bonos de compra, la entrega de productos y/o el pago de impuestos o gastos de los empleados.

Tipos de recompensas laborales

Recompensas informales

Son aquellas que se otorgan por iniciativa del directivo sobre la base del desempeño. Las pautas para recompensar y reconocer eficazmente la labor de los empleados son: Adecuar la recompensa a la persona. Comience con las preferencias personales del individuo; recompénselo en una forma que para él sea verdaderamente satisfactoria. Así como adecuar el premio a lo logrado.

Para que el refuerzo sea eficaz ante un buen desempeño se debe tener presente cuánto significa el logro del empleado. Un empleado que concluye un proyecto en el cual invirtió tiempo, debe ser mejor recompensado que otro al cual sólo le demando un momento terminal cierta tarea.

La recompensa debe estar en función a la calidad de tiempo que se empleó en determinada labor. Y también Ser oportuno y específico. Para ser eficaces, las recompensas deben ser otorgadas tan pronto como se logra el desempeño o el resultado esperado. Las recompensas que se demoran semanas o meses no lograr motivar a los empleados. Siempre se debe decir por qué se les está otorgando la recompensa; es decir, colocar el logro dentro de un contexto. (Nelson, 1997).

Recompensas por acciones y logros específicos

Muchas empresas recompensan especialmente las realizaciones que son importantes para toda la organización, tales como las ideas para ahorrar costos, el servicio excepcional al cliente y el logro de un objetivo determinado de ventas. Una de las recompensas más frecuente en la mayoría de las organizaciones es la del "Empleado excepcional" o "Empleado del mes". Este tipo de reconocimiento puede basarse en diversos criterios, formales o informales, y puede otorgarse tanto por realizaciones excepcionales como por muchas actividades dignas de elogio.

El premio cobra más importancia si en la selección de candidatos intervienen los compañeros de trabajo y no solamente los directivos. Para que el personal sea productivo y se sienta satisfecho y motivado el desempeño eficiente debe ser altamente valorado y recompensado. Cuando un equipo de empleados obtiene un logro hay que recompensar a todo el equipo. Si sólo se expresa reconocimiento al líder o al integrante de mejor desempeño, el grupo tiende a perder motivación. (Hersey, 1997).

Recompensas formales

Es uno de los programas de recompensas que desarrolla la empresa por iniciativa propia para mantener motivado al personal. Una carta de agradecimiento o un elogio en público puede ser una manera significativa de reconocer los esfuerzos y logros de una persona, pero si esa es la única forma de reconocimiento que utiliza el gerente, perderá muy pronto su eficacia.

Puede considerar como regla básica lo siguiente: por cada cuatro recompensas informales (por ejemplo, un "muchas gracias"), debe otorgarse un reconocimiento un poco más formal (por ejemplo, un día libre remunerado); y por cada cuatro recompensas formales, debe darse una todavía más

formal (por ejemplo, una placa o un elogio en público durante alguna reunión de la empresa) y así sucesivamente hasta llegar a aumentos de sueldo, ascensos asignaciones especiales.

Se recomienda que se designe a directivos de la institución para recompensar eficazmente a los empleados y que no utilicen incentivos generalizados. Darles el mismo premio a todos por igual, sólo nos inspiran en ellos el deseo de superación, sino que, por el contrario, puede perjudicar el desempeño de los empleados que obtuvieron los más altos resultados, al no ver debidamente reconocido su esfuerzo excepcional. (Stephen, 1996).

Recompensas formales (Reconocimiento predeterminado)

Las recompensas formales intensifican el efecto de las informales. Así se podría cada cuatro recompensas informales conceder un reconocimiento formal por ejemplo después de cuatro felicitaciones se les otorgue un día libre remunerado.

Hay distintos tipos de programas de recompensas que se pueden implementar:

a. Puntuación:

Algunas empresas utilizan sistemas de puntuación donde cada trabajador recibe cierta cantidad de puntos, a la que se añaden o restan puntos, de acuerdo con el buen o mal desempeño.

b. Concursos:

Anunciar un premio a través de un concurso es una buena manera de mantener expectativas y de impulsar un buen desempeño.

c. Desarrollo personal:

Premiar a los empleados con capacitación contribuye no sólo a la motivación del personal, sino también al enriquecimiento de los recursos humanos de la empresa.

d. Ascensos:

Una recompensa a largo plazo es ascender a los mejores empleados o asignarle mayores responsabilidades, basado en el criterio del buen desempeño.

e. Sentido de propiedad:

Una de las formas de reconocimiento consiste en tratar al empleado como si fuera uno de los dueños de la empresa, el éxito se debe compartir con los que ayudan a conseguirlo. Por ejemplo: entrega de acciones.

f. Aniversarios:

Celebrar los aniversarios es una importante manera de agradecer la relación entre la empresa y la persona. Si bien no se premia el desempeño del empleado, la permanencia y antigüedad de los empleados es relevante.

Compensaciones directas

La existencia de presentaciones y servicios al personal corresponden a objetivos de carácter social, organizativo y de desarrollo personal de los empleados. Para muchas personas la palabra "compensación" es sinónimo de "salario". Cualquier otro ingreso que proporcione la organización se considera con frecuencia como algo de menor importancia, haciendo que el término "prestación" se relegue a los aspectos suplementarios.

Entre los servicios más comunes se cuentan los seguros de vida contratados en el nivel de grupo, seguros contra accidentes, seguros médicos paralelos al seguro social, servicios dentales; prestaciones por muerte de un pariente próximo, nacimiento de un hijo, matrimonio y otros acontecimientos sociales; servicios de alimentos en un establecimiento de la empresa, ayudas para la preparación académica de los empleados o sus hijos y guarderías para los niños pequeños de los empleados.

Esta lista es sólo parcial prácticamente toda organización de mediano o gran tamaño puede incluir varias prestaciones y servicios adicionales; pueden señalarse como objetivos de la organización que se cumplen mediante compensaciones indirectas, los siguientes aspectos reducción de tasas de rotación, desaliento a los movimientos tendientes al conflicto, ventajas para el reclutamiento de personal, y satisfacción de los objetivos de los empleados. (Schultz, 2002).

Las recompensas organizacionales son la idea de que tanto el individuo como la institución necesitan organizarse y comunicarse, es de gran aceptación. Es importante hacer énfasis en que una organización constituye ante todo una composición social de seres humanos; en donde es preciso que exista una estructura y una jerarquía necesaria para que se logren los fines que la organización se propone. La formación continua en la empresa está dada por dos aspectos motivacionales: las necesidades de los empleados y los objetivos de la empresa.

La importancia del estudio de estas recompensas es la satisfacción laboral, es decir, el desempeño y rendimiento laboral. Para esto se hace énfasis en que las recompensas representan una parte muy importante de esta satisfacción de los trabajadores. La reacción ante las recompensas se da por la percepción de cada persona, que la visión del mundo que tiene y que está influida por los valores personales.

Por ello, los gerentes no pueden motivar con base en afirmaciones relacionales sin considerar que las personas actúan de acuerdo con cómo ven los hechos y no como empleados, pues es muy difícil que acepten esquemas motivacionales que la administración desea que tengan. Es muy importante que se tome en cuenta que las “recompensas deben satisfacer las necesidades humanas básicas. Así como considerar que los individuos tienden a comparar sus recompensas con las de otros” finalmente se deben reconocer las diferencias individuales ya que los principales objetivos de los programas de recompensas son: atraer, mantener, motivar.

Recompensas por acciones y logros específicos

Otra forma de recompensar es sobre tareas que contribuyen al mejoramiento de la organización.

A continuación, se presentan diversos ejemplos de programas de incentivo destinados a alcanzar altos niveles de productividad y desempeño.

a. **Recompensas para empleados excepcionales:**

Una recompensa muy frecuente en las empresas es la del “empleado del mes”. Este tipo de recompensa cobra más importancia si en la selección intervienen los compañeros de trabajo.

b. **Premios a la productividad y a la calidad:**

No es tan frecuente como el anterior; pero para que los empleados sean productivos y se sientan satisfechos y motivados, el desempeño debe ser altamente recompensado y valorado.

c. **Premios a las sugerencias de los empleados:**

Se premian o reconocen, las sugerencias que los empleados puedan aportar a la organización.

d. **Recompensas por servicio al cliente:**

El buen servicio al cliente es un objetivo prioritario que debe ser recompensado y reconocido constantemente.

e. **Premios por lograr objetivos de ventas:**

La venta es uno de los objetivos fácilmente cuantificable para las empresas; por tal razón, los incentivos en esta área son muy comunes y recomendables.

f. **Recompensas para equipos:**

Un equipo o grupo de trabajo debe ser recompensado en su totalidad.

g. **Recompensas por asistencia y por seguridad:**

El premio a la buena asistencia estimula a los trabajadores a ser puntuales; el reconocimiento a la atención a las normas de seguridad contribuye que se reduzcan al mínimo los accidentes de trabajo.

Prestaciones y servicios al personal

En muchos países latinoamericanos se aplican ciertos esquemas específicos de recompensas llamados prestaciones y servicios al personal, entre los cuales se pueden mencionar.

Pólizas de seguros, que pueden ser de salud, de vida y por accidentes e incapacidad temporal o permanente.

- En el campo de la salud. Pueden ser pólizas de gastos médicos mayores o menores. Cuando se utiliza este servicio, se debe pagar el deducible correspondiente.
- Existen otras pólizas que cubren atención dental, óptica, maternidad y atención durante el embarazo, etcétera.
- Las pólizas médicas cubren hospitalización por accidentes sin necesidad de erogar, en el momento de la internación, ninguna cantidad o garantía.
- Pólizas de vida.
Dos años de salario es lo que regularmente cubre.
- Pólizas por accidente e incapacidad temporal o permanente. El monto de la indemnización varía según la profesión. Así, por ejemplo, un daño en la vista puede determinar la incapacidad total de un pintor.

Prestaciones independientes de las áreas cotidianas:

- Días feriados o vacaciones. En algunos bancos, las vacaciones se otorgan con base en la antigüedad del empleado. Otras empresas otorgan asueto durante la celebración de una fiesta religiosa. Ello ocurre en México el día 12 de diciembre, día de la virgen de Guadalupe.
- Ausencias con o sin goce de sueldo.
- Actividades deportivas. En estos casos las empresas absorben los gastos de uniformes de los empleados.

Prestaciones relacionadas con el horario

- Flexibilidad del horario. También conocido como “tiempo flexible” o Flexitime, suele aplicarse en empresas que se dedican a la investigación, en las cuales, si un área no cumple su tarea, ello no repercute necesariamente en las demás.
- Servicios a los empleados:
Cafetería o restaurante, apoyo para la educación formal, servicios financieros, préstamos a bajos intereses, financiamiento para compra de vivienda y de vehículos, etcétera.
- Servicios sociales:
Gastos de reubicación. Hotel, mudanza, menaje, depósito para renta de casa, son a cargo de la empresa cuando el empleado se muda por requerimiento del trabajo.
- Partición de utilidades.
Es el conocido reparto de utilidades que se otorga cada año a los empleados. Muchos de ellos trabajan en determinada empresa por el atractivo que representan las utilidades que puedan percibir.

Lo más importante en el diseño de un sistema de remuneración según Chiavenato (2002) es tener en cuenta los criterios para elaborarlo, como las estructuras salariales equitativas que deben garantizar un equilibrio tanto interno como externo. Debe existir una base de salarios que sea coherente con el sistema de incentivos para que realmente sea válido y confiable. La administración de estas compensaciones empresariales y así la creación del sistema de incentivos, debe manejar ciertas políticas tales como la competitividad externa que se encarga de fijar una posición de los salarios de la empresa, con relación a los salarios de otras empresas competidoras (Morales y Velandia, 1999).

En este caso, el programa de recompensas es aplicado a tiendas de abarrotes y estas por ser empresas familiares, tienen una estructura diferente a la de grandes empresas quienes pueden aplicar un sistema de recompensas sin problema alguno. Es por esto por lo que se debe verificar la capacidad de los miembros de la empresa para trabajar bajo un sistema de recompensas. Es claro que dentro de una organización existen diferentes roles, pero siempre hay que tener en cuenta la repercusión de las tareas del trabajador para determinar su tipo de compensación de acuerdo con la empresa.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, el primer paso para establecer un sistema de incentivos obliga la recolección de información sobre el tipo de incentivo o recompensa que los empleados aspiran a recibir por su trabajo y la forma como pueden luego obtenerla en base a su esfuerzo (Morales y Velandia, 1999)

En las organizaciones actuales el problema no es implantar un sistema de incentivos, sino saber cuál es el apropiado para esa organización específica, teniendo en cuenta la misión, la visión, el plan estratégico y el personal en cuanto a sus necesidades.

No todas las organizaciones conocen los beneficios de los incentivos, y no lo ven como una inversión sino como un gasto. Es importante que adecuen a sus necesidades un plan de compensaciones que realmente llene las expectativas y necesidades motivacionales de los trabajadores para que puedan ver resultados favorables.

PARTE EXPERIMENTAL

Se trabajó con una encuesta para empleados y otra para el patrón diseñadas exprofeso para el estudio, tomando como referentes las aportaciones de CATR, la cual tiene como propósito determinar los incentivos que fortalecen la motivación en los trabajadores, con el fin de implementar una propuesta que permita mejorar el sistema de incentivos dentro de la empresa.

La Encuesta de empleados está integrada por 12 reactivos, de los cuales diez son de opción cerrada de SI o NO y dos en escala Lickert de cinco opciones; los reactivos revisan el conocimiento de un sistema de recompensas, las recompensas económicas, de desarrollo personal y contractuales que recibe el empleado y la perspectiva de permanencia en el empleo.

La encuesta para el patrón está integrada por 7 reactivos, de los cuales dos son de opción cerrada de SI o NO, dos en escala Lickert de cinco opciones y 3 de opción múltiple; los reactivos revisan el conocimiento de un sistema de recompensas, las recompensas económicas y no económicas que se han otorgado, y la disposición para desarrollar un programa de recompensas.

Procedimiento

1. Identificar las tiendas de abarrotes que podrían ser sujetas en la investigación.
2. Seleccionar las tiendas las cuales formaran parte de la investigación.
3. Establecer comunicación con los dueños de las tiendas.
4. Pedir su consentimiento y sea sujeto de análisis.
5. Establecer con el dueño una fecha en la cual se acudirá al local.
6. Acudir a la tienda de abarrotes en la fecha establecida.
7. Preparación; se le dará una pequeña introducción del proyecto, los conceptos y los objetivos generales y específicos.
8. Hay que indicar que los empleados y dueños serán encuestados.
9. Explicar en qué consisten las encuestas.
10. Proceder a aplicar la encuesta a jefes y empleados.
11. Se concentra la información y se describen los resultados de los empleados en frecuencias y porcentajes.
12. Se triangula la información de la encuesta de empleados con la del jefe atendiendo al apartado correspondiente.
13. Se establece el perfil del sistema de recompensas.
14. Se revisa la viabilidad de establecer un sistema de recompensas-
15. Comprobar la hipótesis.
16. Redacción del reporte.

RESULTADOS

Importancia que los empleados y jefes de las tiendas de abarrotes les dan a las recompensas laborales.

Respecto a la importancia que los jefes de las tiendas de abarrotes les dan a las recompensas laborales, el 100% (n=3) les es importante, mientras que para los empleados el 50% (n=3) les es importante, el 33% (n=2) les es muy importante y al 16% (n=1) le es indiferente.

Para la mayoría de los empleados y la totalidad de los jefes las recompensas laborales son importantes.

Por otro lado, el 66.7% (n=2) sabe lo que es un sistema de recompensas, mientras que el 33.3% (n=1) saben solo un poco. Sin embargo, el 66.7% (n=4) de los empleados no sabe lo que es un sistema de recompensas, el 16.7% (n=1) sabe poco y el 16.7% (n=1) si tiene conocimiento de lo que es un sistema de recompensas.

Para los jefes la mayoría tiene un conocimiento de los que es un sistema de recompensas; mientras que para los empleados es inverso, la mayoría desconoce qué es este sistema.

Tipos de recompensa que los empleados han recibido o aspiran a recibir por su trabajo las tiendas de abarrotes.

De acuerdo con las recompensas no económicas que los dueños han otorgado mencionaron que el 33.3% (1) han les ha dado flexibilidad horaria, el 33.3% (1) vacaciones o días libres, el 33.3% (1) crecimiento dentro de la entidad, el 33.3% (1) expectativas de futuro, el 33.3% (1) viajes y el 33.3% (1) han ha dado formación a sus empleados.

A sí mismo en base a las recompensas económicas el 66.7% (n=2) de los dueños han otorgado dinero y el 33.3% (n=1) ha otorgado un aumento de sueldo a sus empleados.

Sin embargo, el 66.7% (n=4) de los empleados menciona que no han recibido ningún tipo de incentivo y el 33.3% (n=2) si han recibido incentivos, pero por otro lado el 100% (n=6) menciona que reciben un trato justo en su trabajo y mantienen buenas relaciones con su jefe.

Se establece que para los jefes la mayoría de ellos identifica que se han otorgado alguna recompensa económica o no económica a los trabajadores; mientras que para los empleados la percepción es inversa en su mayoría.

Identificar la disposición de los dueños y empleados para desarrollar un sistema de recompensas.

Respecto a la disposición que se tiene para desarrollar un sistema de recompensas por parte de los jefes el 100% (n=3) está dispuesto, mientras que por parte de los empleados el 16.7% (n=1) está muy dispuesto, el 66.7% (n=4) dice que están dispuestos y el 16.7% (n=1) está poco dispuesto a desarrollar un plan de recompensas.

Sin embargo, el 100% (n=3) de los dueños de las tiendas de abarrotes no sabe cómo diseñar un buen sistema de recompensas que se adecue a la empresa.

Se identifica la disposición por parte de los dueños y empleados para desarrollar un sistema de recompensas en las tiendas de abarrotes sin embargo el conocimiento sobre el tema es poco.

CONCLUSIONES

Se evidencia la importancia que los sistemas de recompensas tienen por parte de los jefes y empleados por lo que se presenta mayor conocimiento en los jefes acerca de lo que es un sistema de recompensas, mientras que los empleados desconocen qué es ese sistema.

Se establece que la mayoría de los jefes ha otorgado alguna recompensa no económica y económica a los empleados, pero los empleados no perciben algún tipo de recompensa, pero si un trato justo en su trabajo y buenas relaciones con su jefe.

Se identifica la oportunidad y disposición por parte de los dueños y empleados para desarrollar un sistema de recompensas en sus tiendas de abarrotes.

BIBLIOGRAFÍA

1. ALCINA, O. y BLANCO, R. (1993). Estudio sobre la Satisfacción Laboral Basado en la Teoría Bifactorial planteada por Frederick Herzberg.
2. Amorós, E. (2007). Comportamiento Organizacional. En Busca del Desarrollo de Ventajas Competitivas. Lambayeque – Perú.
3. Arias Galicia, F. (2001). Administración de recursos humanos para el alto desempeño. Sexta Edición. México, D.F: Editorial Trillas, S.A.
4. Bittel, L. (2000). Administración de Personal. Traducción José Real Gutiérrez.
5. CANALES, F.; ALVARADO, B. y PINEDA, E. (1994). Metodología de la investigación. Segunda edición.
6. CHIAVENATO, I. (2000). Introducción a la Teoría General de la Administración. Quinta edición. Mc Graw – Hill. México.
7. DAVIS, K. y NEWSTROM, J. (1993). EL Comportamiento Humano en el Trabajo. Comportamiento Organizacional Octava edición. Mc Graw-Hill. México.
8. Fernández, C. (1999) La Comunicación en las Organizaciones. México: Trillas.
9. Finch, Stoner, James, et al, Administración, (México: Pearson, 1996) pag.332
10. García, M., Posada, N., & Hernandez, C. (2012). LA MOTIVACION Y LOS SISTEMAS DE RECOMPENSAS. Eumed.net. Retrieved 22 March 2021, from https://www.eumed.net/ce/2012/gvr.html#_ftn17.
11. GARCÍA, A. y OVEJERO, A. (2000). Feedback Laboral y Satisfacción. Ediciones de la Universidad de Oviedo. España.
12. GARCÍA, A. y USCANGA, M. (2008). “Desarrollo y comportamiento de la Motivación en el trabajo”
13. Hersey, P. Kenneth. Administración Del Comportamiento Organizacional. México: Prentice Hall, 1997, Pág. Cap.II
14. Idalberto Chiavenato. Gestión del Talento Humano. El nuevo papel de los recursos humanos en las organizaciones. McGraw-Hill, 2da. Ed., Colombia, c2002

15. Madero Gómez, S., & Treviño Rodríguez, R. (2011). Las recompensas en el trabajo dentro de la empresa familiar mexicana: desde la perspectiva de la generación Y. Recuperado el 10 de Febrero del 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2448-76782011000100007.
16. Nelson, Bob, 1001 formas de recompensas a sus empleados (New York, Gestión 2000, 1997) pág. 16
17. Rafael Guízar Montúfar. Desarrollo Organizacional. Principios y aplicaciones. McGraw-Hill, 2da. Ed., México, c2004, p. 285.
18. Sánchez Marín, G. La retribución en la empresa familiar. Recuperado en Febrero del 2021, de <https://cef.um.es/index.php/actividades/colaboraciones-medios/311-la-retribucion-en-la-empresa-familiar>
19. Schultz, D. Psicología Industrial. México: Mc Graw Hill, 451 p. Cap.8
20. Silvia Seco (Consultora Especializada en Gestión Administrativa y Comercial para Pymes – AV Consultores Pymes
21. Stephen, R. Coulter, M. Administration. México: Prentice HaLL, 1996, 769 ,Parte 5

SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE ENERGÍA FOTOVOLTAICA PARA MÁQUINA DE COMPACTACIÓN HIDRÁULICA DE RESIDUOS SÓLIDOS

Carlos Arroyo López, Gerardo Fosado Ramos, Arístides Martínez Martínez

Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez
charlyza_9@hotmail.com.

RESUMEN

El siguiente proyecto titulado “Sistema de alimentación de energía fotovoltaica para máquina de compactación hidráulica de residuos sólidos.” tiene como finalidad generar la investigación concisa y viable que permitan establecer el sistema de alimentación de energía fotovoltaico para el abastecimiento de energía eléctrica a una compactadora de residuos sólidos. Para llevar a cabo el proyecto se hizo una investigación sobre las características de un sistema fotovoltaico. De igual forma se realizó el cálculo y consumo de la energía eléctrica en la compactadora. Partiendo de la información obtenida se hizo un plan de acción para fijar fechas para el desarrollo de dicho proyecto y así poder llevarlo a cabo de forma correcta. Una vez realizados los cálculos de sombras y dimensionamiento para seleccionar los dispositivos pertinentes, (número de paneles solares, estructura de montaje, inversor, cableado, sistema de tierra y protección, elementos que integran el sistema solar fotovoltaico). Teniendo como resultado final la alimentación de energía fotovoltaica para la máquina de compactación hidráulica de residuos sólidos y viabilidad que permitan el logro de una sustentabilidad en la implementación para la alimentación de energía eléctrica alternativa y con ello contribuir a la reducción del consumo energético a través del uso de paneles solares.

INTRODUCCIÓN

Se propone implementar un Sistema de alimentación de energía fotovoltaica para máquina de compactación hidráulica de residuos sólidos, en la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez con un sistema fotovoltaico aislado a la red.

El proyecto considera el abastecimiento de energía eléctrica para el funcionamiento de la máquina compactadora de residuos sólidos, ubicada en el laboratorio de reciclaje de la Universidad (UTXJ). El proyecto incluye el cálculo del tamaño del panel, análisis de cargas, así como el cálculo del número de los mismos, y de la eficiencia arrojada por él, la orientación de los paneles.

El trabajo se inició con un análisis de la situación actual que incluya el estudio de cargas, el estudio de sombras y dimensionamiento para seleccionar los dispositivos pertinentes, (número de paneles solares, inversor, elementos que integran el sistema solar fotovoltaico).

Se mostrará el desarrollo de la propuesta (cálculo del número de paneles, (inversor, batería y regulador).

Teniendo como resultado final la alimentación de energía fotovoltaica para la máquina de compactación hidráulica de residuos sólidos y viabilidad que permitan el logro de una sustentabilidad en la implementación para la alimentación de energía eléctrica alternativa.

TEORÍA

En la Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez existe una compactadora de residuos sólidos que es alimentada por la red de energía eléctrica CFE, la cual genera un consumo excesivo de energía eléctrica por este motivo decidimos enfocarnos de la generación de un sistema de energía fotovoltaica para disminuir el costo en el concepto de luz eléctrica y disminuir el fuerte impacto en el medio ambiente ya que con la generación de grandes cantidades de emisiones contaminantes y el consumo ilimitado de recursos no renovables, para los cuales aún no hay sustituto.

Las ventajas de estos sistemas radican en su simplicidad, ya que por lo general son sistemas simples y modulares, se instalan fácilmente y pueden ampliar el sistema, la reparación y se adaptan fácilmente. Por medio de avances tecnológicos la energía solar es de gran utilidad, reduce gastos económicamente y cuidado del medio ambiente. Considerando que la energía fotovoltaica es una de las fuentes más prometedoras de energía renovable en el mundo, que además comparada con las fuentes no renovables, son más limpias.

Los sistemas fotovoltaicos basan su funcionamiento en el efecto fotoeléctrico para transformar la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica. Este proceso de generación de electricidad renovable no contamina, no emite gases nocivos, su mantenimiento es mínimo y no genera ruidos molestos. La tecnología fotovoltaica es totalmente confiable y su instalación en residencias e industrias es sencilla.

Se enuncian las partes que conforman un sistema de generación fotovoltaico aislado:

1) Paneles Solares Fotovoltaicos: Los paneles solares están formados por celdas fotovoltaicas, las cuales recolectan los rayos del sol y los convierten en corriente directa (DC).

2) Inversor: Recibe la corriente directa (DC) generada por los paneles solares y la convierte en corriente alterna (AC), el tipo de electricidad comúnmente utilizada.

3) Tablero Eléctrico: La corriente alterna (AC) que sale del inversor llega a un tablero eléctrico donde está lista para ser utilizada.

4) Red Eléctrica: Es el sistema eléctrico de la compañía de luz. Su sistema fotovoltaico permanecerá conectado a la red eléctrica para permitir el funcionamiento de la red eléctrica cuando se requiera energía adicional a la que su sistema fotovoltaico produjo, por ejemplo, durante la noche, garantizando así un suministro constante y confiable de electricidad.

5) Sistema de Monitoreo: Su sistema fotovoltaico ofrece la posibilidad de monitorear la producción diaria de energía fotovoltaica y verificar que su sistema funcione adecuadamente, así como llevar un registro del CO2 no emitido al ambiente.

6) Banco de Baterías: Los bancos de baterías para sistemas fotovoltaicos o acumuladores son los encargados del almacenamiento energético, para poder suministrar energía independientemente de la producción eléctrica del generador fotovoltaico en ese preciso momento, que sirve como reserva para los días nublados o cuando es de noche. Se componen esencialmente de dos electrodos sumergidos en un electrolito donde se producen reacciones químicas debidas a su carga y su descarga.

PARTE EXPERIMENTAL

CÁLCULO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA MÁQUINA COMPACTADORA DE RESIDUOS SÓLIDOS

Tomando en cuenta que tenemos información técnica del equipo de potencia de la máquina compactadora de residuos sólidos y que esta trabaja 4 horas al día, tomaremos la información necesaria para llevar a cabo el cálculo de consumo de energía por día tomando en cuenta los datos de la tabla siguiente:

FICHA TÉCNICA (MOTOR WEG W22)					
5.595 Kw		7.5 CP			
208-250/460	V	21.6-19.6/9.78	A		
RPM 1770		FACTOR DE SERVICIO 1.75	60 Hz		FACTOR DE POTENCIA (FP): 0.77

Se realizará el cálculo de consumo de energía por día desarrollando la siguiente ecuación

$$E_c = (P_e * h) * M_s$$

Donde:

E_c : es la energía consumida del equipo (expresada en kilowatts hora)

P_e : es la potencia del equipo

h : horas de uso al día de la máquina compactadora

M_s : representa el margen de seguridad (este es de 30 %)

Si la máquina compactadora trabaja 4 horas al día y tomando en cuenta la información de la ficha técnica y el margen de seguridad es de 30%.

Sustituyendo la ecuación:

$$E_c = (5.595kW * 4 h) * 30 \%$$

$$E_c = (22.38 kWh) * 30 \%$$

$$E_c = 6.714 kWh$$

La energía de consumo por día de la máquina compactadora es de 6.714 kilowatts hora

CÁLCULO DE LA POTENCIA FOTOVOLTAICA

Para saber que potencia necesitaremos para abastecer la energía consumida por la máquina compactadora, se realizará el cálculo de la potencia fotovoltaica tomando en cuenta la siguiente ecuación:

$$PFv = \frac{E_c}{Hps}$$

Donde:

PFv: representa la potencia fotovoltaica

E_c: es la energía consumida

Hps: Hora Solar Pico

Sabiendo que el sistema se instalará en Xicotepc de Juárez Puebla, necesitamos conocer la insolación del lugar que es de 4.6 Hps a un ángulo de inclinación de 20 grados, Figura 1 es decir, que al día 4.6 horas recibe 1000 Wh/m² que es igual a 4,600 Wh/m² (ccea, s.f.).

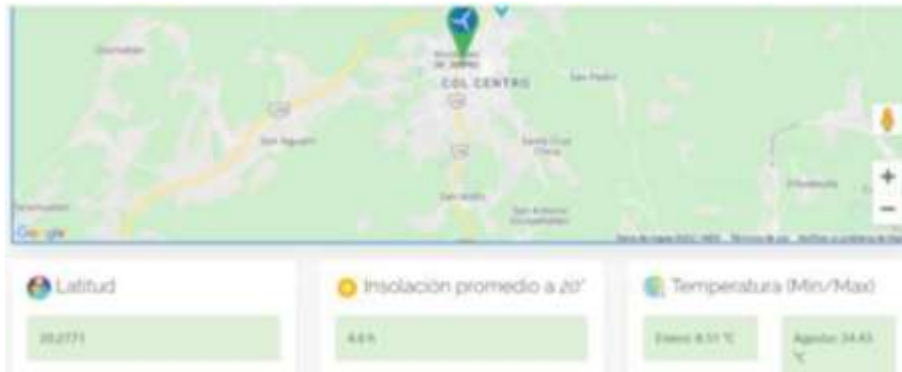


Figura 1: Irradiación Solar de Xicotepc de Juárez Puebla

Sustituyendo la ecuación:

$$PFv = \frac{E_c}{Hps} \quad PFv = \frac{6.714kwh}{4.6h}$$

$$PFv = 1.45956 kw$$

Se elimina la variable de del divisor y el dividendo en este caso es la variable h;

$$PFv = 1.45956 kw$$

∴ La potencia fotovoltaica que se necesita para abastecer la energía consumida de la máquina compactadora es de 1459.56 Watts o 1.45956 kilowatt.

CÁLCULO DE MÓDULOS FOTOVOLTAICOS

Los factores que se deben tener en cuenta para la correcta elección del número de paneles solares en una instalación fotovoltaica teniendo en cuenta que el consumo de energía por día de la máquina compactadora es de **6.714kwh** y tenemos las Hps de 4.16 con la inclinación de 20 grados.

Para calcular el número de paneles, suponiendo que estos se encuentren orientados como se ha indicado anteriormente. Se utilizará la siguiente ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = \frac{PFv}{\text{Potencia del módulo}}$$

Donde:

PFv: Potencia fotovoltaica

Potencia del módulo: es la potencia del panel solar, esta potencia está definida en la ficha técnica del panel.

Sustituyendo la ecuación:

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{PFv}{\text{potencia del módulo}}$$

$$N^{\circ} \text{ de módulos} = \frac{1459.56 \text{ w}}{160W}$$

$$N^{\circ} \text{ de Módulos} = 9.12$$

De acuerdo al resultado arrojado anteriormente, tenemos que utilizar 10 módulos fotovoltaicos para el sistema autónomo; ya que si ponemos los 9 módulos tendríamos una variante mínima de corriente en el circuito.

CÁLCULO DE BATERÍAS

Para realizar el cálculo de cuantas baterías se utilizarán para almacenar la energía del sistema fotovoltaico tenemos que tener en cuenta que tenemos un consumo energético total de 6.714 kWh para realizar el cálculo de cuantos Amper hora (Ah) necesitamos para el sistema, se utilizara la siguiente ecuación:

$$\text{Donde: } Ah_{Bat} = \frac{ER}{V_{Bat} \cdot ef_{Bat} \cdot DOD \cdot DR}$$

ER: energía requerida

V_{Bat} : es el voltaje de la
volt

batería en este caso es de 12

Ef_{Bat} : es el eficiente de batería viene representado en porcentaje, el valor del eficiente para este cálculo es de 85%

DOD: es la profundidad de descarga en porcentaje, el valor de profundidad de descarga es de 50%

DR: representa horas de respaldo, en este caso son 4 horas de respaldo para este sistema.

Sustituyendo la ecuación con los datos obtenidos:

$$Ah_{Bat} = \frac{6714 \text{ wh}}{12v * 85\% * 50 * 4hr}$$

$$Ah_{Bat} = 6714 \text{ Wh}/20.4 \text{ Vh}$$

$$Ah_{Bat} = 329.11 \text{ A}$$

∴ 329.11 Amper; este es el resultado que tiene que arrojar mi banco de baterías.

Sabiendo que los Amper hora de la batería real es de 157 Ah y con el resultado anterior; calcular el número de baterías para para diseñar el banco del sistema fotovoltaico, para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$NBat = \frac{Ah_{Bat}}{Ah_{BatReal}}$$

Donde:

Ah_{Bat} : Amper hora de requeridos para el sistema.

$Ah_{BatReal}$: Amper hora de la batería seleccionada.

Sustituyendo valores:

$$NBat = \frac{329.11Ah}{157 Ahr}$$

Se elimina variables iguales que son los Amper hora (Ah).

$$NBat = 2.09$$

Obteniendo como resultado el número de baterías a utilizar en el sistema fotovoltaico.

∴ Necesitamos 3 baterías para abastecer el sistema fotovoltaico, para 4 horas de trabajo.

ESTUDIO DE SOMBRAS.

El estudio de sombras es una fase más importante ya que permiten ubicar a los paneles en su posición más idónea o correcta, en dicha posición no se verán afectados por sombras, los cuales disminuyen la eficiencia del panel.

Se utilizó una App denominada Sun posición, esta aplicación permite observar la trayectoria del sol en los solsticios, de ser necesario puedes consultar en ella en cualquier fecha y a cualquier hora en determinado lugar. Utilizando la cámara del celular vemos la trayectoria del sol en tiempo real, en la pantalla se muestran unas líneas las cuales representan los solsticios.



Figura 2. Mapa solar luna

RESULTADOS

Durante el periodo de realización del proyecto los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Cálculo de consumo de energía eléctrica, la energía de consumo por día de la máquina compactadora es de 6.714 kWh .

Cálculo de potencia fotovoltaica que se necesita para abastecer la energía consumida de la máquina compactadora es de 1.45956 kw

Cálculo de módulos fotovoltaicos tenemos que utilizar 10 módulos fotovoltaicos para el sistema autónomo.

Cálculo del banco de baterías, se necesitan aproximadamente 3 baterías para abastecer el sistema.

CONCLUSIONES

Un sistema fotovoltaico tiene muchos beneficios en cuanto al ahorro de energía ya que gracias a esta implementación se lograría alimentar de manera autónoma no nada más el equipo antes mencionado si se requiere se puede dimensionar para alimentar varios equipos a la vez.

Instalando este sistema en la máquina compactadora de residuos sólidos se tendría un ahorro en el consumo de energía eléctrica, coadyuvando a la conservación del medio ambiente.

Se realizaron los estudios y cálculos de consumo de energía eléctrica, Cálculo de potencia fotovoltaica, Cálculo de módulos fotovoltaicos, Cálculo del banco de baterías para seleccionar los dispositivos pertinentes, por ejemplo: número de paneles, inversor, elementos que integran el sistema solar fotovoltaico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Photovoltaic Systems, second edition, James P. Dunlop, American Technical, Publishers, Inc. Orland Park, Illinois 60467-5756.
2. https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/energia-fotovoltaica-radiacion-geometria-recorrido-optico-irradiancia-y-hsp/#Recorrido_optico_de_la_radiacion_solar
3. Gray, J. L. (2003). The Physics of the Solar Cell. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering , 61-112.
4. González R., Medrano C., Lagunas J. et al. Pequeños Sistemas Fotovoltaicos Conectados a la Red Eléctrica, fase II: Informe Técnico Anual 2001, Informe Interno IIE/01/14/11779/1002/P, febrero de 2002.
5. Luque, S. S. (2003). Status, Trends, Challenges and the Bright Future of Solar Electricity from Photovoltaics. Handbook of Photovoltaic Science and Engineering , 1-43

CONSECUENCIAS DE LA CULTURA ORGANIZACIONAL EN LA GESTIÓN DE ALMACENES PARA LAS EMPRESAS MIPYMES EN IRAPUATO GTO.

José Guadalupe Martínez Ávila.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
jose_gmartinezavila@outlook.com

RESUMEN

En la actualidad en México existen un 56.7% de empresas MiPymes que se encuentran en la informalidad, lo que deriva a utilizar sistemas de organizaciones informales, con estructuras que no pertenecen en a su giro empresarial, afectando así directamente a los diferentes departamentos de este tipo de empresas y causado que la vida de estas empresas no supere más del promedio de los 7.8 años estimados según estudios del INEGI.

El objetivo de esta investigación es, determinar si la informalidad en las MiPymes y por lo tanto el uso de organizaciones informales y una inadecuada cultura organizacional apegada a su sector industrial afecta directamente a los departamentos en especial la gestión de almacenes. Ya que estudios enfocados en el desarrollo de la organización de empresas han revelado que estas deben ser competitivas y adaptarse a los requerimientos de la demanda para permanecer en el mercado y para aumentar su nivel de servicio y su capacidad frente a su mercado, deben de contar con sistemas de gestión y almacenamiento óptimos para abastecer a sus clientes, como lo son modelos que utilizan sistemas como seis sigmas y la gestión de la calidad enfocada a los servicios.

Gracias a los diferentes análisis que se realizaron con el instrumento de medición aplicado, el cual observa el alcance de diferentes factores que forman parte de la cadena de valor y a la aplicación de entrevistas y la recolección de datos agrupados que se obtuvo, se determinó que la cultura organizacional y las organizaciones informales son factores importantes que afectan directamente a los diferentes departamentos, con investigaciones de campo que se realizaron en las muestras de las MiPymes se encuentra que un gran porcentaje de estas están regidas por organizaciones informales, y en muchas de ellas la toma de decisiones son realizadas por personas que ya no pertenecen a la administración y tampoco laboran en el lugar de los hechos, afectado directamente a los procesos realizados dentro de los departamentos y evitando que estas empresas experimenten con nuevas herramientas y soluciones que les permitan un crecimiento más amplio.

Teniendo como conclusión, se observa que estos diferentes tipos de negocios deben contar con una organización formal adecuada a su sector industrial, que cumpla con las necesidades del negocio, y que cuenten con un modelo de cultura organizacional apto y vanguardista que ayude al crecimiento de la empresa y al mejoramiento de todos y cada uno de los departamentos, para así aumentar la vida promedio de estas empresas y ser completamente competitivas.

INTRODUCCIÓN

Diferentes estudios describen la importancia de la gestión de los almacenes en las empresas, sobre todo en las medianas pequeñas y micro, o bien como ahora se les conoce, organizaciones emergentes. Los autores Bourlakis, Pokharel y Sassi, plantean que la gestión de los almacenes contribuye a la reducción de la complejidad en sus flujos de información, ayudan directamente al mejoramiento de la coordinación de los procesos, al incremento de la eficiencia operacional y al aumento de la rentabilidad de las empresas y a su cadena de suministros. Se ha encontrado que la gestión de los almacenes es un factor importante en los procesos de las empresas y sus resultados se ven claramente reflejados en los ingresos y pérdidas que estas empresas puedan generar en sus actividades. Para que se pueda realizar una gestión adecuada en los almacenes es necesario contar con un contexto que englobe a la organización, este puede ser la cultura organizacional, el cual es un factor importante dentro de las organizaciones ya que ayuda a generar una fidelidad con los colaboradores para que estos sigan los objetivos de la empresa y se encuentren motivados con el rumbo que esta quiera encontrar, de tal forma que ayuden en las mejoras que se puedan aplicar. En México la mayoría de las empresas se encuentran en la denominación de micro, pequeñas y medianas, lo que significa que según estudios del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) el año pasado (2020) se identificaron 6 millones 373 mil 169 establecimientos en el país, los

cuales emplean 36 millones 38 mil 272 personas, sin embargo, 4 millones 800 mil 157 de los negocios son informales, lo que equivale a un 62.6 por ciento. Esto nos indica que existen una gran cantidad de empresas en el país que se encuentran en la informalidad, esto no es un buen panorama para el futuro de estas organizaciones y por lo tanto es un factor importante si se decide realizar mejoras dentro de la organización. En un mundo de constante cambio generado por las causas de la globalización de las economías se han originado evoluciones a nivel mundial, las cuales han provocado que las diferentes empresas denominadas micro, pequeñas y medianas se comparen ante los grandes corporativos con una gran desventaja, debido a un rezago organizacional en el que las podemos encontrar. Esta principal desventaja es originada por la cultura organizacional que experimentan estas organizaciones. Esto es causado por la cultura que no permanece enfocada a los objetivos de la empresa, un problema que es originado por la falta de experiencia en el diseño de las organizaciones, una problemática que se ve reflejada en México ya que el 83% de las empresas son de organizaciones familiares (INEGI) las cuales muchas de ellas no cuentan con el conocimiento adecuado para sus propias empresas. Esta problemática va más allá de la radicalización entre los puestos y el personal que se encuentra en la empresa, afectando directamente a los departamentos y de igual forma a los procesos que necesita la empresa para elaborar sus productos o servicios que ofrecen al mercado. A pesar que la cultura organizacional cumple con dos funciones muy importantes, la de integración entre sus miembros y la adaptación de la organización a su entorno que lo rodea, uno de los principales problemas que se observa en las empresas es que en muchas ocasiones, existen diferentes culturas en la misma, por un lado, la de los empleados, por otro lado los dueños y una más formada por los directivos, el problema surge cuando no se observa una cultura general dominante en la que todas se interrelacionen. Este hecho complica la relación entre departamentos y la desigualdad de objetivos y metas que siguen cada uno.

TEORÍA

La principal problemática que se encuentra en las empresas ya descritas, es el desaprovechamiento del departamento de almacenamiento, originado por la cultura organizacional descentralizada, se considera que es un factor muy importante, ya que los almacenes cuentan con una importante relevancia dentro de los estados financieros, si se hablara de una empresa del sector industrial, encontramos que en los estados de resultados o en el balance general se detecta de un 25% a un 30% de todo el costo de los activos en los inventarios de la empresa, si se hablara de una empresa del sector comercial este departamento estaría representando un 80% del costo de los activos. Se fundamenta su relevancia con los datos antes mencionados, este departamento es una herramienta que facilita muchos procesos en la cadena de suministros, es por eso que la investigación aborda este tema por medio de diferentes vertientes que puedan afectar directa e indirectamente a la gestión del mismo. Dentro de la investigación se determinan diferentes objetivos los cuales engloban determinar los impactos que puede ocasionar la cultura organizacional en los diferentes departamentos de la empresa, encontrar los problemas más relevantes dentro del departamento de almacenes y determinar las relaciones que existen en la cultura organizacional, la gestión de los almacenes y el comportamiento de los colaboradores en la empresa. En la justificación del estudio, se busca dar solución a la problemática existente de la gestión de almacenes para las microempresas, derivada de la investigación realizada de diferentes autores relacionadas al tema, se puede observar que la cultura organizacional desarrolla un gran impacto en la gestión de los almacenes, lo cual también afecta a él buen desempeño de los almacenes y a un aumento de los costos de producción. La iniciativa de esta investigación es encontrar el sustento informativo para ejemplificar la importancia de la gestión de almacenes en las empresas que no cuentan con una cultura organizacional optimizada para la implementación de herramientas de mejora en la organización. Se pretende demostrar cual es el impacto y a que factores principales de la organización se ven afectados por estas variables.

PARTE EXPERIMENTAL

La investigación se realizó al cabo con la herramienta de metodología DMAIC, el cual consiste en la definición, medición, análisis, mejora y control de las problemáticas de la investigación y de los objetivos que se plantearon, en la investigación se hace uso de un instrumento de medición que nos

permite evaluar el estado de las empresas analizadas, el cual se lleva a cabo analizando diferentes factores y su alcance que estas empresas tienen en el cumplimiento de cada uno. Este instrumento se lleva a cabo con una serie de preguntas cerradas las cuales están enfocadas en factores como; la logística de entrada, operaciones, logística de salida, recursos humanos, infraestructura y desarrollo tecnológico, los cuales buscan que las empresas analizadas puedan obtener un alcance óptimo dentro de las operaciones que están realizando. La característica del estudio realizado es de naturaleza descriptivo mixto, ya que nos permitió analizar como se manifestaron las variables las cuales se buscan entender. Además, este estudio nos permitió identificar las características que pertenecen al universo de investigación que se delimitó, nos ayudó a señalar formas de conductas y actitudes, así como el comportamiento y las actitudes que surgieron con el análisis de cada una de las variables de investigación. Los medios que se utilizaron para la recolección de la información fue la observación, la entrevista y la aplicación de cuestionarios al igual que el muestreo, una vez que se obtuvieron los datos se codificaron, tabularon y analizaron de forma estadística para completar el proceso de análisis de la información. Las ventajas que ofreció realizar este estudio descriptivo fue la frecuencia y distribución del fenómeno que se estudió, la facilitación de la realización de los estudios analíticos, la identificación de diferentes variables, que nos permite generar una relación con el fenómeno de estudio y la identificación de grupos vulnerables. El estudio aplicado nos permitió realizar un análisis del estado de la gestión de almacenes dentro de pequeñas empresas en la ciudad de Irapuato Guanajuato, las cuales están enfocadas en el sector industrial de productos de primera transformación. Dentro del instrumento se analizan diferentes variables derivadas del objeto de estudio, las cuales parten de la problemática expuesta, estas son; la importancia del desempeño de la cultura organizacional, las deficiencias en los almacenes, la relación de las costumbres y tradiciones en los trabajadores y los problemas existentes en el departamento de almacenes, así como realizar un análisis a los sistemas de gestión que se desempeñan en la empresa o negocio.

RESULTADOS

Para el estudio de la muestra se extrajeron las preguntas más relevantes las cuales intervienen en los factores de medición que se observan en el tema de investigación. El instrumento de medición cubre factores relevantes en la gestión de almacenes desde la implementación de métodos principales para el funcionamiento de los almacenes hasta la gestión y administración de las organizaciones que se encargan de gestionar estos departamentos. El instrumento de medición cuenta con las características de ser cuestionamientos con respuestas cerradas las cuales nos permiten una objetividad en las respuestas, esto nos ayuda a delimitar la subjetividad y las interpretaciones que se le puedan dar, de igual forma estas características son de gran ayuda para la cuantificación de los datos recolectados y el análisis estadístico es más simple de realizar. El estudio se realizó dentro de la ciudad de Irapuato Gto. México en donde se aplicó el instrumento de medición a micro y pequeñas empresas del sector industrial, con características en común como lo es: contar con una organización emergente, hacer uso del departamento de almacenes, gestionar el almacenaje de artículos de última transformación, contar con cadenas de distribución y hacer uso de gestión de almacenes. Este estudio nos permitió identificar que la gestión de los almacenes contrasta mucho dependiendo de los años de antigüedad en cada uno de las micro y pequeñas empresas, de igual forma un factor importante para el contraste de los datos en la formalidad que existe dentro de las organizaciones, un factor importante que se relaciona directamente con la cultura organizacional. Como se había planteado en las hipótesis, uno de los factores más importantes era el impacto de la cultura organizacional dentro de la gestión de los almacenes, como se pudo observar en los resultados se observa que la mayoría de las organizaciones emergentes no tienen bien establecido un orden de ejecución en los procesos del departamento de almacén, esto se ve reflejado en las respuestas que no cubren satisfactoriamente los factores de logística de entrada, operaciones, logística de salida, abastecimiento y desarrollo tecnológico, en base a esto podemos identificar que este tipo de negocios no hace uso del departamento de almacén de forma adecuada y optimizada para su giro industrial, mientras que el resto de las microempresas, este conocimiento se ha adquirido en base a la experiencia de los años y de un constante aprendizaje de pruebas y errores que las han llevado a conocer de qué manera puede realizar los procesos adecuados para una ejecución de la gestión de almacenes específica a su sector industrial.

CONCLUSIONES

Esto comprueba que efectivamente una de las principales características de las organizaciones emergentes es que la cultura organizacional y los roles no se encuentran bien definidos, por la informalidad que esta pueda presentar en la organización, lo cual se ve reflejado en cada uno de los principales departamentos establecidos, y para efectos del estudio, también se encuentra identificado en la gestión de almacenes y en los procedimientos que se deben de realizar en este departamento. Esta investigación puede contar con más variantes que ayudaran a identificar que es realmente lo que sucede dentro de estas organizaciones emergentes, en donde se proponga nuevas posibles hipótesis por comprobar que profundicen los actos que influyen dentro del departamento de almacenes, por ahora la investigación realizada, comprueba con eficacia las hipótesis propuestas y ayuda a la investigación futura de temas relacionados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Geletkanycz, M.A. (1997): The saliente of culture's consequences: the effects of cultural values on top executive commitment to the status quo, *Strategic Management Journal*, vol. 18, No. 8.
2. Guaipatin, C. (2003): Observatorio MIPYME: compilación estadística para 12 países de la región, Banco Interamericano de Desarrollo, Washington.
3. Hernández, M. (2002): Las empresas familiares pequeñas y medianas, los problemas de agencia y sus dificultades crediticias, VII Foro Internacional de Investigación UNAM-ANFECA, México, D.F.
4. Omar, A., & Urteaga, A. F. (2010). El impacto de la cultura nacional sobre la cultura organizacional. *Universitas Psychologica*, 9(1), 79-92.
5. Pérez, A. M. S., Milian, A. J. G., Cabrera, P. L., & Victoria, I. P. (2016). Desarrollo organizacional, cultura organizacional y clima organizacional. Una aproximación conceptual. *Revista de Información científica para la Dirección en Salud. INFODIR*, (24), 86-99
6. Carrillo Punina, Á. P. (2016). Medición de la cultura organizacional. *Ciencias administrativas*, 4.
7. Edwards, A. A. (2006). El diagnóstico de" la" cultura organizacional o las culturas de la cultura. *Global media journal*, 3(6), 0.
8. D.F. Hernández, G., (2003): Los retos de las pequeñas y medianas empresas hidalguenses en el siglo XX1, *Revista Serie de Divulgación Académica. Investigaciones en Ciencias Administrativas, UAEH - ICEA*, no. 5°, art. 1.

AUTOMATIZACIÓN NEUMÁTICA DE PROCESO DE MOLDEO Y ESTAMPADO DE PIEZAS DE ALUMINIO

Juan Pablo Razón González, Dennise Ivonne Gallardo Alvarez, Israel Durán Belman, Juan Antonio Magdaleno Zavala Y Néstor León Vega

Tecnológico Nacional de México (TecNM) / Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI)
juan.rg@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

En la industria actual los tiempos de operación de los procesos y la precisión de las operaciones involucradas en la elaboración de un producto juegan un papel vital para el sector industrial; bajo la premisa de incrementar la producción, ampliar el margen de ganancias y reducir las pérdidas por factores diversos surge la necesidad de controlar los parámetros involucrados dentro de las líneas de producción. Uno de los métodos más modernos para controlar los parámetros de calidad en cuanto a las dimensiones y al acabado superficial de los productos elaborados a través de estampado y embutido es el que consiste en la implementación de un circuito neumático de control basado en el método de cascada. En el presente trabajo se aborda el caso del conformado y estampado de las vajillas y ollas de aluminio que son ampliamente utilizadas tanto en los comedores industriales, cadenas restauranteras como en las cocinas domésticas. A través de un sistema de control neumático basado en grupos del método de cascada se controlan las diferentes etapas del proceso desde la alimentación y colocación del material, hasta el moldeo bajo un sistema de alta presión para producir geometrías complejas a través de un sistema de matrices y punzones que permiten un elevado nivel de precisión en cuanto a dimensiones y tolerancias. El sistema de moldeo a presión combinado con el control neumático permite la producción masiva sin descuidar los parámetros de calidad. El sistema de moldeo por presión es ampliamente empleado para fabricar elementos de juguetería, artículos de cocina, componentes automotrices, así como piezas para la industria aeronáutica y aeroespacial. Se presenta el desarrollo de un sistema neumático para controlar el moldeo a presión y de manera complementaria el estampado del producto; esto se traduce en resultados tangibles y medibles tales como la reducción de los tiempos muertos, el incremento de la precisión en las tolerancias dimensionales y se mejora el acabado superficial. De acuerdo a los resultados mencionados, se puede concluir que la automatización neumática presenta ventajas considerables al permitir que se mantengan altos estándares de calidad y que las piezas puedan manufacturarse con tolerancias y ajustes precisos como lo exige la industria actual.

INTRODUCCIÓN

El moldeo a presión es un proceso versátil que sirve para producir piezas diseñadas en metal y se realiza forzando metal bajo alta presión en moldes reutilizables. Estos moldes, denominados matrices, se pueden diseñar para producir formas complejas con un alto nivel de precisión y repetición [1]. Las piezas se pueden definir rápidamente, con superficies lisas o texturizadas, y sirven para una amplia variedad de acabados atractivos y útiles (Figura 1)

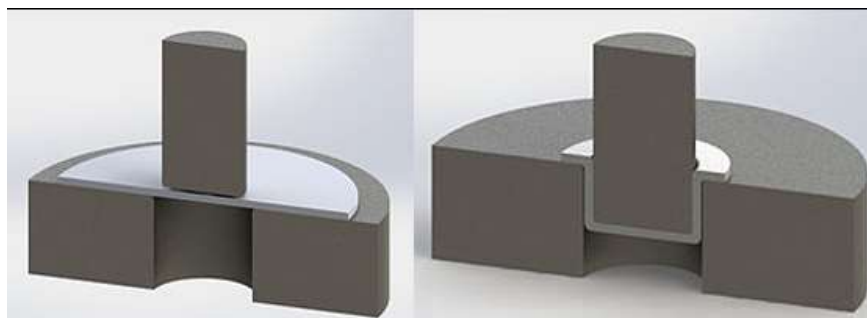


Figura 55 Proceso de conformado/embutido

Los moldeos a presión se encuentran entre los artículos de producción masiva de más alto volumen fabricados por la industria de la metalistería, y se pueden ver en miles de productos de consumo, comerciales e industriales [2]. Las piezas moldeadas a presión son componentes importantes de productos que abarcan desde automóviles hasta juguetes [3]. Otra manera muy sencilla y eficaz es la embutición que es un proceso tecnológico que consiste en la obtención de piezas huecas con forma de recipiente a partir de chapas metálicas. Este proceso permite obtener piezas de formas muy diversas y es una técnica de gran aplicación en todos los campos de la industria. Por lo que para su producción es importante maquinaria y sistemas de automatización que haga de manera rápida y eficiente el proceso. En empresas que tienen que producir un gran volumen de piezas por día es muy importante la calidad, la cantidad, las tolerancias y los acabados superficiales [1]

El presente trabajo está enfocado en la simulación de dos procesos que constan del moldeo de piezas de aluminio y el estampado del producto ya moldeado mediante una prensa neumática. Hoy en día en el sector industrial es importante el volumen de producción y la calidad de las piezas que se manejan en diferentes empresas dedicadas a los diferentes sectores productivos ya sea con productos terminados o como componentes de procesos intermedios, por lo que es de suma importancia contar con la maquinaria adecuada para mantener elevados estándares de calidad y optimizar los tiempos de producción y los parámetros de repetitividad al manufacturar las piezas; derivado de estos requerimientos se propone una prensa controlada a través de un sistema neumático basado en el principio de la teoría de grupos, con esto, se puede realizar el trabajo de moldeo bajo presión y el estampado del producto.

TEORÍA

La automatización neumática industrial es una de las más utilizadas en estos tiempos, ya que permite un proceso de producción rápido, limpio, seguro y no tan costoso frente a otras tecnologías. Las industrias de producción en serie se basan principalmente en la neumática, la cual emplea el aire comprimido para mover y hacer funcionar mecanismos, lo que permite realizar actividades repetitivas como pegar etiquetas, poner una tapa de un recipiente o seleccionar productos [2].

Cilindros de doble efecto

Son capaces de producir trabajo útil en los dos sentidos, ya que se dispone de una fuerza activa tanto en el avance como en el retroceso. Se construyen siempre en forma de cilindros de émbolo y poseen dos tomas para aire comprimido, cada una de ellas situada en una de las tapas de cilindro. Se emplea en los casos en los que el émbolo tiene que realizar también una función en su retorno a la posición inicial. La carrera de estos cilindros suele ser más larga que en los cilindros de simple efecto [2].

Cuando el aire comprimido entra por la toma situada en la parte posterior, desplaza el émbolo y hace salir el vástago. Para que el émbolo retorne a su posición inicial, se introduce aire por la toma situada en la tapa delantera. De esta manera, la presión actúa en la cara del émbolo en la que está sujeta el vástago, lo que hace que la presión de trabajo sea algo menor debido a que la superficie de aplicación es más pequeña. En la Figura 2 se hace la representación del cilindro de doble efecto.

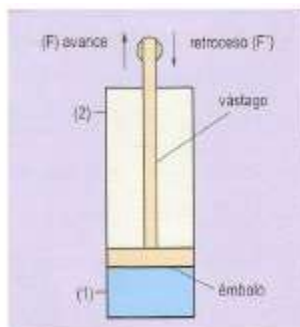


Figura 56 Cilindro de doble efecto

Válvulas anti retorno estranguladora

Las válvulas reguladoras o estranguladoras, que se muestra en la Figura 3, regulan la velocidad del avance y del retroceso del émbolo de actuadores neumáticos. Esta regulación se consigue mediante

una estrangulación apropiada del caudal de aire comprimido, tanto en sentido de escape como en el sentido de la alimentación del aire.

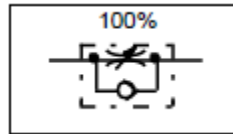


Figura 57 Válvula anti retorno estranguladora

Válvulas de 5/2 vías

Como se muestra en la Figura 4, tienen 5 conexiones y 2 posiciones, son utilizadas principalmente como elementos de maniobra para el accionamiento de cilindros. La válvula neumática conmuta al recibir una señal neumática. Al retirarse la señal, la válvula vuelve a su posición inicial por efecto de un muelle de recuperación.

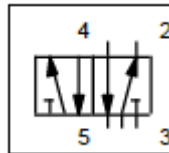


Figura 58 Válvula 5/2 vías

Válvulas de 3/2 vías

Este tipo de válvulas permiten activar o desactivar señales, tienen 3 conexiones y 2 posiciones. Normalmente son utilizadas para manejar cilindros simple efecto. Gracias a sus 3 vías, el flujo del aire puede ir en dos direcciones distintas y realizar el escape en su posición cerrada. Para este proyecto se utilizaron 2 tipos de accionamiento, tipo rodillo y con interruptor selector.

Válvula de 3/2 vías con interruptor selector, cerrada en posición normal. Girando el selector acciona la válvula. Al soltar el selector se mantiene el estado de conmutación. Al girar el selector a su posición inicial, la válvula vuelve a su posición normal, accionada por un muelle de recuperación. En la Figura 5 podemos observar la simbología de este tipo de válvula.

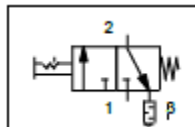


Figura 59 Válvula 3/2 vías con interruptor selector

Válvula de 3/2 vías accionada por rodillo, normalmente cerrada. La válvula se acciona presionando sobre la palanca con rodillo, por ejemplo, con la leva de conmutación de un cilindro. Al soltarse la palanca con el rodillo, la válvula vuelve a su posición normal por efecto de un muelle de recuperación. En la Figura 6 se muestra la simbología de este tipo de válvula.

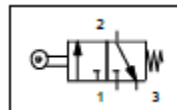


Figura 60 Válvula 3/2 vías accionada por rodillo

Válvula selectora

Estas válvulas permiten la circulación de aire desde dos entradas opuestas a una sola salida común. El aire que entra por el conducto de la derecha (1) desplaza la bola hacia la izquierda, bloquea esta salida y se va a través de la vía de utilización (2). En el caso de que el aire entre por la izquierda, la

bola se desplazará hacia la derecha y el aire circulará igualmente hacia la vía de utilización (2). Esta válvula se utiliza cuando se desea mandar una señal desde dos puntos distintos; eléctricamente se conoce como montaje paralelo y también recibe el nombre de módulo O (operador lógico OR), por su denominación en lógica digital. En la Figura 7 se muestra la simbología de este tipo de válvula.

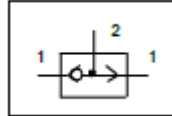


Figura 61 Válvula selectora

Unidad de mantenimiento

La unidad de mantenimiento es para purificar el aire comprimido, ajustar una presión constante del aire y añadir una fina neblina de aceite al aire comprimido, para lubricar a los actores como cilindros o motores neumáticos. Así la unidad de mantenimiento como se muestra en la Figura 8, aumenta considerablemente la seguridad de funcionamiento.

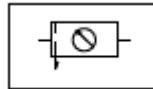


Figura 62 Unidad de mantenimiento

Fuente de aire comprimido

Es en el momento en el que se aspira el aire del medio ambiente y se dirige a un compresor el cuál se encarga de elevar la presión del aire atmosférico aspirado, por medio de una disminución de su volumen según el tipo de construcción del compresor. En la Figura 9 podemos ver la simbología de este componente neumático.



Figura 63 Fuente de aire comprimido

Válvula de simultaneidad

Se utilizan cuando se necesitan dos o más condiciones para que una señal sea efectiva. Cuando tenemos solamente señal (presión) por una de las dos entradas (1), ella misma bloquea su circulación hacia la vía de utilización (2). Sólo cuando están presentes las dos señales de entrada (1) se tiene salida por 2. Eléctricamente se conoce como montaje en serie y también recibe el nombre de módulo Y. Como se muestra en la Figura 10 se denomina "Y" porque si hay presión en las 2 entradas, puede haber una señal de salida.

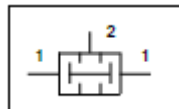


Figura 64 Válvula de simultaneidad

Método de Cascada

Es un sistema sencillo para la resolución de circuitos neumáticos secuenciales, en los cuales, se repitan estados neumáticos. El método consta de una serie de pasos que deben seguirse sistemáticamente:

- Definir la secuencia. Lógicamente, conforme al funcionamiento que se desea del sistema. Si se quiere un avance del cilindro A, un avance del cilindro B y un retroceso simultáneo de ambos, la secuencia quedaría de la siguiente forma: A+ B+ (A- B-)
- Determinar los grupos. Teniendo en cuenta que en un mismo grupo no puede repetirse la misma letra y que si en el último grupo hay una o más letras que no están en el primer grupo, pasarían a éste, delante de la primera letra de la secuencia.
- Colocar tantas líneas de presión como grupos hay en la secuencia y tantas válvulas distribuidoras de línea, como grupos menos uno.

SIMULACIÓN

Procedimiento de moldeo y estampado de la pieza.

El proceso de embutido que consiste en colocar la lámina de metal sobre un dado y luego presionándolo hacia la cavidad con ayuda de un punzón que tiene la forma en la cual quedará formada la lámina. Por lo que como primer paso el operador coloca el metal en la prensa, al colocarlo el operador acciona un botón pulsado para iniciar el proceso, en el cual uno de los cilindros bajará para hacer presión en la pieza este bajara hasta la parte hueca donde se le dará forma, al terminar 2 de los cilindros subirán la pieza ya moldeada mediante una plataforma que al estar en posición será movida por otro cilindro que la llevará a la parte de estampado, al estar la pieza colocada uno de los cilindros bajará y este hará contacto con la pieza para realizar el proceso de estampado en el cual contiene la marca de la compañía, al terminar la pieza es retirada. La Tabla 1 se muestra el material utilizado para realizar la simulación.

Tabla 17 Componentes

Cantidad	Componente
5	Cilindro doble efecto
8	Válvula de 5/n vías
10	Válvulas antirretorno estranguladora
12	Válvula de 3/n vías
7	Fuente de aire comprimido
1	Unidad de mantenimiento
2	Válvula de aceleración NC (temporizador)
4	Válvula selectora
8	Aparato de medición de presión
2	Válvula de simultaneidad

Secuencia del funcionamiento

Una vez analizado el procedimiento de moldeo y estampado se realiza la secuencia con la que los cilindros funcionan sincronamente, la secuencia de movimiento de los cilindros de doble efecto se muestra a continuación en la Figura 11.

$$A+A- \left| \begin{array}{c} B+ \\ C+ \end{array} \right| \left| \begin{array}{c} B- \\ C- \end{array} \right| D+D-E+E-$$

Figura 65 Secuencia

Procedimiento usando el método de cascada

Como primer paso se divide por grupos la secuencia con la que se planteó el problema, para así tener 4 grupos lo cual significa que para realizar la simulación en el programa se necesitarán 4 líneas

para que funcione correctamente, para conocer la cantidad de válvulas auxiliares de 5/2 vías. En la Figura 12 se muestra cómo serán estos 4 grupos de acuerdo a la secuencia.

$$G2 = A - \left| \begin{array}{c} B+ \\ C+ \end{array} \right| \quad G3 = \left| \begin{array}{c} B- \\ C- \end{array} \right| D+ \quad G1 = A + E - \\ G4 = D - E +$$

Figura 66 Grupos

En la Figura 13 se muestra la conexión de los cilindros de doble efecto con sus válvulas anti retorno de estrangulamiento y unas válvulas de 5/2 vías respetivamente.

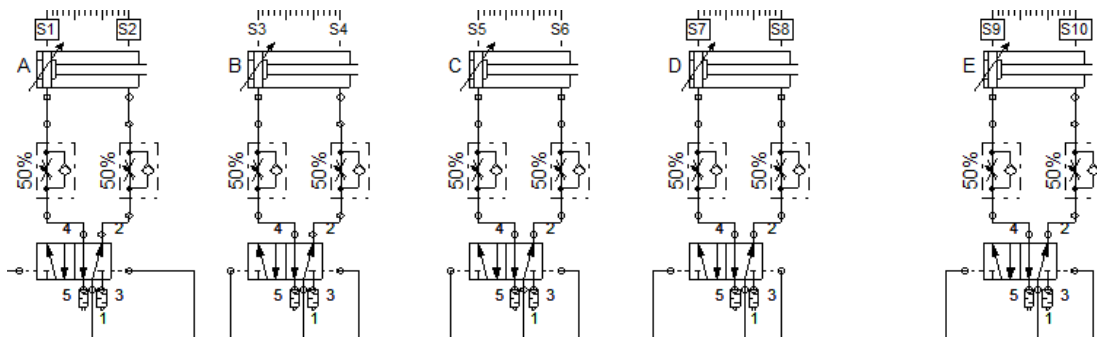


Figura 67 Conexión de cilindros doble efecto

En la Figura 14 se muestra la conexión de las válvulas de 5/2 vías a las líneas de flujo de aire que están conectadas a válvulas de 3/2 vías con rodillo esto para el cambio de fase en cada grupo al igual se podrá observar que se agregaron válvulas selectoras ya que esto nos permite que el aire pueda entrar por dos caminos. También se puede observar que se agregó una válvula selectora y al primer cilindro se le agregó un temporizador esto para que dure cierto tiempo funcionando.

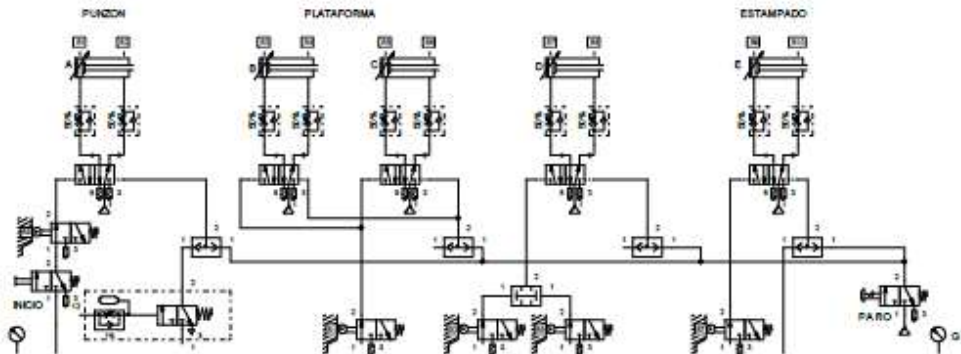


Figura 68 Válvulas de 3/2 vías para cambio de fase en cada grupo

En la Figura 15 se puede observar que, en la parte de abajo a las líneas de flujo de aire están conectadas 3 válvulas de 5/2 vías y a ellas una válvula de aceleración NC (temporizador) donde está controlando el tiempo que estará el cilindro E activado. Y 5 válvulas de 3/2 vías que se conoce que controlarán el cambio de fase en cada grupo.

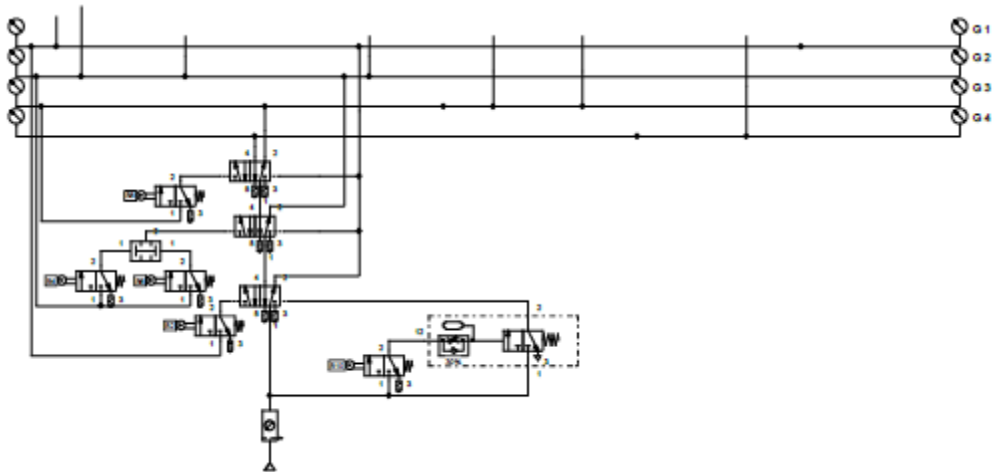


Figura 69 Válvulas de 3/2 vías para cambio de grupo con válvula de aceleración NC

En la Figura 16 se muestra la conexión completa del circuito neumático en el programa Festo FluidSIM.

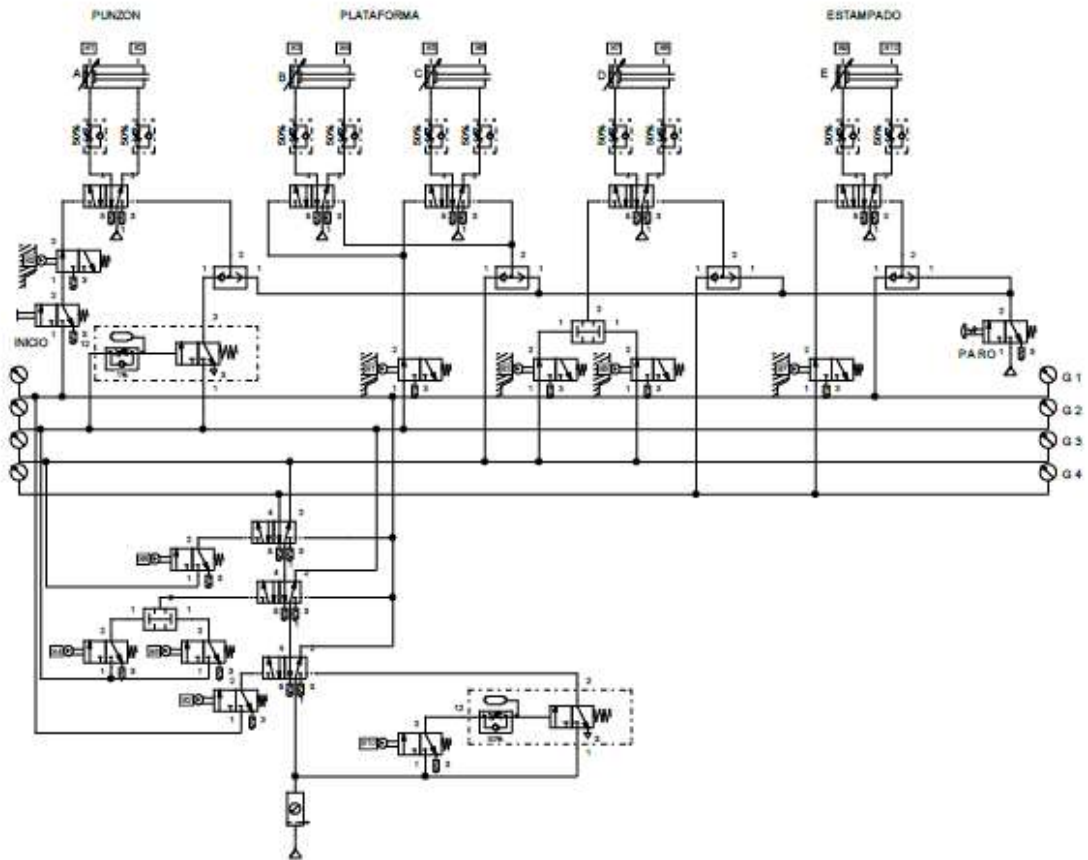


Figura 70 Circuito neumático terminado

En la Figura 17 se muestra el diagrama de estado de los cilindros de doble efecto que son necesarios para el procedimiento.

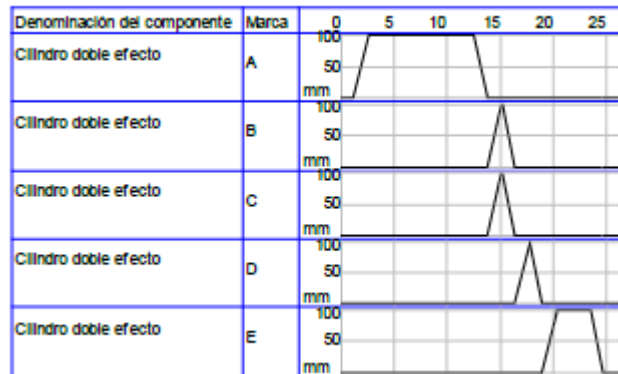


Figura 71 Diagrama de estado

RESULTADOS

Para evaluar la funcionalidad del circuito neumático que controla los procesos de moldeo y estampado se verificó el tiempo de respuesta, la repetitividad del proceso, la velocidad regulable de los actuadores neumáticos y la posibilidad de reconfigurar las secuencias neumáticas de control de manera flexible con un principio basado en el método de cascada y en la teoría de grupos.

De acuerdo a la secuencia neumática validada a través del simulador Fluidsim® de la empresa líder del sector de automatización electroneumática, Festo®, se pudo comprobar que los tiempos de ejecución de las secuencias se podían modificar de manera sencilla y que los movimientos de los actuadores neumáticos se pueden simplificar usando grupos de control secuencial.

El moldeo y el estampado son procesos de manufactura bastante comunes en el sector industrial metalmecánico y se pueden controlar de manera precisa a través de un sistema esbelto basado en la teoría de grupos implementada a través de control neumático.

CONCLUSIONES

El control neumático basado en la teoría de grupos y el método de cascada, es un método de automatización eficaz y confiable para el control de procesos que requieren un elevado índice de precisión en procesos de alta repetitividad. En este trabajo, el método de cascada se presenta como alternativa de control preciso, económico y con componentes esbeltos de fácil configuración. La automatización neumática es una técnica vigente y confiable, se sugiere emplear un sistema electroneumático para optimizar el desempeño de la secuencia y hacer más esbelto el sistema de control.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. L. Mott, Mecánica de Fluidos, México: Prentice-Hall, 2006.
2. R. L. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Prentice-Hall (Pearson), 2006.
3. J. N. R.G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill, 2012.
4. S. Kalpajian, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, CDMX: Pearson Prentice-Hall, 2014.
5. S. Kalpajian, Manufacturing Processes for engineering materiales, New York: Pearson, 2012.
6. S. S. S. S. C. Serope Kalpajian, Tecnologia meccanica, Roma: Pearson, 2011.
7. Festo, Neumática, Nivel Avanzado TP (Manual de trabajo 542504), CDMX: Festo, 2015.

ANÁLISIS DE PERFILES DE CARGA Y DESCARGA PARA SISTEMAS DE ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA BASADOS EN BATERÍAS DE IONES DE LITIO

Gerardo Vázquez Guzmán, Andrea Banda Estrada, José Miguel Sosa Zúñiga, Mario Alberto Juárez Balderas

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
gerardo.v.guzman@gmail.com.

RESUMEN

El almacenamiento de energía eléctrica ha atraído fuertemente la atención en los últimos años ya que su uso se ha extendido en gran medida debido al incremento en el uso de las fuentes de energía renovables y de los vehículos eléctricos. Los sistemas de almacenamiento de energía se pueden clasificar en Mecánicos, Electroquímicos, Eléctricos, Termoquímicos, Químicos y Térmicos¹. Dentro de los más populares están aquellos basados en fenómenos electroquímicos como las baterías². En este tipo de sistemas de almacenamiento existen fenómenos clave que deben ser estudiados para mejorar su desempeño, por ejemplo; el proceso de carga, el proceso de descarga, el estado de salud de la batería (SOH), el estado de operación de la batería (SOF) y el estado de carga de la batería (SOC)³. Los procesos de carga y descarga son muy importantes para una correcta operación de la batería por lo que es necesario hacer un estudio detallado de ellos^{4, 5, 6}. En el presente trabajo se propone hacer un análisis cualitativo y cuantitativo de los perfiles de carga y descarga usados comúnmente para las baterías de iones de Litio haciendo uso de la bibliografía encontrada en el estado del arte. Los resultados obtenidos a partir del análisis anterior muestran principalmente que la temperatura es un parámetro que juega un papel muy importante y que está directamente relacionado con el método utilizado para cargar o descargar la batería. Además, se encontró que las fallas en los procesos de carga principalmente son más frecuentes cuando se utilizan procesos de carga rápida. Se concluyó entonces, que el sistema utilizado para inyectar energía a una batería debe diseñarse cuidadosamente, de tal forma que se garantice la seguridad de los usuarios.

INTRODUCCIÓN

Los equipos electrónicos modernos y las aplicaciones de los vehículos eléctricos se han desarrollado rápidamente, lo que ha dado lugar a una creciente demanda de fuentes de energía de alta densidad, como las baterías recargables de iones de litio⁷, las cuales integran en su estructura elementos como:

- Un cátodo (electrodo positivo) típicamente basado en sólidos iónicos con una estructura lamelar o en capas, conocidos con el nombre genérico de sólidos de intercalación. Los más comunes son el LiCoO₂ (óxido de litio y cobalto (III)), LiNiO₂ (óxido de litio y níquel (III)), LiMn₂O₄ (espinela de litio y manganeso) y LiTiS₂ (sulfuro de litio y titanio (III)).
- Un ánodo de carbono grafitico o de Li metálico.
- Un electrolito no acuoso que separa los dos electrodos y a través del cual pueden migrar los iones Li⁺. Típicamente se utilizan sales anhidras de litio como LiPF₆, LiBF₄, LiClO₄ ó LiC(SO₂CF₃)₃, disueltas en un disolvente orgánico aprótico como el carbonato de etileno^{8,9}.

En muchas aplicaciones, la capacidad de recarga rápida y eficiente es un requisito crítico para una batería. En una batería de iones de litio, durante la carga, los iones de litio primero se difunden fuera del óxido de litio en el electrodo positivo, migran a través del electrolito y luego se difunden en la matriz de carbono en el electrodo negativo. Esto ocurre un determinado número de veces, lo que reduce la eficiencia del proceso de carga y da como resultado la reducción de la capacidad de almacenar energía en estas baterías.

Las técnicas de carga existentes para las baterías de iones de litio utilizan en gran medida un enfoque de lazo abierto en el que el perfil de carga se decide de antemano basándose en el conocimiento a priori de los parámetros de la celda¹⁰.

OBJETIVO GENERAL

Analizar los perfiles de carga de baterías de iones de Litio desde un punto de vista cualitativo y cuantitativo, considerando la temperatura como un parámetro determinante en la operación de este tipo de sistemas.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un estudio del estado del arte de los perfiles de carga y descarga usados comúnmente en sistemas basados en baterías de Litio.
- Establecer características particulares de cada uno de los métodos estudiados y determinar ventajas y desventajas.
- Realizar un análisis comparativo de los perfiles de carga y descarga estudiados.

TEORÍA

Para estas baterías, se han desarrollado varios métodos de carga con diferentes implicaciones en el tiempo de carga, la eficiencia de la carga, el aumento de la temperatura de la celda y el ciclo de vida. Los métodos más adoptados son:

- De carga de corriente constante-voltaje constante (Constant Current-Constant Voltage, CC-CV)
- De carga de temperatura constante-voltaje constante (Constant Temperature-Constant Voltage, CT-CV)
- De carga de control predictivo de modelos (Model Predictive Control, MPC)

Corriente constante-voltaje constante (CC-CV)

Este método de carga también se conoce como método de dos pasos, porque combina tanto CC como CV. El CC se aplica en la etapa inicial de carga hasta que la tensión de la batería alcanza una etapa de sobrecarga o un voltaje predefinido.

En una segunda etapa, el método de carga cambia a CV para mantener el voltaje de la batería, de modo que se evita la sobretensión. Investigaciones anteriores han demostrado que el método de carga CC-CV es el más eficiente para la carga de baterías, independientemente del tipo de batería, y también que es el método de control más utilizado. Sin embargo, su velocidad y eficiencia de carga son muy bajas. Además, el CC-CV no es adecuado para la carga rápida, ya que la etapa de carga del CV prolonga el tiempo de carga, provocando el aumento de la temperatura de la batería y la reducción de su ciclo de vida.

Temperatura constante-voltaje constante (CT-CV)

La temperatura desempeña un papel importante en muchos mecanismos de degradación electroquímica y mecánica dentro de una celda de iones de litio. La degradación se manifiesta en forma de deterioro del rendimiento, la seguridad y la salud de la celda. Por ejemplo, las temperaturas elevadas pueden acelerar el deterioro de la capacidad a largo plazo y aumentar las impedancias de la celda.

Teniendo esto en cuenta, el perfil de carga CT-CV está diseñado para permitir una carga más rápida manteniendo el mismo aumento de temperatura que el método CC-CV convencional. Esto permitiría reducir el tiempo de carga sin comprometer el ciclo de vida de la celda. Esto también plantea la posibilidad de cargar una celda de iones de litio a una corriente normal (1C) y mantener el aumento de temperatura dentro de límites aceptables. Para lograrlo, la magnitud de la corriente de carga debe controlarse en función de la temperatura medida de la celda.

Control predictivo de modelos (MPC)

Es un método de control que proporciona la secuencia de variables de control óptimas en un horizonte temporal finito mediante la resolución de un problema de optimización. Por lo tanto, es ampliamente utilizado en muchos campos^{2, 10}.

RESULTADOS

Como se muestra en la Figura 1, el perfil de temperatura típico durante la carga CC-CV tiene una temperatura más baja durante gran parte de la fase CC y una temperatura más alta durante el final del modo CC y el comienzo del modo CV. Esto implica que existe la posibilidad de aumentar la corriente de carga durante la parte inicial de la fase CC y de reducir la corriente cuando el modo CV es inminente.

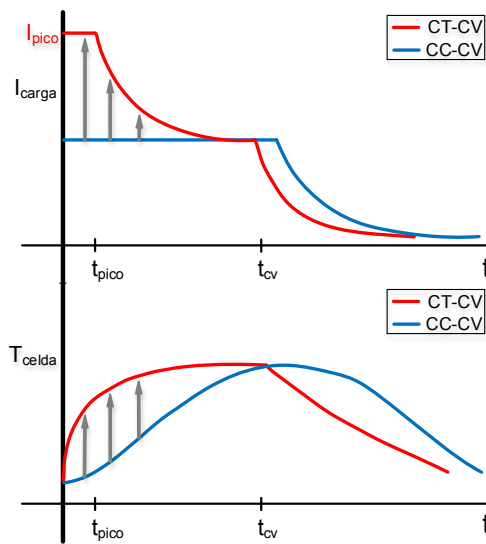


Figura 72. Representación conceptual de la carga CT-CV en comparación con la carga CC-CV¹¹

Sin embargo, la técnica de carga CT-CV monitoriza la temperatura de la celda y reduce la corriente de carga en lazo cerrado para limitar el aumento de temperatura al mismo valor que en la carga CC-CV. Esto sugiere que la técnica CT-CV tiene un efecto equivalente sobre la química y la vida útil de la batería que la carga CC-CV.

La Tabla 1 ilustra el aumento del SOC con el tiempo durante la carga, donde el cálculo del SOC se realiza integrando la corriente de carga.

Estado de carga (SOC) [%]	Tiempo que le toma en CC-CV [min]	Tiempo que le toma en CT-CV [min]	Reducción del tiempo de carga [%]
10	6.3	3.1	50.8
30	18.8	10.8	42.5
50	31.3	21.8	30.4
70	43.8	34.1	22.1
100	85.0	69.5	18.2

Tabla 18. Reducción del tiempo de carga¹¹

La técnica CT-CV carga completamente la celda en unos 70 minutos, mientras que la técnica CC-CV lo hace en 85 minutos. Por lo tanto, el método CT-CV consigue una carga un 18% más rápida manteniendo el mismo aumento de temperatura total de 7.5°C, de 21°C (temperatura ambiente) a 28.5°C, como se aprecia en la Figura 2.

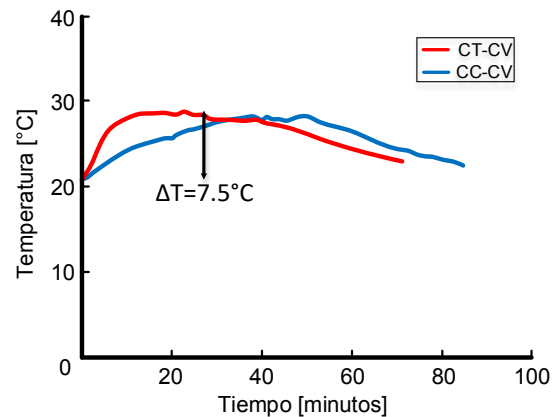


Figura 73. Temperatura obtenida de los métodos CC-CV y CT-CV de baterías de iones de litio¹¹

En muchas aplicaciones, la batería se carga sólo hasta aproximadamente el 80% de SOC teniendo como objetivo una mayor vida útil del ciclo o porque no hay suficiente tiempo disponible para cargar completamente la celda. En estos casos, la técnica CT-CV cargaría la celda en 40 minutos, mientras que el método CC-CV tardaría 50 minutos. Esto supone una reducción del 20% en el tiempo de carga. Si se considera el tiempo de carga hasta el 50% del SOC, la reducción del tiempo de carga es del 30% (CC-CV 31 minutos, CT-CV 22 minutos).

El método de control más utilizado para la carga de las baterías es el de CC-CV. Sin embargo, este método de control requiere un largo tiempo para cargar la batería. Esta prolongación en el tiempo de carga genera subidas de temperatura de la batería, por lo que produce daños irreversibles en la misma. Además, durante el proceso de carga y descarga de la batería, los controles tradicionales dejan algunos aspectos sin controlar. Para solucionar estos sucesos, también se aplica el método MPC, siendo este un tema de interés los resultados obtenidos con ambos métodos se muestran en la Figura 3.

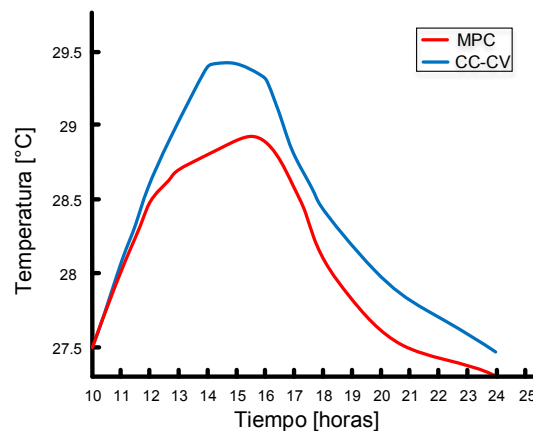


Figura 74. Temperatura obtenida de los métodos CC-CV y MPC de batería de plomo-ácido²

A pesar de las ventajas del controlador MPC en comparación con el controlador CC-CV, se requiere su implementación en entornos reales con sistemas de almacenamiento de energía a gran escala, ya que muchos de los resultados se han obtenido mediante simulación^{2,10,11}.

CONCLUSIONES

El diseño de un método de carga debe ir de acuerdo con las características de la batería seleccionada, en este caso para una de iones de litio, esto debido a los parámetros que se pueden ver afectados, como lo es la elevación de temperatura y su repercusión en el estado de salud de la batería. Pues en muchas ocasiones, al estar en proceso de carga la batería se suele calentar y con el paso del tiempo rebasar los niveles de temperatura permitidos por la batería, causando la inflación

de esta o, en el peor de los casos, una explosión que puede dañar al usuario. A partir del análisis realizado se buscar plantear ideas como el uso combinado del método de temperatura constante y el método de voltaje constante, con lo cual se puede lograr evitar la dependencia de la medición de la temperatura al menos en un 50% del proceso de carga de la batería.

BIBLIOGRAFÍA

1. X. Luo, J. Wang, M. Dooner, J. Clarke, "Overview of current development in electrical energy storage technologies and the application potential in power system operation", in *Applied Energy*, vol. 137, 2015, pp. 511-536.
2. E. Banguero, A. Correcher, Á. Pérez-Navarro, F. Morant, A. Aristizabal, "A Review on Battery Charging and Discharging Control Strategies: Application to Renewable Energy Systems", in *Energies*, vol. 11, 2018, pp. 1021.
3. R. Xiong, L. Li, J. Tian, "Towards a smarter battery management system: A critical review on battery state of health monitoring methods", in *Journal of Power Sources*, vol. 405, 2018, pp. 18-29.
4. W.-X. Wang, "Research on energy storage of super capacitor, accumulator and lithium batteries in distributed systems", in *Sensors and Transducers*, vol. 173, 2014, pp. 204-209.
5. H. Liu, Z. Wei, W. He, J. Zhao, "Thermal issues about Li-ion batteries and recent progress in battery thermal management systems: A review", in *Energy Conversion and Management*, vol. 150, 2017, pp. 304-330.
6. A. Seaman, T.-S. Dao, J. McPhee, "A survey of mathematics-based equivalent-circuit and electrochemical battery models for hybrid and electric vehicle simulation", in *Journal of Power Sources*, vol. 256, 2014, pp. 410-423.
7. A. Franco, "Multiscale modelling and numerical simulation of rechargeable lithium ion batteries: concepts, methods and challenges", in *RSC Advances*, vol. 3, 2013.
8. A. Franco, "Rechargeable lithium batteries: from fundamentals to applications", in *Woodhead Publishing*, vol. 1, 2015.
9. N. Meena, V. Baharwani, D. Sharma, "Charging and discharging characteristics of Lead acid and Li-ion batteries", in *Energy-Environment Technology Development Division* (The Energy and Resources Institute (TERI), New Delhi, India, 2018).
10. V. A. Marcis, A.V.J.S. Praneeth, L. Patnaik, S. S. Williamson, "Analysis of CT-CV Charging Technique for Lithium-ion and NCM 18650 Cells", in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2020, pp. 4-6.
11. L. Patnaik, A. V. J. S. Praneeth, S. S. Williamson, "A Closed-loop Constant-temperature Constant-voltage Charging Technique to Reduce Charge Time of Lithium-ion Batteries", in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 66, 2019, pp. 1-7.

IMPACTO QUE GENERA LA PUBLICIDAD DE FACEBOOK HACIA LAS PERSONAS DENTRO DE UN COMERCIO DE ROPA EN LA CIUDAD DE IRAPUATO EN TIEMPO DE PANDEMIA COVID -19

Jazmín Alejandra Rea Vázquez, Rosa María Gonzales Rosales.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

LIS17110988@irapuato.tecnm.mx , LIS17110096@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Con el comienzo de la pandemia COVID 19 el nivel de ventas y utilidad para muchas empresas se vio afectado, se sabe que los incrementos de ventas de cada establecimiento son generados con la ayuda de la publicidad que cada negocio implementa en este. Ante ello la pandemia trajo que muchos negocios tuvieran que cerrar sus puertas, de manera que las empresas se dieran a la necesidad de optar por estrategias para transformar sus negocios y seguir posicionados en el mercado. Dado que, la llegada de la evolución publicitaria juega un papel muy importante actualmente, el cambio que ha experimentado la publicidad en redes sociales ha sido un pilar del que empresas han logrado nuevamente posicionar sus negocios ante el público. Por lo que, se propuso el siguiente objetivo identificar las diferencias de ventas tras el impacto que genera el conllevar publicidad en la red social de Facebook vs la publicidad convencional que anteriormente se está llevando a cabo en tiempos de pandemia COVID 19. El sujeto de estudio fue un establecimiento de ropa de Irapuato llamado "Lau la- Boutique", con una muestra de tipo muestreo no probabilístico, de estudio de caso, el tipo de estudio se definió cuantitativo. Por otra parte, el instrumento utilizado fue el libro diario en donde se pudieron obtener todos los datos necesarios para la investigación. Se realizó un vaciado de datos misma que después de recaudar todo lo necesario se postero a analizar mediante estadística descriptiva y el apoyo de software SPSS v.21. Se pudo apreciar que efectivamente existe un incremento satisfactorio en las ventas establecidas en los periodos marcados que se utilizaron para la investigación, de acuerdo con los resultados obtenidos se planteó que al implementar esta nueva estrategia en el negocio pudo salir a flote mejorando su capacidad de vender al público y haciendo un acercamiento con cada cliente.

Palabras claves: publicidad, ventas, posicionar, redes sociales.

INTRODUCCIÓN

Hasta hace un tiempo la publicidad ha tenido como meta principal alcanzar a su público buscando su interés y atención a través los mensajes repetitivos centrados de sus productos. En la actualidad el gran impacto publicitario que ha surgido dentro de la plataforma de Facebook se ha convertido en la herramienta perfecta para conectar a miles de empresas con sus clientes. Puesto que, se ha incorporado de una manera extremadamente versátil brindando nuevas oportunidades de crecimiento al tener mayor interactividad del público. Las redes sociales han modificado la publicidad convencional que se veía anteriormente en un espacio innovador que mejora la actividad comercial y ante la situación de contingencia que se vive hoy en día empresas buscan incorporar estrategias para adaptarse ante los nuevos cambios, el apostar por nuevas formas de comunicación, cuyo contenido sea relevante, llame la atención sin saturar, y que logre una verdadera conexión entre el consumidor y la empresa. La implementación de esta herramienta puede ayudar a la empresa no solo en expandirse, sino que también a conocer más a sus consumidores, recuperar el mercado y atraer nuevos clientes.

El presente trabajo de investigación tiene como objetivo principal diferenciar la publicidad convencional y la publicidad ofrecida en Facebook al evaluar el impacto que ha generado la publicidad en dicha red hacía las personas dentro de un comercio de ropa "Lau la- Boutique" de la ciudad de Irapuato en tiempos de pandemia (COVID- 19).

Finalmente, el desarrollo de esta investigación surge a partir de la recopilación de diversas fuentes de información además del estudio dentro del comercio de ropa "Lau la- Boutique".

TEORÍA

Mercadotecnia

A) Estrategias mercadológicas

El marketing tiene diversas definiciones, según Philip Kotler (considerado padre del marketing) es el proceso social y administrativo por el cual los grupos e individuos satisfacen sus necesidades al crear e intercambiar bienes y servicios.

Sin embargo, hay otras definiciones, como la que afirma que el marketing, es el arte o ciencia de satisfacer las necesidades de los clientes y obtener ganancias al mismo tiempo.

Desde que el hombre existe se han producido numerosas relaciones de intercambio, desde las más simples, como el trueque, hasta las más complejas de hoy en día. Pero al mismo tiempo que evolucionaban estas relaciones el término marketing también lo hacía.

A finales de la década de los 70, el marketing estaba relacionado con las empresas de modo que su definición se limitaba a las relaciones de intercambio que se producían en el mercado. Es decir, se limitaba a la idea de las transacciones de productos o servicios.

El concepto de estrategia es objeto de muchas definiciones lo que indica que existe una definición universalmente aceptada. Así de acuerdo con 19 autores, aparecen definiciones tales como:

- Conjunto de relaciones entre el medio ambiente interno y externo de la empresa.
- Un conjunto de objetivos y políticas para lograr objetivos amplios.
- La dialéctica de la empresa con su entorno
- Una forma de conquistar el mercado.
- La declaración de la forma en que los objetivos serán alcanzarse, subordinándose a los mismos y en la medida en que ayuden a alcanzarse
- La mejor forma de insertar la organización a su entorno

Las estrategias de marketing son acciones que se llevan a cabo para lograr un determinado objetivo de marketing, objetivos tales como captar más clientes incentivar las ventas dar a conocer los productos informar sobre sus principales características, etc. (Garibay, 2018)

B) Áreas de la mercadotecnia

Permiten manejar una amplia información sobre el producto, servicio sobre el cual pretende obtener mayor rentabilidad. A continuación, se muestran las áreas de actividad que componen la gestión de marketing:

- Investigación de mercado.
- Programación, desarrollo y fijación de precios sobre un producto.
- Los canales para la distribución del mismo, así como la logística.
- Comunicación integral: referente a la publicidad del producto, imagen, marketing. directo, las relaciones públicas, entre otras.
- Ventas y organización del departamento destinado al área comercial.
- Desarrollo de producto nuevos y servicio al cliente.
- Recurso del marketing digital. (Montoya, 2017)

C) Publicidad

Es aquella técnica destinada a difundir o informar al público sobre un bien o servicio a través de los medios de comunicación (televisión, cine, radio, revistas, Internet) con el objetivo de motivar al público hacia una determinada acción de consumo. Según la conclusión de Wells, Burnett y Moriarty la publicidad es “comunicación impersonal pagada por un anunciante identificado que usa los medios de comunicación con el fin de persuadir a una audiencia (público) o influir en ella”. Para lograr la influencia de la publicidad con la infinidad de grupos objetivos, es necesario contar con el tipo adecuado de publicidad para llegar a cada grupo objetivo. (Burnett 1997: Pág.12)

D) Tipos de publicidad

Publicidad Institucional o Corporativa:

Promueve a la compañía como un todo y está diseñada para establecer, cambiar o mantener la estabilidad de la empresa. Por lo general no invita al público a que haga algo, pero mantiene una actitud favorable hacia el anunciante y sus productos y servicios. La campaña se concentra en la diversidad de productos, ambientalismo y la innovación.

Publicidad de Producto:

Promueve los beneficios de un producto o servicio específico. La etapa del ciclo de vida en que se halla suele determinar el tipo de publicidad a usar, las cuales son:

• Publicidad Pionera:

Trata de estimular la demanda primaria de un nuevo producto o categoría de producto. Muy usada durante la etapa introductoria del ciclo de vida del producto, ofrece a los consumidores vasta información acerca de los beneficios de la clase del producto. Además, también busca crear interés.

• Publicidad Competitiva:

Las empresas usan la publicidad competitiva o de marca cuando un producto ingresa en la fase de crecimiento del ciclo de vida y otra compañía entra en el mercado. En lugar de cultivar la demanda por la categoría del producto, la meta de la publicidad competitiva consiste en influir en la demanda de una marca específica. En esta fase, la promoción se vuelve menos informativa y apela más a las emociones. (Zamora, 2018).

• Publicidad Comparativa:

Coteja en forma directa o indirecta dos o más marcas competidoras en relación con uno o más atributos precisos. Algunos anunciantes incluso la utilizan contra sus propias marcas. Los productos que pasan por una etapa de crecimiento flojo o los que ingresan en el mercado contra competidores fuertes son los que con mayor probabilidad emplearían las comparaciones en su publicidad.

La publicidad comparativa, conlleva a problemas judiciales, si ésta hace descripciones falsas de los productos de la competencia y si muestran sus productos o mencionan sus marcas de manera falsa o incorrecta.

• Campaña de Publicidad:

Es una serie de anuncios relacionados entre sí que se enfocan en un tema, slogan y conjunto de mensajes publicitarios comunes. Es un esfuerzo específico de publicidad para un producto en particular que se extiende por un periodo definido. (Zamora, 2018).

E) Elementos de la publicidad**• Emisor**

Es el encargado de definir los objetivos publicitarios, los medios y los mensajes publicitarios que serán enviados al receptor (público). El Emisor es el negocio o empresa que lanza la campaña publicitaria.

• Objetivo publicitario

Es el objetivo que se pretende alcanzar al hacer uso de la publicidad, por ejemplo, el de dar a conocer la existencia de un nuevo producto, el de informar sobre sus principales características, el de persuadir o motivar su compra, el de hacer recordar su existencia, etc. (Castro, 2019)

• Medio o canal publicitario

Es el medio o canal a través del cual se envía el mensaje publicitario al público objetivo; ejemplos de medios publicitarios son: la televisión, la radio, diarios, revistas, Internet, correo tradicional y electrónico, ferias, campañas, eventos, afiches, carteles, folletos, volantes, etc.

• Mensaje publicitario

Es el mensaje que se envía al público objetivo a través de los medios o canales publicitarios. El mensaje publicitario debe señalar las principales características, beneficios o atributos del producto. Debe estar compuesto de un lenguaje claro, fluido y fácil de entender.

El mensaje publicitario deberá captar la atención del consumidor, y deberá ser un mensaje veraz, no se debe ofrecer algo que el producto no posea o algo que no se pueda cumplir.

• Receptor

Es quien recibe el mensaje publicitario, a través de los medios o canales publicitarios. El receptor está conformado por el público objetivo. (Castro, 2019).

F) Publicidad en línea

Desde su origen, el objetivo de la publicidad ha sido persuadir a potenciales clientes con la finalidad de que consumiesen el producto anunciado. En sus inicios, el discurso publicitario mostraba las características básicas del objeto, sus atributos propios y sus bondades. Sin embargo, esta narrativa ha ido evolucionando hasta la actualidad, en donde predomina un discurso centrado en la venta de emociones y experiencias.

Se ha avanzado de un discurso denotativo a un discurso simbólico, en donde este mismo simbolismo establece el valor diferencial del producto con respecto a otros similares. No se vende el artículo de forma directa, sino que se apela a significados concretos, universalmente conocidos y, por tanto, fácilmente identificables, que son los deseados por el receptor. Estos elementos simbólicos en venta son emociones asociadas al consumo del producto.

“Queda en el pasado la publicidad que se destacaba por resaltar los beneficios de los productos. Hoy en día, esos beneficios no siempre pueden ser racionales, porque todos ofrecen ventajas similares; esto explica la proliferación de la publicidad emocional, donde se destacan ante todo valores asociados a deseos, anhelos y aspiraciones internas de los individuos”. (López, 2007, p. 29).

PARTE EXPERIMENTAL

El uso de la publicidad convencional y la red social Facebook en la actualidad tiene fuertes implicaciones en lo social, estas nuevas tecnologías trascienden cada día más y tienen cierta complejidad, tanto en su uso, como en su difusión. El Internet provoca un despertar de intenciones, crea en el consumidor y en el vendedor esa necesidad de programar algo nuevo.

De acuerdo con ello, se presenta los tipos de estudio que definen esta investigación:

En esta investigación se utilizará la técnica cuantitativa, en tanto que las ventas serán registradas mediante elementos numéricos como son los ingresos mensuales y la cantidad de prendas vendidas. El diseño de la investigación es No experimental, transversal, comparativa, debido a que su estudio no permite la manipulación de variables y se basa fundamentalmente en la observación tal y como se dan su contexto natural dentro del área de ventas de “Lau la- Boutique”. Y también porque se realizará una sola medición de comparación, para hacer la relación de las variables. Se utilizó el libro diario ya que es, un instrumento material que registra cronológicamente los hechos contables realizados por la empresa, expresando la coordinación entre las cuentas en que deben ser inscritas las correspondientes variaciones de Luca Pacioli (1445 - 1517), de este mismo fue donde se obtuvo la información del comercio de ropa “Lau la- Boutique”. A continuación, se muestra el procedimiento que se realizó para el estudio:

1. Contactar a la dueña de la tienda de ropa “Lau la- Boutique” para solicitar el permiso y agendar fecha.
2. Asistir a la tienda en la fecha y hora asignada.
3. Se exponen los fines de estudio y los elementos éticos aplicables.
4. Especificar la información requerida, realizar los acuerdos de confidencialidad y consentimiento informado.
5. La empresa entrega información.
6. Se vacía información.
7. Se elabora la base de datos en SPSS v.
8. Plantear la hipótesis nula (H_0) y la hipótesis alternativa (H_1).
9. Determinar el nivel de significancia.
10. Evidencia muestral, se calcula la media y la desviación estándar a partir de la muestra.
11. Se aplica la distribución T de student.
12. Realizar la prueba de hipótesis.
13. En base a la evidencia disponible se acepta o se rechaza la hipótesis.
14. Redactar los resultados.
15. Presentar el informe

RESULTADOS

En el siguiente apartado se muestran los resultados para la hipótesis “La publicidad a través de la red social de Facebook presenta un incremento en ventas con relación a la publicidad convencional en el comercio de ropa “Lau la- Boutique” de la ciudad de Irapuato en periodo de pandemia”, respecto a las prendas vendidas de “Lau la- Boutique” por un lapso de marzo 2019 a febrero 2020 haciendo uso de la publicidad convencional y de marzo 2020 a febrero 2021 utilizando la red social de Facebook. Los resultados se agrupan por categoría y el total final permite analizar los diferentes totales de prendas vendidas.

Tabla 1. Resultado de número de prendas vendidas por medio de la publicidad convencional marzo 2019 – febrero 2020.

Mes	Pantalones / shorts	Blusas / vestidos /	Suéteres/ abrigos/ chamarras/ sudaderas	Accesorios	Total, de prendas vendidas marzo 2019 – febrero 2020
Marzo	23	21	9	24	77
Abril	17	20	13	22	72
Mayo	31	18	20	27	96
Junio	19	15	8	16	58
Julio	25	19	13	21	78
Agosto	23	22	12	15	72
Septiembre	28	14	18	23	83
Octubre	27	16	11	19	73
Noviembre	33	20	20	25	98
Diciembre	57	38	39	40	174
Enero	16	14	17	33	80
Febrero	25	22	18	17	82
Total:	324	239	198	282	1043

Fuente: Elaboración propia. (Rea y González, 2021)

En la tabla 1, se concentran los resultados de ventas que se obtuvieron mediante la publicidad convencional, por categorías de un año marzo 2019 - febrero 2020, de la que se desprende lo siguiente: Respecto a la tabla se observa que de shorts y pantalones hubo un total de 324 prendas vendidas, en la categoría de blusas y vestidos existe un total de 239 unidades vendidas, en cuanto a los suéteres / abrigos / chamarras / sudaderas, hubo un total de 198, de accesorios vendidos hubo un total de 282. A lo que en ventas finales en prendas se obtuvo un total de 1043 unidades vendidas.

Tabla 2. Resultado de número de prendas vendidas por medio de la publicidad de la red social de Facebook marzo 2020 – febrero 2021

Mes	Pantalones / shorts	Blusas / vestidos	Suéteres/ abrigos/ chamarras/ sudaderas	Accesorios	Total, de prendas vendidas marzo 2020 – febrero 2021
Marzo	14	26	19	23	82
Abril	20	37	21	27	105
Mayo	37	42	19	44	142
Junio	34	40	22	50	146
Julio	48	69	26	28	171
Agosto	39	45	18	49	151
Septiembre	31	34	19	32	116
Octubre	33	46	31	41	151
Noviembre	41	32	31	34	138
Diciembre	76	60	64	72	272
Enero	24	27	22	31	104
Febrero	35	55	24	21	135
Total:	432	513	316	452	1713

Fuente: Elaboración propia. (Rea y González, 2021)

Respecto a la venta de pantalones/ shorts se observa que hubo una venta en unidades de 432, en cuanto a vestidos/ blusas se refleja una venta de 513 unidades, en suéteres/ chamarras/ sudaderas/ abrigos hubo una venta de 316 prendas, y por último de accesorios se observa que hubo un total de 452 unidades, por lo tanto, en este año hubo un total de prendas vendidas de 1713 unidades.

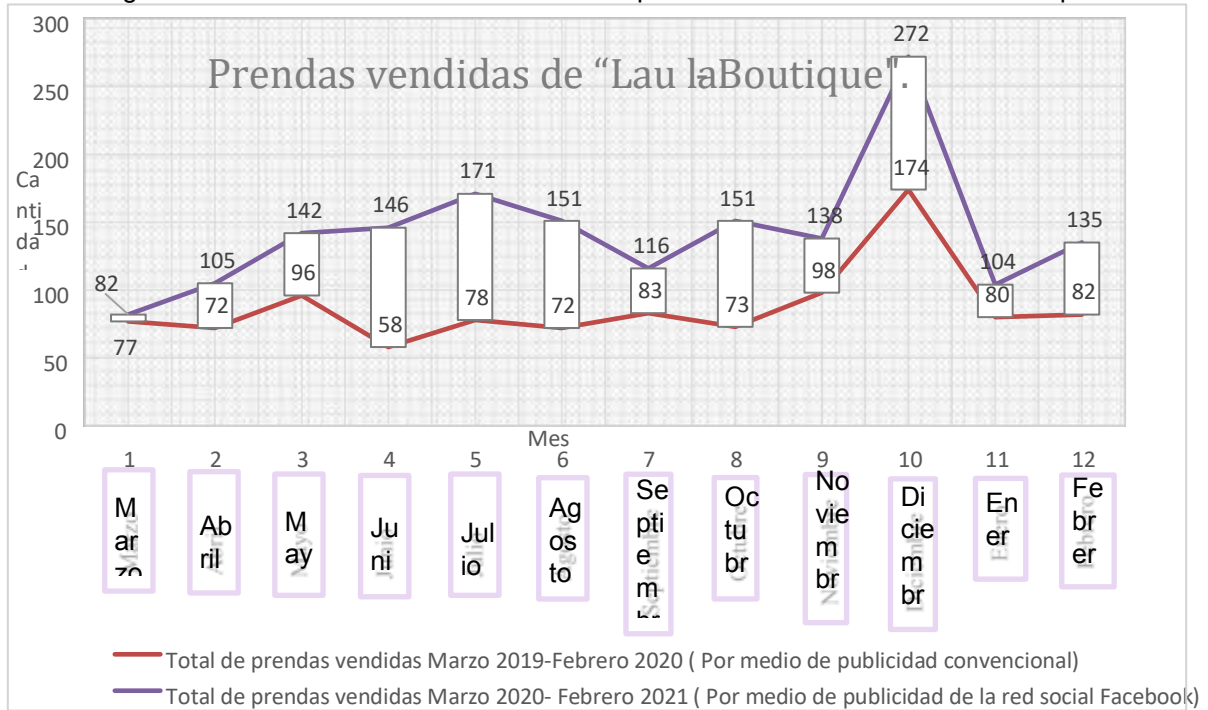
Tabla 3. Relación de ventas totales de acuerdo con la publicidad convencional marzo 2019 - febrero 2020 y la red social Facebook marzo 2020 – febrero 2021.

	Mes	Total, de prendas vendidas marzo 2019febrero 2020	Total, de prendas vendidas marzo 2020- febrero 2021
	Marzo	77	82
	Abril	72	105
	Mayo	96	142
	Junio	58	146
	Julio	78	171
	Agosto	72	151
	Septiembre	83	116
	Octubre	73	151
	Noviembre	98	138
	Diciembre	174	272
	Enero	80	104
	Febrero	82	135
	Total	1043	1713

Fuente: Elaboración propia (Jazmín Rea) Datos obtenidos de la bitácora de ventas de "Lau la-Boutique".

En la tabla 3, se muestra la relación total de ventas que existe entre los dos años de que se están comparando se puede visualizar que efectivamente existe un incremento de ventas aún mayor al implementar la publicidad mediante la red social Facebook.

Imagen 1. Grafica de resultados de número de prendas vendidas de “Lau la- Boutique”.



Fuente: Elaboración propia. (Rea y González) Datos obtenidos de la bitácora de ventas de “Lau la-Boutique”.

En el gráfico 1, se presenta el movimiento de ventas de las prendas por vía convencional y por la red social Facebook, donde se manifiesta un aumento particular para las segundas.

Se observa un aumento en las ventas respecto al año anterior, manteniendo los impactos de las temporadas, sin embargo, el número de ventas siempre supero a las establecidas por la metodología convencional, teniendo incluso incremento en las ventas en meses como junio y octubre, de igual manera se observa que los meses más favorables fueron el mes de julio y el mes de diciembre.

Tabla 4. Comparativo de ventas de ropa convencional vs redes sociales.

	N	ME	DE	t	p
Ventas marzo 2019 - febrero 2020 (Convencional)	12	86.91	29.43	3.44	0.002
Ventas marzo 2020 - febrero 2021 (Red social)	12	142.75	47.73		

Fuente: Elaboración propia. (Rea y González, 2021)

De acuerdo con la tabla 4, se observa que hay diferencia significativa entre las ventas convencionales y las realizadas con apoyo de redes sociales, siendo la mayor venta a favor de la

última, por lo que en el año 2020 a 2021 es mayor la cantidad de ventas en un 65.05% con respecto a las ventas de marzo 2019 a febrero 2020.

Atendiendo a que hay diferencia estadísticamente significativa en las medias de ventas a favor de la publicidad apoyada en redes sociales, se establece que la hipótesis "La publicidad a través de la red social de Facebook presenta un incremento en ventas con relación a la publicidad convencional en el comercio de ropa "Lau la- Boutique" de la ciudad de Irapuato en periodo de pandemia" es verdadera.

Esta investigación tuvo como propósito identificar y evaluar el impacto que se generó, tras optar por implementar en una tienda de ropa, la estrategia de marketing de llevar a cabo la publicidad de sus productos a través de la red social Facebook. En tanto a que se evidencio en los resultados del estudio un aumento en las ventas por mes, incluso con incrementos en meses donde no lo había en el periodo anterior, de una manera satisfactoria para "Lau la- Boutique".

El aumento de las ventas es consistente con lo reportado mediante los datos que se lograron recuperar de la bitácora de "Lau la- Boutique", gracias a estos datos se puede formular un estudio a profundidad que logro persuadir sus diferencias en los periodos marcados mencionados anteriormente que fueron marzo 2019 - febrero 2020 y marzo 2020 – febrero 2021, las ventas sin duda alguna se elevaron a su mayor intensidad, más prendas se estuvieron en venta, incluso al grado de doblar sus estimaciones.

En el estudio se evidencio un aumento en las ventas tras la implementación de la publicidad de Facebook, lo que manifiesta que el objetivo de la publicidad de persuadir a potenciales clientes con la finalidad de que consumiesen el producto anunciado se ha cumplido y que la intervención digital altero las tomas de decisiones respecto a las ventas en los clientes (Carrasco, 2017).

La publicidad que se dio a través de Facebook muestra que se ha vuelto objeto para que mayor audiencia pueda percibirla, sus anuncios sin duda alguna posicionan a clientes potenciales, si bien (Martínez) 2011, señala que el discurso publicitario ha sido transformado hasta la actualidad, en donde predomina un discurso centrado en la venta de emociones y experiencias a la hora de adquirir un producto. Se ha podido

CONCLUSIONES

Con la aplicación de publicidad apoyado por la red social de Facebook se manifestó desde el primer mes un aumento en el número de prendas, tipo de prenda y ventas reportadas en relación con el año anterior, así mismo se presenta un aumento en cada mes, particularmente con picos en el mes de abril, mayo, julio y diciembre en aumentos de ventas desde un 45% al 119%.

Los meses de septiembre y noviembre presentaron caída en las ventas y un comportamiento distinto al del año anterior al ejercicio de la nueva estrategia de publicidad.

La implementación de la publicidad por la red social de Facebook es sencilla de colocar y tiene un alcance mayor que los demás medios, ya que se realiza mediante sencillos pasos a través de Internet. Uno de estos pasos es la segmentación del público objetivo al que está dirigido, lo que resulta ágil debido a la información que la red social le aporta al anunciante. Con ello, el anuncio se dirige exclusivamente al segmento deseado, lo que los hace una alternativa eficiente y eficaz, que en lo particular de este estudio derivó en un aumento de las ventas.

La pandemia COVID-19 ha generado que surgieran nuevas formas de comercio, entre ellas la venta apoyada en redes sociales, que, aunque ya existía previo al periodo de confinamiento, en este lapso tomo un papel importante como mecanismo de publicidad y prestación de servicio, ya que los consumidores podrían adquirir mercancías y servicios desde sus hogares.

De igual manera, este esquema de publicidad y venta permite a los mismos dueños interactúan con los usuarios que manejan las redes sociales, lo que repercute en un servicio de mayor calidad y ante ello un incremento en el valor económico. De ello resulta necesario decir que los resultados obtenidos han determinado la importancia de usar esta plataforma en el negocio publicitario.

BIBLIOGRAFÍA

1. Giraldo, V. (23 de agosto de 2019). rockcontent.com. Obtenido de <https://rockcontent.com/es/blog/publicidad/>

2. Rodrigo, E. M. (15 de febrero de 2021). <http://vivatacademia.net/>. Obtenido de <http://vivatacademia.net/index.php/vivat/article/view/73>
3. Madrid, J. E. (14 de diciembre de 2014). Scielo.org.mx. Obtenido de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57952014000300014
4. Pacheco, L. M. (3o de mayo de 2017). Scielo.org.bo. Obtenido de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S252127372017000100006&lng=es&nrm=iso
5. Carrasco, J. B. (2015). Academia.edu. Obtenido de https://www.academia.edu/35225775/universidad_complutense_de_madrid_facultad_de_ciencias_de_la_informaci%C3%93n_departamento_de_comunicaci%C3%93n_audiovisual_y_publicidad_i_tesis_doctoral
6. Unir.net. (27 de mayo de 2020). Obtenido de <https://www.unir.net/marketing-comunicacion/revista/elfuturo-del-marketing-digital-tras-el-coronavirus/>
7. (S/f). Recuperado el 14 de mayo de 2021, de Researchgate.net website: https://www.researchgate.net/publication/267508677_De_la_publicidad_tradicional_a_la_publicidad_digital_Desafios_para_agencias_y_profesionales
8. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s/f). COVID-19. Recuperado el 8 de mayo de 2021, de Org.mx website: <https://www.inegi.org.mx/investigacion/covid/>
9. Newberry, C. (7 de Agosto de 2019). Hootsuite.com. Obtenido de <https://blog.hootsuite.com/es/publicidad-en-redes-sociales/>
10. Dávila, N. (19 de Noviembre de 2020). geotelecom.es. Obtenido de <https://www.geotelecom.es/historia-de-la-publicidad-internet-redes-sociales/>
11. Vision Digital. (28 de Septiembre de 2011). Obtenido de <http://vision-digital.com.mx/2011/09/28/elimpacto-de-las-redes-sociales-en-la-publicidad/>

INVERSOR FOTOVOLTAICO SIN TRANSFORMADOR CON REDUCCIÓN DE LA CORRIENTE DE FUGA USANDO MÉTODOS PASIVOS

Gerardo Vázquez Guzmán¹, Gerardo Oscar Pérez Bustos¹⁺, Pánfilo Raymundo Martínez Rodríguez², Adolfo Rafael López Núñez¹ y Dalyndha Aztatzi Pluma³.

¹Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, ²Universidad autónoma de san luis potosi, ³Instituto Tecnológico Superior de abasolo.

gerardo.vg1@irapuato.tecnm.mx, LIS17111510@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Los paneles solares permiten obtener una señal eléctrica en corriente directa la cual es útil para algunas aplicaciones. Sin embargo, existen cargas que requieren alimentarse con corriente alterna, para lo cual se usan convertidores conocidos como inversores, los cuales transforman la corriente directa en corriente alterna ^{1, 2}. Estos sistemas pueden conectarse a la red eléctrica, e inicialmente esto se hacía usando un transformador de acoplamiento el cual operaba con una frecuencia de 60Hz, haciéndolo pesado, ineficiente, voluminoso y costoso³. Actualmente existe la tendencia de hacer la conexión sin transformador, sin embargo, esto implica que se generen corrientes de fuga, las cuales representan un riesgo de seguridad para el ser humano y para el sistema⁴. En la literatura se han propuesto diversas soluciones a este problema dentro de las cuales destacan: soluciones basadas en la topología⁵, soluciones basadas en el algoritmo de modulación⁶, soluciones basadas en el algoritmo de control⁷ y soluciones basadas en métodos pasivos. Este último, es el objeto de estudio de este trabajo de investigación. Los métodos pasivos consisten principalmente en agregar elementos pasivos (capacitores e inductores) para proporcionar una trayectoria de baja impedancia para la corriente de fuga. Se propone por lo tanto un convertidor convencional para evaluar un filtro de tipo LC diseñado y conectado de tal forma que se atenúen las corrientes de fuga. Los resultados muestran que la corriente de modo común se reduce considerablemente mejorando el desempeño del convertidor respecto a este importante parámetro. La estructura propuesta se analiza y se valida mediante simulaciones.

INTRODUCCIÓN

La generación de energía eléctrica por medio de paneles fotovoltaicos (FV), requiere de una secuencia de etapas de conversión de la energía para que esta pueda ser inyectada a la red eléctrica de manera eficiente. La energía eléctrica que proporcionan los paneles FV es una señal de corriente directa, aunque esta corriente es útil para algunos dispositivos electrónicos, no es posible inyectarla hacia la red. Para ello se emplea un dispositivo denominado convertidor CD-CA o también llamado inversor. El inversor proporciona a su salida una señal de corriente alterna cuya frecuencia se iguala a la de la red, y de esta manera mediante un transformador de acoplamiento se realiza la conexión, en ocasiones el transformador se evita en el diseño para mejorar la eficiencia del inversor.

En los EE. UU. Existen diversas normas que dictan que los sistemas FV deben ser puestos a tierra para evitar situaciones de posibles descargas eléctricas⁸. En el caso de Europa no es tan requerido al menos que se indique necesario bajo ciertas condiciones⁹. En México bajo la especificación CFE G0100-04 se indican que los sistemas FV de baja tensión que no superen los 30kW pueden colocarse de manera aterrizada o de manera flotante ¹⁰.

Todos los módulos fotovoltaicos tienen, acorde a sus dimensiones físicas, una capacitancia parasita asociada. Que es proporcional a su superficie e inversamente proporcional al grosor. El panel se instala sobre una estructura metálica conectada a tierra, esta conexión permite que si existe una variación de tensión en el capacitor parasito se genere un de corriente denominada "corriente de modo común" o "corriente de fuga" ¹¹. En sistemas FV interconectados a la red mediante un transformador de acoplamiento la corriente de modo común no presenta un mayor problema debido a que el aislamiento galvánico evita la circulación de corriente de fuga. Sin embargo, si se desea mejorar la eficiencia de los inversores, el uso de los transformadores se vuelve impráctico. Las nuevas investigaciones se enfocan en estudiar el comportamiento de estos sistemas FV interconectados a la red de manera directa. Es decir, al eliminar el aislamiento galvánico del sistema la corriente de modo común pasa a ser el principal objetivo de estudio de estos sistemas. Una

corriente de modo común demasiado alta inyectada a la red trae una serie de problemas, como pérdidas de potencia, presencia de armónicos, una baja seguridad del sistema, entre otros. En este trabajo se estudia la corriente en modo común de un sistema FV interconectado a la red, empleando un inversor convencional tipo HERIC para la aplicación del filtro LC a su salida y mediante simulación se comprueba una adecuada reducción de la magnitud de este parámetro en el sistema.

Objetivo general

Reducir la magnitud de la corriente de modo común (corriente de fuga) en un inversor monofásico convencional para su aplicación en sistemas fotovoltaicos conectados a la red eléctrica sin el uso de un transformador.

Objetivos específicos

- 1). Analizar la estructura de un convertidor CD-CA monofásico convencional para inyección de potencia a la red eléctrica a partir de sistemas fotovoltaicos.
- 2). Proponer una mejora para reducir la magnitud de la corriente de modo común basada en métodos pasivos.
- 3). Validar la propuesta mediante simulación.

TEORÍA

Diversas empresas orientadas a la instalación de paneles solares dan la definición de panel solar, también conocido como modulo fotovoltaico, como un dispositivo que recibe la energía de la radiación solar y la convierte en energía eléctrica gracias al efecto fotovoltaico. Un panel solar está formado por cientos de celdas fotovoltaicas conectadas entre sí, a su vez un grupo de paneles solares conectados entre sí conforman un sistema fotovoltaico. Cuanto mayor sea la cantidad de paneles interconectados mayor es la energía que se puede generar.

La generación de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, en especial la energía solar, se están convirtiendo en una manera más rentable de producir la energía eléctrica que diariamente se consume. Datos publicados en noviembre de 2020 por la comisión reguladora de energía (CRE), indica una capacidad total instalada de 1,196.52 MW en toda la república mexicana hasta el 30 de junio de 2020, aunque para finales del 2020, nuevos datos no incluidos, reportan un total mayor a 1.5 GW, de los cuales 247.59 MW forman parte de contratos de interconexión de pequeña y mediana escala y el resto equivalente a 948.93 MW a generación distribuida. La grafica de la Figura 1, muestra la capacidad en MW instalados por año desde el 2007 al 2020¹². Como se puede observar la capacidad de los sistemas fotovoltaicos ha crecido significativamente año tras año. Según cifras de la empresa productiva Subsidiaria de la Comisión Federal de Electricidad, hasta el 30 de junio de 2020, el estado de la republica que lidera con la mayor capacidad instalada es Jalisco con 178.93 MW, seguido por Nuevo león con 143.39 MW. Guanajuato ocupa el octavo lugar con 49.73 MW instalados¹².

En general se pueden identificar dos diferentes tipos de sistemas fotovoltaicos, aquellos que se encuentran aislados de la red eléctrica y mediante una conexión local se distribuye internamente la energía eléctrica, normalmente esto sucede en zonas alejadas donde la red eléctrica nacional no cubre. Luego se encuentran los interconectados a la red, esta conexión se puede realizar desde las plantas de energía donde mediante contratos establecidos se puede hacer la inyección de esta energía proveniente de paneles solares al sistema eléctrico nacional. Otro forma de interconectar estos sistemas en mediante los usuarios individuales que realizan la instalación de paneles en su domicilio y además cuentan con un contrato de suministro de energía, la energía sobrante generada puede ser devuelta a la red pública bajo ciertas condiciones.

Capacidad instalada (MW)

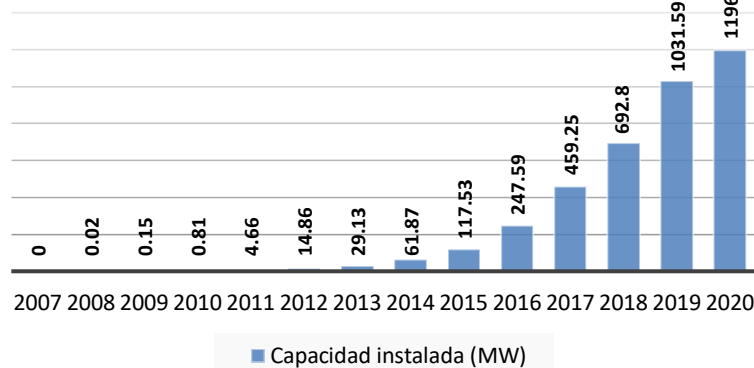


Figura 1. Capacidad por año de sistemas fotovoltaicos instalados en México.
 Fuente: https://anes.org.mx/wp-content/uploads/2021/05/Estadisticas_GD_2020__Primer_Semestre.pdf

Técnicas para la reducción de la corriente de fuga

En la literatura se han aplicado diversas soluciones para la reducción de la corriente de fuga, la primera a mencionar son las soluciones basadas en la topología, esta técnica consiste en introducir nuevas vías de libre circulación en el inversor, de este modo el panel fotovoltaico pueda estar aislado de la red durante ciertos instantes de tiempo donde la tensión es cero^{13, 14, 15}. Una propuesta de esta solución es añadir a una topología convencional de puente completo un convertidor buck diferencial a la entrada, la ventaja que presenta esta solución es que no requiere de interruptores adicionales para el desacoplamiento de potencia, solo incluye un sensor de corriente que se utiliza para el control de la corriente⁵. Las soluciones basadas en el algoritmo de modulación también son frecuentemente utilizadas, una modulación mejorada puede mantener el voltaje de modo común constante lo que reduce significativamente la corriente de fuga¹⁶. Otro tipo de modulación utilizada es la basada en vectores espaciales aplicada en los inversores de punto neutro común o conocidos también como NPC¹⁷. Por otro lado, existen diferentes esquemas de modulación mejorados usados para controlar inversores multinivel con el fin de evitar al máximo las componentes de alta frecuencia presentes en el condensador de dispersión lo que reduce significativamente la corriente de fuga⁶. Por otro lado, existe también la técnica basada en algoritmos de control donde la eliminación de la corriente de fuga se realiza a partir de un modelo predictivo en vez de emplear esquemas modulados o eliminación de las componentes de alta frecuencia, esta técnica trae excelentes ventajas dado que es posible implementar el algoritmo de seguimiento del punto de máxima potencia, sin embargo, en comparación con las demás técnicas su complejidad es mayor⁷.

Técnica de métodos pasivos

Una cuarta técnica que se menciona en la literatura para dar solución a las corrientes de fuga son los denominados métodos pasivos o filtros pasivos. La idea general de los métodos pasivos es proporcionar a los ruidos de modo común de alta frecuencia una nueva vía de baja impedancia lo que reduce en gran medida la corriente de fuga, con esta implementación se logra evitar que la corriente fluya hacia a través de la trayectoria de tierra y a través del propio inversor^{18, 19}. Este método para la solución de la corriente de modo común presenta ventajas en simplicidad comparado con las anteriores técnicas, además no se necesita incluir ningún semiconductor adicional al diseño y es aplicable a otro tipo de convertidores²⁰.

ANÁLISIS DEL SISTEMA PROPUESTO

Para la simulación se utilizó la topología del convertidor HERIC. El esquema eléctrico simplificado del sistema se muestra en la Figura 2.

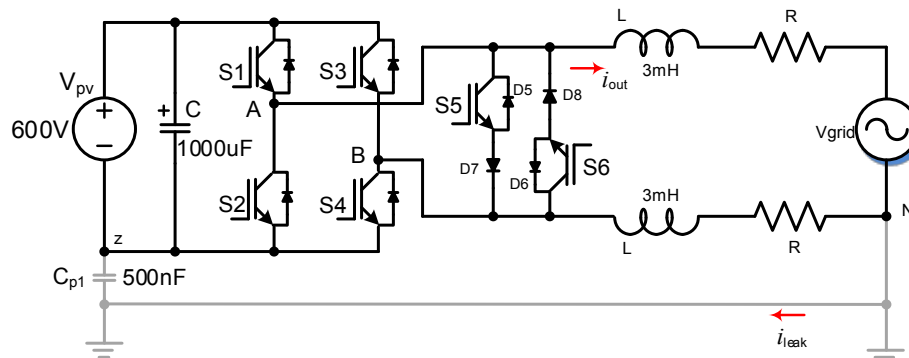


Figura 2. Esquema eléctrico simplificado del sistema FV usando un convertidor HERIC sin filtro pasivo.

Este convertidor tiene la característica de desacoplar el sistema FV en el lado de la red eléctrica haciendo uso de los interruptores S5 y S6. De esta forma se consigue que la corriente de modo común se reduzca. Para validar este análisis se implementó el sistema en simulación usando como entrada una fuente de voltaje constante de 600V, el inductor de línea se propuso de 6 mH, el cual se dividió de manera simétrica en ambas conexiones a la red. La técnica de modulación que se utilizó fue la llamada SPWM de tres niveles, es una técnica basada en la comparación de una señal senoidal y una señal portadora. Haciendo uso de los estados de operación se puede plantear una secuencia de señales que aprovechen la funcionalidad de los interruptores de desacoplo. El índice de modulación (relación de la magnitud de la señal de referencia y la señal portadora) se propuso del 85%.

Para la corriente de fuga, se simula la conexión a tierra usando una trayectoria entre el neutro de la red y el terminal negativo del capacitor parasito el cual está conectado al terminal negativo del bus de CD. El valor del capacitor parasito se propone de 500nF. Este valor es relativo ya que su valor real dependerá de varios factores, tales como, potencia del sistema, humedad, polvo, entre otros.

La solución a la corriente de modo común que se propone, consiste en la implementación de un filtro de tercer orden el cual consiste principalmente en dividir en partes iguales los inductores que se tenían originalmente y en la parte media conectar el terminal de un capacitor. El otro terminal del capacitor se conecta tanto al terminal positivo como al terminal negativo del bus de CD. Para proponer el valor de este capacitor que se ha agregado a la estructura del inversor, es importante considerar que se busca proporcionar una trayectoria de baja impedancia para evitar que la corriente fluya a través de la trayectoria de tierra. De este modo, y sabiendo que la impedancia del capacitor es inversamente proporcional al valor de la frecuencia y de la capacitancia, entonces podemos buscar un capacitor que a la frecuencia de la corriente de modo común presente una baja impedancia. Con base en este análisis, se propone un valor del capacitor de 5 uF para cada terminal de salida del inversor. Con esto se garantiza que la corriente de modo común circule a través de la trayectoria de tierra. El sistema propuesto se muestra en la Figura 3.

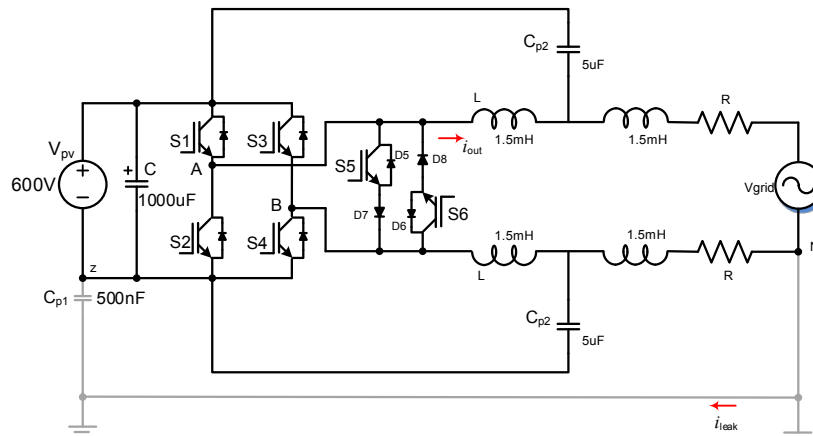


Figura 3. Esquema eléctrico simplificado del sistema FV propuesto usando un filtro de tercer orden para la topología HERIC.

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

En la Figura 4, se muestran los resultados de simulación para el convertidor HERIC usando la topología convencional. De arriba hacia abajo se muestra, el voltaje diferencial de salida, la corriente de salida, la corriente de fuga y el voltaje de modo común. Como puede observarse, el voltaje de salida tiene tres niveles de voltaje lo cual corresponde con un adecuado funcionamiento. Por otro lado, la corriente de salida tiene una forma de onda senoidal más un rizo de corriente el cual depende de la frecuencia de conmutación y del valor de la inductancia de salida. Se puede observar también, que en los cruces por cero la corriente de salida presenta una distorsión, esta distorsión se debe a que existe un desplazamiento de la corriente respecto del voltaje de salida, sin embargo, en un sistema FV esto es deseable solo en algunos sistemas, por lo que se esperaría que en este caso el sistema opere con factor de potencia unitario, esto se logra con la implementación de un lazo de control de corriente. Finalmente, la corriente de modo común presenta picos de hasta 400mA los cuales corresponden con variaciones del voltaje de modo común.

Un análisis más detallado de la tercer grafica de la Figura 4 permite observar que la corriente de fuga presenta algunos picos que superan los 400 mA lo cual es superior a lo establecido por las normas para la corriente pico. Sin embargo, el valor RMS es de 27.97 mA lo cual si cumple con la normativa internacional para este tipo de sistemas. Sin embargo, como se verá más adelante, en caso de existir variaciones en el valor de la capacidad parasita, se tendrá un incremento en la magnitud de la corriente de fuga.

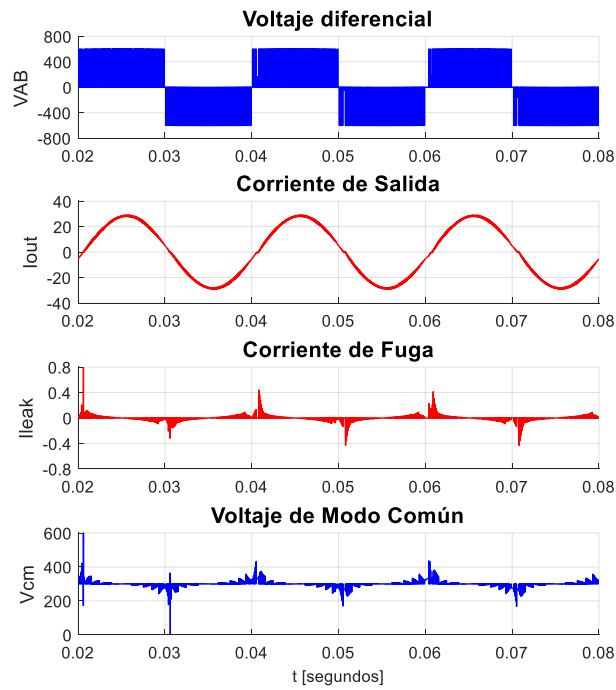


Figura 4. Resultados de simulación para la topología HERIC sin el uso del filtro pasivo.

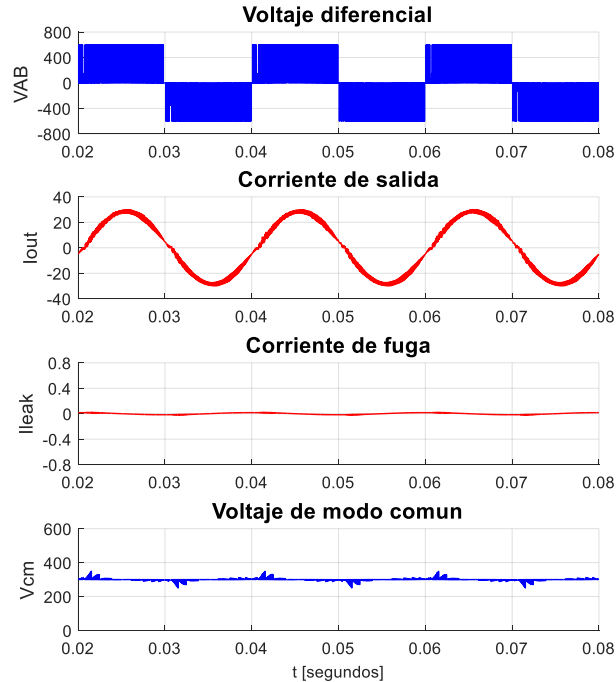


Figura 5. Resultados de simulación para la topología HERIC usando el filtro pasivo propuesto.

En la Figura 5, se muestran los resultados de simulación para el inversor HERIC usando el filtro propuesto. De arriba hacia abajo, el voltaje diferencial de salida, la corriente de salida, la corriente de fuga y el voltaje de modo común. Como puede observarse, el voltaje diferencial de salida es

esencialmente el mismo que en el caso anterior, esto indica que el filtro propuesto no afecta el comportamiento de esta señal. Además, en el caso de la corriente de salida, se puede observar que existe un mayor rizo en la señal y se disminuyó la distorsión en el cruce por cero. El incremento en el rizado se puede resolver modificando los valores de los inductores, haciendo más grande el inductor del lado del inversor y más pequeño el inductor del lado de la red. Por otro lado, para el caso de la corriente de modo común se puede observar que la presencia del filtro eliminó casi por completo la existencia de la corriente de fuga que se tenía en la topología convencional. Los picos generados vistos en la anterior medición desaparecieron por completo y el valor RMS se determinó en los 1.22 mA. Finalmente, como es de esperarse, el voltaje de modo común tiene un comportamiento mayormente constante, por lo que no se genera corriente de modo común como ya se mencionó.

La capacitancia parasita de los módulos FV se sabe que no es un valor fijo y este puede aumentar o disminuir bajo ciertas condiciones. Si por alguna razón la capacitancia parasita aumenta su valor la corriente de fuga tendera a aumentar, el sistema nuevamente fue probado exagerando un poco el valor del capacitor parasito, los resultados fueron como se muestra en la Tabla 1 y en la Figura 6.

Tabla 1. Resultados de simulación para la topología HERIC usando el filtro pasivo propuesto.

Valor de capacitancia parasita	Valor de la corriente RMS de modo común
1 uF	2.49 mA
2.2 uF	5.38 mA
3.7 uF	9.07 mA

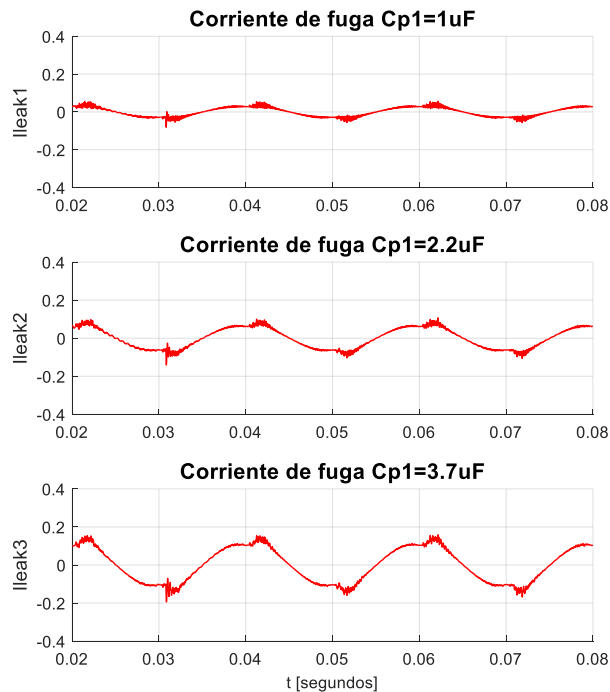


Figura 6. Resultados de simulación para la topología HERIC sin el uso del filtro pasivo.

Se observa en la Figura 6 que, para los tres casos, la corriente de fuga presenta un aumento, sin embargo, el filtro pasivo implementado presenta una muy buena respuesta evitando que la corriente crezca por encima del límite, siendo esta, una de las principales ventajas del método propuesto. Esto

indica que el sistema opero correctamente bajo distintas condiciones que puedan producir variaciones en el valor del capacitor parasito.

CONCLUSIONES

Se logró comprobar que mediante la técnica de métodos pasivos se puede reducir satisfactoriamente la corriente de fuga de un sistema FV aplicado a alguna topología convencional de convertidor. La técnica consiste principalmente en proporcionar una trayectoria de baja impedancia para la corriente de fuga. Con esta mejora, el sistema puede ser apto para aplicaciones comerciales sin transformador. Además, las variaciones en la magnitud de la corriente de fuga son mínimas cuando se aumenta el valor del capacitor parasito, por lo que esta, es también una ventaja del método implementado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Snapshot of Global Photovoltaic Markets – IEA PVPS, 2020.
2. R. T. H. Li, C. N. M. Ho and E. Chen, "Active Virtual Ground— Single-Phase Transformerless Grid-Connected Voltage Source Inverter Topology," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 33, no. 2, pp. 1335-1346, Feb. 2018.
4. Gubía, E., Sanchis, P., Ursúa, A., López, J. and Marroyo, L., "Ground currents in singlephase transformerless photovoltaic systems". Prog. Photovolt: Res. Appl., vol 15, pp. 629-650, 2007.
5. G. E. Valderrama, G. V. Guzman, E. I. Pool-Mazún, P. R. Martínez-Rodríguez, M. J. Lopez-Sanchez and J. M. S. Zuñiga, "A Single-Phase Asymmetrical T-Type Five-Level Transformerless PV Inverter," IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics, vol. 6, no. 1, pp. 140-150, March 2018.
6. Y. Tang, W. Yao, P. C. Loh and F. Blaabjerg, "Highly Reliable Transformerless Photovoltaic Inverters With Leakage Current and Pulsating Power Elimination," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 2, pp. 1016-1026, Feb. 2016.
7. X. Guo and X. Jia, "Hardware-Based Cascaded Topology and Modulation Strategy With Leakage Current Reduction for Transformerless PV Systems," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 12, pp. 7823-7832, Dec. 2016.
8. A. Rojas, M. Aguirre, S. Kouro, T. Geyer and E. Gutierrez, "Leakage Current Mitigation in Photovoltaic String Inverter Using Predictive Control With Fixed Average Switching Frequency," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 64, no. 12, pp. 9344-9354, Dec. 2017.
9. IEEE Recommended Practice for Utility Interface of Photovoltaic (PV) Systems, IEEE Standard 929, 2000.
10. Automatic Disconnection Device between a Generator and the Public Low-Voltage Grid, DIN Electrotechnical Standard DIN VDE 0126-1-1, 2005.
11. LAPEM, "Interconexión a la red eléctrica de baja tensión de sistemas fotovoltaicos con capacidad hasta 30 kW, CFE, especificación CFE G0100-04", Agosto 2008.
12. SMA, "Corrientes de fuga capacitivas", Solar Technology AG, información técnica, Versión 2.2, no. pág. 9.
13. Comisión Reguladora de energía (CRE), "Solicitudes de interconexión de centrales Eléctricas con capacidad menor a 0.5 MW", Asociación nacional de energía solar A.C., no, pág. 8, noviembre de 2020.
14. V. Matthias, G. Frank, B. Sven y H. Uwe, patente alemana H5Topology, DE 102004030912 B3, enero de 2006.
15. S. Heribert, S. Christoph y K. Juergen, German Patent HERIC Topology, DE 10221592 A1, abr. 2003.
16. B. Yang, W. Li, Y. Gu, W. Cui y X. He, "Improved transformerless inverter with common-mode leakage current elimination for a photovoltaic grid-connected power system", IEEE Trans. Power Electron. , vol. 27, no. 2, pp. 752-762, feb. 2012.
17. M. C. Cavalcanti, K. C. de Oliveira, A. M. de Farias, F. A. S. Neves, G. M.S. Azevedo, and F. Camboim, "Modulation techniques to eliminate leakage currents in transformerless three-

- phase photovoltaic systems,"IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 57, no. 4, pp. 1360-1368, Apr. 2010.
18. M. C. Cavalcanti, A. M. Farias, K. C. Oliveira, F. A. S. Neves, and J. L. Afonso, "Eliminating leakage currents in neutral point clamped inverters for photovoltaic systems," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 59, no. 1, pp.435–443, Jan. 2012.
 19. E. Gubia, P. Sanchis, A. Ursu'a, J. López y L. Marroyo, "Ground currents in single-phase transformerless photovoltaic systems", Prog. Photovolt: Res. Appl., vol. 15, nº 7, pp. 629-650, nov. 2007.
 20. H. Xiao y S. Xie, "Leakage current analytical model and application in single-phase transformerless photovoltaic grid-connected inverter", IEEE Trans. Electromagn. Compat. , vol. 52, no. 4, pp. 902-913, Nov. 2010.
 21. Y. Zhou and H. Li, "Analysis and Suppression of Leakage Current in Cascaded-Multilevel-Inverter-Based PV Systems," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 29, no. 10, pp. 5265-5277, Oct. 2014, doi: 10.1109/TPEL.2013.2289939.

ROTACIÓN DEL PERSONAL Y LA PRODUCTIVIDAD LABORAL EN EL DEPARTAMENTO DE EMPAQUE DE LA EMPRESA ALTOPRO S.A. DE C.V., PLANTA IRAPUATO.

Karla Montserrat Montoya Maciel;¹, Karen Dayana Vega Santoyo.²

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

LIS17110211@irapuato.tecnm.mx , LIS17110296@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

La rotación de personal y la productividad tienen una gran importancia dentro de la industria, debido a que generan altos costos en la selección y adiestramiento de nuevos empleados, por lo que el constante cambio no permite que los empleados establezcan una coordinación con los demás miembros del equipo, originando mermas en la productividad. Los índices de rotación de personal dentro del departamento de Empaque en la empresa Altopro S.A. de C.V., se han ligado con la acumulación de trabajo, el incremento de los errores, discrepancia entre las actividades reportadas y generadas, y la baja productividad de este departamento, la incógnita actual es conocer ¿Cuál es la relación entre la rotación del personal con la productividad laboral dentro del departamento de Empaque en la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato? A partir de un control administrativo otorgado por el área de Recursos Humanos¹, donde se puede observar las altas y bajas, así como el total del personal activo mes por mes del año 2020 del área de Empaque de la Empresa Altopro S. A. de C.V. planta Irapuato, en la que se muestra que hay una mayor cantidad de bajas que de altas, lo que manifiesta un desfase entre ambos movimientos, se realizó un banco de datos en el programa Excel que se importó y se creó una nueva base de datos en el software SPSS, donde se realizaron las tablas y gráficos, además se realizó la prueba de Correlación de Pearson, la cual responde que las variables de rotación de personal y productividad del departamento del Empaque de la empresa presentan una correlación alta y negativa, lo que implica que al aumentar la rotación del personal la productividad disminuye, por lo tanto, se expone que existe una alta relación entre las variables de igual manera se procedió a la verificación de causalidad entre ambas variables y se realizó un análisis de regresión simple, la cual manifiesta que existe una relación de causalidad entre las variables. Atendiendo a que existe una relación alta y negativa entre ambas variables, se encuentra una relación de causalidad entre las mismas, se infiere que la hipótesis “Ante el aumento de la rotación de personal no se presenta una disminución de la productividad en el departamento de empaque de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato” es falsa, por lo que la hipótesis alterna es aceptada.

INTRODUCCIÓN

La rotación del personal es un fenómeno que tienen las empresas con su capital humano generado por distintos factores, a su vez, determina el tiempo que los empleados permanecen en una empresa y que tienen que ser remplazados periódicamente. Una de las consecuencias de la rotación del personal es tener cambios dentro de la productividad, la cual se entiende como una medida de eficiencia de una persona, equipo, maquinaria, entre otros.

La rotación de personal y la productividad tienen una gran importancia dentro de la industria, debido a que generan altos costos en la selección y adiestramiento de nuevos empleados, por lo que el constante cambio no permite que los empleados establezcan una coordinación con los demás miembros del equipo, originando mermas en la productividad.

La siguiente investigación tiene como principal objetivo buscar la relación entre la rotación del personal y la productividad laboral dentro del departamento de empaque de la empresa Altopro S.A. de C.V. La cual se encuentra ubicada dentro del parque industrial castro del rio, carretera Irapuato-Silao.

Partiendo de la recopilación de información de distintas fuentes tales como, páginas oficiales de diarios locales y artículos, así como de un estudio de campo dentro de la empresa, específicamente en el departamento de empaque, analizaremos y compararemos la información obtenida, buscando la relación entre las variables de rotación de personal y productividad laboral dentro del departamento.

TEORIA

El presente estudio y análisis está enfocado en encontrar la relación de la rotación de personal con la productividad laboral, con el fin de aportar y/o completar las estrategias actualmente establecidas para dar frente a la mejora a esta situación. Los índices de rotación de personal dentro del departamento de Empaque en la empresa Altopro S.A. de C.V., se han ligado con la acumulación de trabajo, el incremento de los errores, discrepancia entre las actividades reportadas y generadas, y la baja productividad de este departamento, lo que ha generado interés para encontrar la relación de dicha rotación y la productividad de este departamento. Dichos elementos se convierten en parte clave de la investigación, ya que al identificarlos ayudará a plantear estrategias para intervenir respecto a la permanencia de los trabajadores en los puestos de trabajo.

Según Orozco (2013) Orozco (2013) explica que la rotación del personal es la proporción de personas que salen de una organización, sin tomar en cuenta los que lo realizan de una forma inevitable, tales como jubilados y fallecidos, sobre el total del número de personas promedio de una compañía en un determinado período de tiempo, siendo lo común de forma anual.

TIPOS DE ROTACIÓN

Robbins (2013) menciona que existen dos tipos de rotación de personal:

Rotación interna: la cual se produce al haber una transferencia de puesto o departamento. En está, todo movimiento tendrá que ser planificado como un crecimiento de sus colaboradores dentro de la empresa. Desde el reclutamiento y la selección, el encargado de recursos humanos determina el estado del postulante, evalúa sus competencias y extrapola su potencial.

Rotación externa: Está surge por cambios organizacionales o discrepancias laborales, por lo tanto, el cese de labores. Además, tiende a enfocarse a un mal desempeño, discrepancias entre los colaboradores y la propia organización, mejores oportunidades, jubilaciones, entre otros.

FACTORES QUE ORIGINAN LA ROTACIÓN

Chiavenato (2009) determina que existen diferentes factores que originan la rotación, tanto internas como externas:

Causas internas:

- Políticas salariales de la organización;
- Política de los beneficios sociales,
- Tipo de supervisión ejercida sobre el personal,
- Progreso profesional dadas por la organización,
- Tipos de relaciones humanas existentes en la organización,
- Seguridad industrial,
- Comunicación informal,
- Clima organizacional,
- Políticas de reclutamiento y selección de recursos humanos,
- Criterios en programas de desarrollo humano,
- Criterios de evaluación del desempeño.

Causas externas: Zulema (2009) afirma que las circunstancias externas de cualquier compañía no son suficientes para provocar un cambio de puesto de trabajo, si el colaborador afectado no permite que pueda madurar en su interior y creen el motivo válido. Paralelamente existen motivos personales independientes que pueden inducir al trabajador a cancelar su contrato de trabajo. Una casusa externa es el mercado laboral, ya que puede provocar una rotación de talento humano, debido a las mejoras salariales y crecimiento profesional de las personas.

Productividad

(Rodríguez, 1999) menciona que es el resultado de la relación entre los insumos invertidos y los productos obtenidos, además se define como una medida de la eficiencia económica que resulta de la capacidad para utilizar inteligentemente los recursos disponibles.

La productividad es la relación entre los resultados y el tiempo en que se lleva conseguirlos. El tiempo es un buen denominador, puesto que es una medida universal y está fuera del control humano (Alfaro y Alfaro, 1999).

Otro punto para considerar es la importancia de la productividad, debido a la relación que se invierte para alcanzar los objetivos y los resultados de estos. Para lograr una productividad efectiva en cualquier empresa, es importante establecer metas, objetivos, innovación tecnológica, etc.

Los factores que inciden en la productividad

Necesidades humanas

Abraham Maslow (1943) determina que el ser humano está ligado a una serie de necesidades que los hacen afrontar diferentes situaciones en la vida y que se relacionan con la productividad de un trabajador, Maslow destaca una de las necesidades básicas como la auto realización, el ser humano satisface sus necesidades con el paso de los años lo que hace más productivo.

Motivación

El factor motivacional es el que hace que un individuo dé lo mejor de sí y se trace metas para alcanzar lo que quiere; las organizaciones deben motivar a sus empleados con el fin de lograr los objetivos propuestos, sin embargo, no basta con que la organización los conduzca a esto, es necesario que estén capacitados en el manejo del personal, con el fin de llegar a sus empleados de una manera directa sin que se sientan presionados o maltratados por parte de sus jefes, por el contrario, perciban un apoyo y una fuerza que los motiva y ayuda a lograr metas tanto individuales como grupales. (Ramírez, 2008).

Satisfacción laboral

Los colaboradores de una organización están expuestos a factores que los rodean y que pueden afectar su satisfacción, cuando los empleados no se sienten a gusto por diferentes motivos pueden dar resultados poco favorables para la organización y puede generar un ambiente de trabajo turbio que como consecuencia traerá problemas, no solo personales sino también grupales, porque una sola persona puede obstaculizar las metas de un equipo de trabajo. María Atalaya, afirma que quien está muy satisfecho con su puesto tiene actitudes positivas hacia éste; quien está insatisfecho, muestra en cambio, actitudes negativas. Cuando la gente habla de las actitudes de los trabajadores casi siempre se refiere a la satisfacción laboral. (Atalaya, 1999).

Capacitación

La falta de capacitación de los empleados puede generar que éste tenga desventaja frente a las actividades que realiza, la falta de ésta conlleva a que el desempeño de los empleados no sea el óptimo teniendo en cuenta que el desconocimiento de las características de un producto, la falta de conocimiento de las políticas de la empresa o de sus tareas pueden llevar a la pérdida de una venta o tener una baja productividad. "La formación es la preparación teórico-práctica de una persona para ejercer correcta y eficazmente una actividad" (Artal Castells, 2011).

Remuneración

La remuneración es el salario base que recibe el trabajador por el hecho de realizar las actividades para las que fue contratado, la remuneración base es pactada con el empleado desde el inicio de la contratación; ésta debe ser justa para que el empleado no tenga la necesidad de buscar otro empleo y que se sienta menos motivado que otros, por el hecho de que su paga no sea lo que merece por el esfuerzo y dedicación de su trabajo, lo que puede ocasionar que el empleado tenga resultados productivos no tan favorables. (Hellriegel, Jackson, & Slocum Jr., 2009).

PARTE EXPERIMENTAL

El trabajo de investigación se llevó a cabo en una empresa que se dedica a la producción de etiquetas de películas de propileno para empaquetado de alimentos en la ciudad de Irapuato, Gto. Se empleó una investigación tipo cuantitativa debido a que se recolectaron datos de la rotación del personal y cifras de producción dentro del departamento de empaque en empresa Altopro S.A. de C.V.

El diseño no permite la manipulación de variables y se basa fundamentalmente en la observación tal y como se dan en su contexto natural dentro del departamento de Empaque. Así mismo, porque se

realizará una sola medición y se establecerá la relación entre las variables. El estudio tiene como propósito medir el grado de relación que existe entre dos o más conceptos o variables, en la presente investigación el estudio de la relación entre la rotación del personal y la productividad dentro del departamento de Empaque en la empresa.

Las técnicas o instrumentos de investigación que se utilizaron para la rotación del personal se hizo uso de una base de datos interna para el registro de altas, bajas, incidencias, incapacidades, horas extras, etc. Este documento se realiza en Excel, atendiendo al proceso de gestión de recursos humanos, el cual se envía posteriormente a la sede central ubicada en la Ciudad de México, para su posterior asociación en el programa utilizado, en dicho caso, CONTPAQ.

Para la medición de la productividad emplean las hojas de producción como respaldo al ERP Infor SL, en donde se lleva el control de lo generado contra lo capturado, en cuestión de producto terminado. Se abordará para concentrar la información una ficha de recolección de datos para las dos variables: rotación del personal y la variable productividad, las cuales se obtendrán en el área de Empaque y el área de recursos humanos de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato.

Procedimiento

- Hacer contacto con la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato.
- Presentar el estudio ante el responsable de la empresa, planteando los objetivos de la investigación, el proceso a realizar para llevarla a cabo y lo que se realizará posteriormente con la información obtenida. Exponen los elementos éticos y legales que atiende el estudio.
- Especificar la información requerida, realizar los acuerdos de confidencialidad y consentimiento informado.
- La empresa entrega la información, por medio de la base de datos utilizada en el control de altas, bajas, horas extras, nómina, etc., empleada en la empresa.
- Concentrar la información
- Elaborar una base de datos SPSS
- Calcular la estadística descriptiva respecto a medias y desviaciones estándar.
- Correlacionar la variable 1 con la variable 2.
- Si se encuentra relación en la correlación, se realiza regresión lineal simple.
- Revisar el nivel de relación y la significatividad de la correlación a $p < 0,05$ con $r > 0,7$ y de la regresión $p < 0,05$.
- Realizar la prueba de hipótesis.
- Redactar los resultados
- Presentar el informe.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Para la obtención de los resultados para la hipótesis “Ante el aumento de la rotación de personal no se presenta una disminución de la productividad en el departamento de empaque de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato”, se realizó una base de datos en el programa Excel, para luego importarlas y crear una base de datos en el software estadístico SPSS, donde se realizaron las tablas y gráficos, además se realizó la prueba de Correlación de Pearson.

A continuación, se presentan los resultados atendiendo a las variables de estudio:

Mes	Altas	Bajas	Personal total	Porcentaje de rotación
Enero	18	21	42	63.64%
Febrero	22	16	48	50.00

A. Rotación

Tabla 1. Cantidad de personal que ingresaron, salieron y total del Área de empaque de enero a diciembre 2020.

Área de Empaque

Marzo	16	10	54	30.30
Abril	14	10	57	26.32
Mayo	7	6	58	19.35
Junio	2	15	45	37.50
Julio	6	12	39	27.91
Agosto	0	7	32	17.07
Septiembre	9	14	27	29.79
Octubre	7	6	28	20.00
Noviembre	9	4	33	8.89
Diciembre	2	0	35	0.00
Total	111	121	498	

Fuente: Elaboración propia (Vega Dayana, 2021). Datos obtenidos de “Base de control administrativo” del área de Recursos Humanos de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato.

En la tabla 1 se observan los ingresos, salidas y el total de personal en el área empaque de la Empresa Altopro S. A., planta Irapuato, en la que se manifiesta que hay mayor cantidad de bajas que de altas, lo que manifiesta un desfase entre ambos movimientos. Se manifiesta que los meses con mayor cantidad de bajas son enero, febrero, junio, julio y septiembre. Del mes de junio a septiembre se observa que la cantidad de bajas es superior a las altas en la mayoría de los meses al doble en relación con las altas.

Se presenta que los meses con mayor rotación son enero y febrero y la más baja rotación en noviembre y diciembre. Se manifiestan tres picos al año a partir de los cuáles se da una tendencia en la caída de la rotación, particularmente en los meses de enero, junio y septiembre.

El cuatrimestre con mayor cantidad de rotación es el de enero – abril y el de menor el septiembre – diciembre.

Producción

Tabla 2. Producción (en toneladas) de películas de polipropileno en periodo de enero– diciembre 2020.

Área de empaque	
Mes	Productividad
Enero	1120.00
Febrero	2000.00
Marzo	2200.00
Abril	2590.00
Mayo	2700.00
Junio	2480.00
Julio	2630.00
Agosto	2950.00
Septiembre	2100.00
Octubre	2470.00
Noviembre	3100.00
Diciembre	3200.00
Total	29,540
Promedio	2,461.66

Fuente. Elaboración propia (Vega Dayana, 2021). Datos obtenidos de “Base de control administrativo” del área de Recursos Humanos de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato. En la tabla 2, se presenta la producción en el área de empaque de enero - diciembre 2020. Analizada la frecuencia de la tabla se observa que en el mes de diciembre se presenta la producción más alta con 3,200 toneladas de películas de polipropileno, mientras que la producción más baja fue de 1,120 toneladas en el mes de enero.

Se manifiesta un comportamiento ascendente en la producción durante el año, teniendo sus caídas con respecto a la tendencia en los meses de junio y septiembre.

Relación entre la rotación y la producción

Para establecer la relación entre la rotación y la producción se realizó la descripción de los datos mediante estadística descriptiva con medias y desviación estándar, que se presentan en la tabla 3.

Tablas 3. Productividad del área de Empaque de enero – diciembre 2020.

Variables	N	Media	Desviación estándar
Rotación	12	27.56	17.21
Producción	12	2461.66	564.52

Fuente: Elaboración propia (Montoya, 2021)

La rotación anual oscila entre el 10.35% al 54.77%, lo que implica niveles entre medios y altos del fenómeno en la empresa. La producción oscila entre 1896.48 a 3026.18 toneladas de películas de polipropileno.

A continuación, en la tabla 4 se presenta para establecer la asociación los resultados de la prueba de correlación de Pearson:

Tablas 4. Tabla correlación de Pearson

		Rotación			Productividad	
		N	r	p	r	p
Rotación	Correlación de Pearson Sig. (unilateral) N	12	-	-	-.932**	.001
Productividad	Correlación de Pearson Sig. (unilateral) N	12	-.932**	.001	-	-

Fuente: Elaboración propia (Montoya, 2021)

De acuerdo con la tabla 4, se presenta una correlación significativa, alta y negativa; lo que implica que al aumentar la rotación disminuye la producción, manifestando una alta relación entre las variables.

Habiéndose establecido la relación entre las variables, se procedió a la verificación de la causalidad entre ellas, para ello se realizó un análisis de regresión lineal simple, del cual se obtuvo una $F=35,69$; $p=0.001$ que manifiesta que existe relación de causalidad entre las variables; así mismo una $r^2=0.78.1$ que manifiesta que las variables están explicadas en un 78.1%.

Atendiendo a que existe una relación alta y negativa entre las variables, que se encuentra una relación de causalidad entre las mismas, se deduce que la hipótesis “Ante el aumento de la rotación

de personal no se presenta una disminución de la productividad en el departamento de empaque de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato” es falsa; por lo que la hipótesis alterna es la aceptada.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

De acuerdo con los resultados obtenidos, podemos analizar que la rotación más alta se dio en los meses de enero, febrero, marzo, junio. Consideramos que esto surgió a raíz de la pandemia que inicio a mediados de marzo del año 2020, esto provoco que no precisamente los trabajadores decidieran abandonar sus empleos, si no que las empresas se vieron en la necesidad de realizar recorte de personal.

De acuerdo con otras investigaciones se llega a la conclusión de que existe una correlación, dando por hecho que entre más aumentan los índices de la rotación, menor será la productividad presentada en el departamento de empaque ya que entre menos trabajadores cuente la misma menos será la productividad.

Comparando con la investigación de la empresa Fuji Seal se asemeja a nuestro índice de rotación, donde señala que, en el año 2019, se observa que el porcentaje de rotación más alto fue de 23.34% en el mes de marzo, debido a un alto índice de cesados; mientras que, el porcentaje más bajo fue de 10% en el mes de diciembre. Los problemas de alta rotación se deben a una alta desmotivación en la remuneración de los empleados de la empresa que repercutió en las utilidades repartidas el presente año; el promedio de rotación para este año fue de 25,13% el cual él representa el porcentaje históricamente más alto de la empresa. (Fuji Seal, 2019).

Al final de la investigación estamos demostrando parte de nuestra hipótesis; ya que, se afirma que la rotación de personal es inversamente proporcional con la productividad de estos. En otras palabras, existe una correlación inversa. (Fuji Seal, 2019).

CONCLUSIONES

Analizando las variables mediante la prueba de correlación de Pearson se manifestó que los variables tienen una correlación de R (-.932) y una P (.001) siendo menor que (0.05) lo que indica que las variables mantienen una correlación alta y negativa lo que refiere que las variables conservan una cercana relación debido que entre más alta sea la rotación de personal más baja es la productividad, lo que quiere decir que la rotación de personal de la empresa Altopro S.A. de C.V. está relacionada negativamente con la productividad del departamento de Empaque del periodo Enero – diciembre 2020, prosiguiendo con nuestro análisis se logró determinar que las variables sostienen una relación de causalidad lo que quiere decir que la rotación de personal y la productividad del departamento de Empaque tienen una relación causa efecto, así mismo el índice de rotación de personal anual oscila entre un 10.35% a 54.77% lo que implica que en la empresa existe un fenómeno de altos y medios provocando que la variables se relacionen negativamente, dicha relación se han ligado con la acumulación de trabajo, el incremento de los errores, discrepancia entre las actividades reportadas y generadas, y la baja productividad de este departamento, de igual manera la productividad oscila entre 1896.48 a 3026.18 toneladas de películas de polipropileno revelando que en el año 2020 en el departamento de Empaque en el cuatrimestre Junio – Septiembre se obtuvo una caída pues según los datos cotejados fueron los meses donde se efectuaron más bajas que altas en comparación del resto del año 2020. Donde se infiere que la hipótesis “Ante el aumento de la rotación de personal no se presenta una disminución de la productividad en el departamento de empaque de la empresa Altopro S.A. de C.V., planta Irapuato” es falsa, por lo que la hipótesis alterna es aceptada.

REFERENCIAS

1. Adriana Martínez, A. G. (2013). Aprendizaje tecnológico en la industria manufacturera de Guanajuato. SCIELO.
2. Cabrera Piantini, A. R., Ledezma Elizondo, M. T., & Rivera Herrera, N. L. (2011). El impacto de la Rotación de Personal en las empresas constructoras del estado de Nuevo León. Contexto.
3. Revista de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Autónoma de Nuevo León, 83-91.

4. Christian Eric Reyes Francisco, D. O. (2021). Análisis de la rotación de personal en el Hotel Crowne Plaza Tuxpan, Veracruz. Revista del Colegio de Posgraduados en Administración de la República Mexicana, A. C., 7-145.
5. Cuevas Vargas, H. L.-T. (2015). El Impacto de los Recursos Humanos en las MIPYMES Industriales de Guanajuato. Revista Administracion & Finanzas, 741-754.
6. Flores, R. J. (2017). Factores que originan la rotación de personal en las empresas mexicanas. International Journal of Good Conscience, 66-99.
7. Hidalgo, D. G. (2017). Branding Laboral un Factor considerado para la atraccion y rentencion de personal en celaya Guanajuato. Caderno Profissional de Marketing .
8. Ramírez, Y. H. (2013). Modelo de rotación de personal y prácticas organizacionales. Historia y comunicacion social , 837-863.
9. Téllez, J. A. (s.f.). Autoactualización gerencial, satisfacción laboral y productividad: un estudio correlacional en empresas del Bajío. Revista Electrónica Nova Scientia, 3-23.

METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE ARQUITECTURAS DE MONITOREO DE OCUPACIÓN EN ESTACIONAMIENTOS INTELIGENTES

Jesús Posadas López¹, Manuel Prisciliano Ralero de la Mora², María Angélica Cerdán³

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa

207000013@itsx.edu.mx

RESUMEN

El número creciente de vehículos en las ciudades derivado de la movilidad urbana, ha generado la necesidad de contar con espacios para estacionamiento. La infraestructura de aparcamiento, si bien normada, se ve excedida por la demanda en las horas pico, lo que deriva en exceso de tráfico y sobre circulación vehicular, con los impactos ambientales y en la calidad de vida derivados de esta problemática. Es por esto, que es importante una mejora en la gestión de dichos espacios, por lo que surge la gestión inteligente de los estacionamientos que implica en buena medida su automatización. Los niveles de automatización varían en función del tamaño, condiciones físicas y niveles de demanda, pudiendo incluir: sensores que notifican los niveles de ocupación, cámaras de video digital, plumas de acceso y sistemas de pago automático. En este sentido, las arquitecturas permiten desde esquemas de gestión local, hasta arquitecturas interconectadas a la nube, para integrar gestión vía dispositivos móviles a dueños e incluso automovilistas, estos últimos con la finalidad de planificar su desplazamiento, reserva y formas de pago. Para ello se deben establecer esquemas de monitoreo, para detección y determinación de disponibilidad de espacios.

Dado que existen diferentes condiciones en este tipo de establecimientos, se ha propuesto el diseño de una arquitectura general de sensores, que permita a través de un diseño modular, adecuarse a los requerimientos operativos bajo un esquema extensible.

En primera instancia es necesario seleccionar la tecnología, evaluándose los sensores basados en ultrasonido, infrarrojo y magnéticos, además de cámaras de video para reconocimiento de imagen, eligiéndose los sensores ultrasónicos por las condiciones de operación que soportan, la disponibilidad y economía. La arquitectura incorpora no sólo los grupos de sensores, sino los micro controladores, así como los dispositivos de interconexión, mismos que adquieren datos a ser visualizados en una aplicación de software, de manera local o en la nube. Con estos elementos se diseñaron los módulos arquitectónicos.

Para efectos de evaluar opciones de arquitecturas integradas por los módulos, dado que la principal característica esperada es la extensibilidad, se ha adaptado el método ALMA (Architecture Level Modifiability Analysis), que permite analizar la modificabilidad, esto es, la capacidad de ser ajustada debido a cambios en los requisitos o el entorno, así como la adición de nuevas funcionalidades. El método adaptado se orienta a la selección de arquitecturas, donde se comparan las alternativas propuestas para identificar aquella que proporciona mayor soporte a cambios, dado un marco de requisitos. Los pasos adaptados, son: 1) Generación de las descripciones arquitectónicas de las propuestas potenciales a ciertos requisitos; 2) Obtención de escenarios de cambio por crecimiento o alteración de la infraestructura física, categorizados y con análisis de probabilidad de ocurrencia; 3) Evaluación de impacto y efectos indirectos en los módulos y componentes, por escenario, y; 4) Interpretación de resultados, para soportar la decisión de selección.

Esta metodología, permite evaluar la facilidad de modificar y adaptar las arquitecturas propuestas para automatizar el monitoreo de ocupación en estacionamientos, seleccionando aquella con mejores perspectivas ante potenciales cambios o implementaciones futuras.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día uno de los principales problemas que enfrentan las ciudades son el congestionamiento vehicular. Este ha crecido en gran manera a través de los años. Por ejemplo, la tasa anual de crecimiento vehicular es de 5.8% en México y hoy en día se cuentan con 50,594,282 vehículos en la ciudad [1]. Esto produce diferentes consecuencias vehiculares que pueden ser la reducción de velocidad de tránsito, mayor aumento de accidentes relacionados con la congestión, un incremento en el consumo de combustible y una mayor contaminación ambiental. Por ello es importante mejorar el flujo vehicular en diferentes ámbitos como lo es en un estacionamiento. Hoy en día existen

diferentes modelos de automatización de estacionamientos que son: el monitoreo de los lugares disponibles de estacionamiento, estos pueden ser detectados con diferentes sensores como los son, ultrasónicos, magnéticos y con técnicas de procesamiento de imágenes. También existen los estacionamientos de guía que utilizan aplicaciones móviles para acceder a los datos de manera remota en tiempo real [2].

En este trabajo se propone el diseño de una arquitectura de sensores ultrasónicos que permite adecuarse a los diferentes requerimientos de un estacionamiento. Para la selección de la tecnología usada en este proyecto se evaluaron diferentes métodos de identificación de vehículos, como son sensores ultrasónicos, magnéticos, ópticos, video cámaras de vigilancia y sensores de radio frecuencia (RFID).

Para evaluar las opciones de arquitecturas de un estacionamiento se utiliza el método ALMA (Architecture Level Modifiability Analysis). Este método nos ayuda a predecir los costos de mantenimiento, la evaluación de riesgos y ayuda la comparación de arquitecturas. Este método utiliza la técnica de evaluación de escenarios de cambio, donde compara los diferentes casos y nos proporciona una mejor evaluación. Los pasos que se ocupan en este trabajo, son adaptados para la evaluación de las arquitecturas, estos son: 1) Descripción de las propuestas arquitectónicas; 2) Obtención de los escenarios de cambio; 3) Evaluación de impacto y efectos indirectos en los sensores; 4) Interpretación de los resultados.

TEORÍA

Objetivo:

Identificar la tecnología más utilizada en la implementación de estacionamientos inteligentes y evaluar los diferentes casos de arquitecturas con el método ALMA. Para evaluar la facilidad de mantenimiento y analizar las diferentes desventajas que puede presentar cada situación evaluada.

PARTE EXPERIMENTAL

En primera estancia se realiza una RSL (revisión sistemática de literatura) para localizar las tecnologías más utilizadas para la implementación de un estacionamiento inteligente. Se analizaron 30 artículos donde hablan acerca de la implementación de un estacionamiento inteligente y otros donde analizan las tecnologías más utilizadas. Los trabajos de [3], [4] y [5] nos proporcionan información acerca de las tecnologías más utilizadas, estas se muestran en la tabla 1, donde se observa que la tecnología más utilizada son los sensores ultrasónicos dado que estos son de menor costo, poseen más flexibilidad y contienen buena mantenibilidad.

Tabla 19: Evaluación de uso de las tecnologías

Tecnologías utilizadas	Cantidad de veces utilizado
Sensores ultrasónicos	22
Sensores magnéticos	10
Video cámaras	19
RFID	8

Una vez seleccionada la tecnología a utilizar se plantean 3 escenarios de análisis, donde se aplicará el método ALMA para la evaluación de los diferentes casos. El método consiste en describir una arquitectura con la información de las partes más relevantes de la misma, en este caso se evalúa la interacción de los sensores ante diferentes temperaturas y como estos trabajan en diferentes arquitecturas. Para ello se obtiene información de los diferentes escenarios planteados y se compara la información obtenida en los diferentes casos. Obteniendo la información requerida se analizan los datos para identificar cual es el trabajo óptimo de los sensores. Por último, se generan conclusiones para determinar el mejor caso de trabajo en las arquitecturas propuestas. El procedimiento de este método se puede ver en la figura 1.

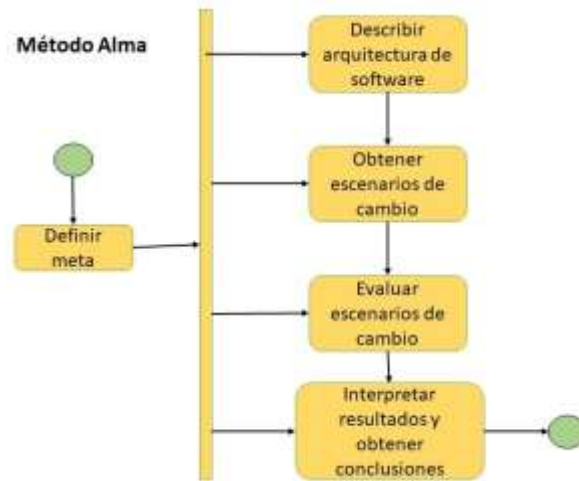


Figura 75: Pasos del método ALMA

RESULTADOS

Se plantearon 3 escenarios donde la posición de estacionamiento de los vehículos es diferente en cada caso. En primer lugar, tenemos el de la figura 2 donde todos los vehículos son estacionados de manera recta, en este ejemplo se simularon 5 espacios ocupados y la instalación de los sensores ultrasónicos son colocados enfrente de cada uno de los vehículos a través de un poste e interconectados entre si a través de una red de sensores que permite el monitoreo del mismo.

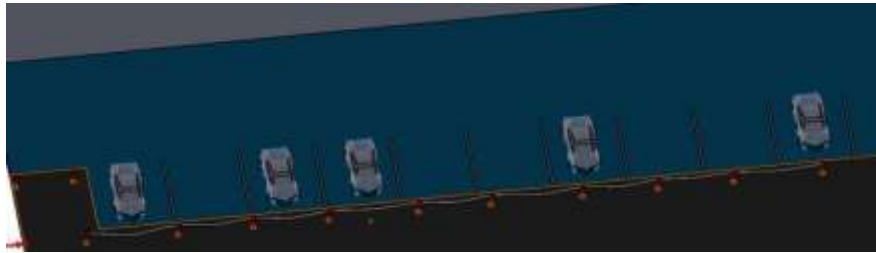


Figura 76: Primera posición de estacionamiento

En el primer caso la instalación de los sensores se vuelve más sencilla al tener un circuito interconectado en serie. Estos sensores pueden ser instalados enfrente de cada vehículo, para detectar la presencia del mismo. Gracias a que el sensor está dentro de un poste, con un soporte especial como se ve en la figura 3 puede soportar las inclemencias del tiempo como la lluvia o viento sin ninguna afectación. Para esto se evaluó el funcionamiento del sensor ante diferentes temperaturas siendo la máxima de 35 grados centígrados y la mínima de 16 grados centígrados.



Figura 77: Base del sensor ultrasónico

Para validar los datos de medición de los sensores se utiliza el método de [6], donde se calcula la desviación estándar y una vez teniendo esos valores, se calcula el error estándar. Para esto se coloca un objeto enfrente del sensor en 10 distancias diferentes que van desde los 10 hasta los 100 cm, para corroborar la distancia que nos está enviando el sensor se utiliza una cinta métrica. Los resultados de esta evaluación se pueden ver en las tablas 2 y 3.

Tabla 20: Datos del sensor a 35 grados C

Distancia real del objeto (cm)	Medición	Desviación estándar	Error %
10	9	0	0
20	20	0	0
30	30	0	0
40	39.2	0.51	0.16%
50	49.7	0.48	0.15%
60	59.28889	0.52	0.16%
70	69.6	0.63	0.19%
80	78.5	4.69	1.48%
90	88.1	3.15	1.15%
100	98.1	2.05	0.66%

Tabla 21: Datos del sensor a 16 grados C

Distancia real del objeto (cm)	Medición	Desviación estándar	Error %
10	8.9	0.32	0.14%
20	20	0	0
30	30	0	0
40	38.9	0.59	0.17%
50	49.4	0.53	0.15%
60	59.4	0.60	0.18%
70	69.1	0.69	0.24%
80	78.1	5.85	1.94%
90	88.7	3.75	1.35%
100	97.9	2.85	1.8%

Nuestro segundo caso de análisis es cuando los lugares de estacionamiento están de manera inclinada como se ve en la figura 4. En esta situación la instalación eléctrica será igual a la del 1 caso de estacionamiento ya que los sensores pueden ser instalados de la misma forma y no presenta una complejidad de instalación o mantenimiento. La posición de los sensores deberá adecuarse a la mitad del cajón de estacionamiento para una correcta detección. Gracias a las tablas 2 y 3 nos damos cuenta que la distancia ideal de detección es entre los 10 a 30 cm ya que los porcentajes de error son casi nulos.



Figura 78: Segunda posición de estacionamiento

El ultimo caso de estudio es el de la figura 5 donde tenemos dos situaciones, una donde se puede hacer la instalación de los sensores fijándolos a la pared o la siguiente manera colocando los postes

antes vistos en las figuras 4 y 2. También los sensores pueden ser instalados en el suelo, haciendo una perforación de 7x4 cm y una profundidad de 3.5 cm, con ello el vehículo no tocará el sensor y podrá detectar la presencia del mismo. Cabe recalcar que este tipo de instalación deberá ser en estacionamientos techados ya que el agua puede causar un daño al sensor.

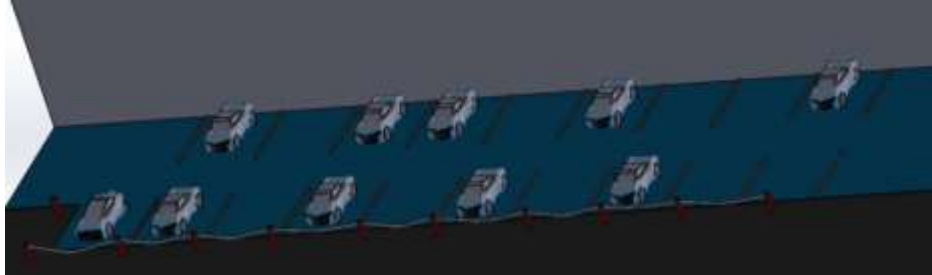


Figura 79: Tercer posición de estacionamiento

Por ultimo se comparan los 3 casos de estudio del estacionamiento bajo los parámetros dados en la tabla 4.

Tabla 22: Evaluación de los casos de estacionamiento

Casos de estacionamiento	Facilidad de mantenimiento	Desventajas	Tecnología utilizada	Diseño arquitectónico
Primero	Simple y manejable	En este caso, puede darse la posibilidad de un retraso de detección del vehículo ya que la distancia del sensor sería mayor, a diferencia de los otros casos.	Sensor ultrasónico	Los automóviles están estacionados de manera diagonal, lo que facilita al usuario el estacionarse. Los sensores serán colocados a una distancia de 2 metros en la pared y de manera inclinada para detectar la presencia de un vehículo.
Segundo	Cómoda y sencilla	Una de las desventajas vistas es que los sensores pueden estar al alcance de los usuarios y causar un daño a estos, afectado el funcionamiento del sistema.	Sensor ultrasónico	Los automóviles están estacionados de manera vertical y la instalación de los sensores es sencilla, ya que se utilizan postes para la interconexión de estos. La mantenibilidad de igual manera no se vuelve un trabajo complicado y es sencillo acceder a los sensores.
Tercero	Delicado y de difícil acceso	En este caso si la colocación de los sensores es en el pavimento, se puede presentar problemas de detección si al sensor le llegara a traspasar agua.	Sensor ultrasónico	Los automóviles están estacionados de manera vertical, pero en este caso se encuentran algunos al aire libre y otros pegados a alguna pared. Para este caso se pueden instalar los sensores en la pared facilitando la detección de un vehículo, en el caso de los automóviles que no estén cerca de una pared se pueden instalar postes de conexión como en los anteriores casos. También se pueden instalar los sensores debajo del cajón de estacionamiento para una detección precisa del vehículo. Esto solo será posible en estacionamientos que contengan una estructura techada.

CONCLUSIONES

Gracias al método ALMA podemos hacer una comparación de arquitecturas y ver la facilidad de modificabilidad que cada uno de los escenarios planteados posee. También nos damos cuenta de la facilidad de instalación eléctrica que cada caso posee y de las diferentes dificultades de cada uno, junto con las diferentes características arquitectónicas que se tienen en los diferentes casos. También gracias al análisis de los sensores nos damos cuenta que la temperatura a la que los sensores son sometidos puede afectar la medición, aun así, el sensor ultrasónico nos sigue dando una precisión de detección aceptable para el reconocimiento de vehículos. Con ello nos damos cuenta que el sensor ultrasónico es una de las mejores tecnologías para la implementación de un estacionamiento inteligente y que este puede operar en diferentes situaciones arquitectónicas de manera exitosa.

BIBLIOGRAFÍA

1. "Parque vehicular". Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos> (accedido el 15 de marzo de 2021).
2. M. Chandrahasan, A. Mahadik, T. Lotlikar, M. Oke y A. Yeole, "Survey on Different Smart Parking Techniques", *International Journal of Computer Applications*, vol. 137, n.º 13, pp. 17–21, marzo de 2016. Disponible: <https://doi.org/10.5120/ijca2016908920>
3. J. J. Barriga et al., "Smart Parking: A Literature Review from the Technological Perspective", *Applied Sciences*, vol. 9, n.º 21, p. 4569, octubre de 2019. Disponible: <https://doi.org/10.3390/app9214569>
4. V. Paidi, H. Fleyeh, J. Håkansson y R. G. Nyberg, "Smart parking sensors, technologies and applications for open parking lots: a review", *IET Intelligent Transport Systems*, vol. 12, n.º 8, pp. 735–741, octubre de 2018. Disponible: <https://doi.org/10.1049/iet-its.2017.0406>
5. V. K. Sarker, T. N. Gia, I. Ben Dhaou y T. Westerlund, "Smart Parking System with Dynamic Pricing, Edge-Cloud Computing and LoRa", *Sensors*, vol. 20, n.º 17, p. 4669, agosto de 2020. Disponible: <https://doi.org/10.3390/s20174669>
6. J.C. Bigliani, E.A. Gutiérrez y J. Martín "Sensor ultrasónico de distancia para armar y aprender Física", *Enseñanza de la Física*, vol. 31, n.º Extra, pp. 63-70, 2019.

ECODISEÑO DE BRAZO ROBÓTICO TELEOPERADO PARA PERSONAS CON DISCAPACIDAD MOTRIZ

Ana Mariel San Nicolás Hernández¹, Ernesto Monroy Cruz^{1,2}, Keops Xeki García Galván^{1,3}, José Roberto Contreras Bárbara¹

¹Tecnológico Nacional de México Campus Atitalaquia, ²Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios No. 26 "Fray Diego de Rodríguez", ³Centro de Bachillerato Tecnológico industrial y de servicios No. 218 "Julián Villagrán"
anamariel.sannicolas@gmail.com

RESUMEN

Actualmente parte de la población que presenta algún tipo de discapacidad motriz, padece dentro de otras cosas, marginación y/o poca o nula inclusión laboral, específicamente en procesos industriales del sector manufacturero. Ante este panorama, se ha detectado la posibilidad de que personas con estas condiciones puedan realizar tareas de manipulación de equipos al proporcionarles herramientas que les faciliten la ejecución de dichos procesos, por ejemplo, controlar los movimientos de un brazo robótico. Bajo este enfoque, disciplinas como la mecatrónica favorecen el desarrollo de tecnologías que se pueden orientar para la mejora de las condiciones de vida y laborales de este sector vulnerable. En este sentido, el presente trabajo describe la elaboración de un prototipo de brazo robótico de 2 GDL que ofrece la posibilidad de ser teleoperado por personas con cierta discapacidad motriz, que podría ser aplicado en sus actividades diarias o su entorno laboral. La metodología general en el desarrollo del trabajo contempla el ecodiseño, con la finalidad de que el prototipo sea amigable con el ambiente durante su ciclo de vida. Las articulaciones fueron accionadas mediante motores a pasos, la interfaz de usuario y el algoritmo de control se desarrollaron bajo el entorno de programación de LabVIEW. De las pruebas realizadas se logró validar la manipulación del robot de manera remota, de acuerdo a las consignas brindadas y con tiempos de respuesta favorables a la aplicación. Se concluye que los productos tecnológicos actuales deben considerar la sustentabilidad como alternativa de diseño y que el prototipo desarrollado busca impulsar la inclusión laboral de personas con padecimientos motrices, para mejorar su calidad de vida.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas los robots se han implementados en diferentes sectores, por ejemplo, en el área automotriz, donde son utilizados en diversas etapas del proceso del ensamble. Además, con el desarrollo de la tecnología los robots en el sector médico se aplican entre otras cosas como asistentes en el área de cirugía, esto gracias a que los brazos robóticos presentan precisión de los movimientos, así como mejoras en tamaño, rapidez y que pueden ser controlados de manera presencial o virtual. Por otro lado, el constante cambio tecnológico ha favorecido para que los robots presenten mejoras en la producción, ya que permiten tener repetibilidad, calidad y reducción en tiempos de producción. Ante este panorama, consideramos que existen algunas áreas de oportunidad en el desarrollo de los robots, por un lado, considerar que el diseño sea bajo un enfoque ecológico amplio, que incluya la sostenibilidad desde el diseño, uso y obsolescencia del robot, y por otro lado que sean accesibles para personas con algún tipo de discapacidad, posiblemente para su inclusión laboral.

Por su parte, de acuerdo a cifras oficiales en México, las personas con algún tipo de discapacidad eran 20 millones 838 mil 108 personas en el 2020, de las cuales 38.8% entran en el rubro de discapacidad motriz (INEGI, 2020). Lo cual permite identificar que el desarrollo de robots que faciliten algunas actividades laborales, podría contribuir significativamente en la inclusión de personas que presenten algún tipo de discapacidad motriz. Ante este escenario, se desarrolló una alternativa tecnológica y sustentable, que consiste en el ecodiseño de un prototipo de brazo robótico teleoperado, que se pretende sea manipulado por personas con padecimiento de discapacidad motriz específica, en busca de su inclusión en el ambiente laboral de tipo manufacturero, a través del monitoreo y seguimiento en una interfaz gráfica.

TEORÍA

Actualmente hablar de ecodiseño es común en el desarrollo de procesos y productos, de acuerdo con diversos estudios ha surgido como una filosofía de economía lineal a convertirse en una economía circular. Donde el “ciclo de vida de producto” cause el menor impacto ambiental posible (Rodríguez, 2019). De este modo el ecodiseño está relacionado con el estudio, diseño y desarrollo de productos incorporando los aspectos ambientales y sus metodologías de ciclo de vida que contribuye a mitigar los impactos ambientales, esto a través de las normativas y la legislación que permiten regular el daño a las diferentes etapas del ciclo de vida de un producto, que de acuerdo a la Norma ISO-14040 “es una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto: compilados a un inventario de las entradas y salidas del sistema, evaluando los impactos ambientales potenciales asociados, e interpretando los resultados de las fases del inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio” ISO-14040:1997, citada en (Rodríguez, 2003).

Por otra parte, los robots son estructuras mecánicas que se han implementado en diversos procesos, específicamente se puede decir que un robot es cualquier estructura mecánica que opera con un cierto grado de autonomía para la realización de una actividad específica, y que se controla por medio de dispositivos computacionales (Sánchez y Saavedra, 2005) y con el desarrollo tecnológico dispone de un sistema sensorial para obtener información de su entorno e interactuar con el humano por medio de interfaces hombre máquina. Tradicionalmente la robótica se suele dividir en dos grandes áreas: la robótica de manipulación y la robótica móvil. En este sentido los brazos robóticos han tenido significativa inclusión en diferentes áreas laborales y prácticas independientes de emprendimiento.

Dentro de las principales aplicaciones de los brazos mecánicos existen tareas similares a la función de un brazo humano, pero en ocasiones amplían la repetibilidad, alcance y precisión de algunas acciones. Una característica de los robots hace referencia a los grados de libertad (GDL) que hacen referencia al número de movimientos independientes que es realizado por una de las articulaciones del robot (Sánchez y Saavedra, 2005) y que para realizar el control de un robot es necesario programar una rutina de movimientos con ayuda de un servo posicionamiento. Para lograr la función final del robot es necesario tener dispositivos actuadores, que funcionan a partir de la conversión de energía, de acuerdo con (Ramírez, Jiménez y Carreño, 2014) un actuador es dispositivo con la capacidad de generar una fuerza que ejerce un cambio de posición, velocidad o estado de algún tipo sobre un elemento mecánico, a partir de la transformación de energía.

Dentro de los actuadores comerciales, existe el motor a pasos; siendo este un dispositivo electromecánico de corriente continua que convierte los pulsos eléctricos en un desplazamiento que gira en una cantidad de grados, puede ser paso o medio paso, esto conforme a su entrada de control y en concordancia con un *joystick*; que es un dispositivo de palanca que permite controlar a distancia a partir de su manipulación un sistema o equipo.

Respecto a los entornos de programación de robots, el presente trabajo contempla realizar el control del brazo articulado en el software LabVIEW. En él se permite una programación gráfica y permite el desarrollo de interfaces gráficas, además de la posibilidad de conectarse a través de librerías con diversos tipos de Hardware como la tarjeta Arduino, que en términos generales consiste en una placa con un microprocesador programado a partir del entorno propio. En este sentido, se hace referencia a que los elementos antes mencionados en alineación con un diseño ecológico del sistema, son los elementos que integran el brazo robótico propuesto y desarrollado en este trabajo, cuya finalidad principal es que sea utilizado por personas con algún tipo de discapacidad motriz.

PARTE EXPERIMENTAL

En este apartado se mostrará la metodología empleada para la elaboración del proyecto, para ello se establecen inicialmente las siguientes consideraciones:

- El sistema será un prototipo funcional que permita emular su aplicación en algún entorno del sector manufacturero.
- Construir el brazo robótico tomando en cuenta las estrategias y normas de ecodiseño, lo anterior para disminuir el impacto ambiental.

- Que el brazo articulado permita la posibilidad de ser operado a distancia, con simplicidad por si requiere ser manipulado por personas con discapacidad motriz para impactar positivamente en la inclusión laboral.

Metodología del diseño mecánico

Con base a las consideraciones anteriores, se realizó el prototipo mediante el uso de dispositivos tales como una estructura mecánica, una tarjeta Arduino, motores a pasos, un joystick, entre otros, bajo un diseño apegado a la metodología de ecodiseño, la cual consta de las siguientes etapas:



Figura 1.- Metodología de ecodiseño basado en la NORMA ISO 14000.

Etapa 1. Preparación del trabajo

Como etapa inicial se llevó a cabo la organización y concientización del equipo involucrado en el proyecto, se asignaron tareas y responsabilidades específicas en cada una de las etapas para la conclusión del proyecto. Posteriormente, se detectaron los principales aspectos internos y externos que nos motivaron a realizar el diseño del brazo bajo el enfoque del cuidado del medio ambiente, los resultados se muestran a continuación:

Aspectos internos			
Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
El material para realizar el brazo sea reutilizado.	El robot será construido tomando como principal norma las estrategias de eco diseño.	El proceso de fabricación del brazo debe ser con la menor emisión de gases contaminantes al ambiente.	El producto tiene como objetivo la concientización y la implementación del desarrollo sustentable en alternativas tecnológicas que resuelvan problemas de impacto social.

Aspectos externos		
Factor 1	Factor 2	Factor 3
La implementación de este tipo de prototipos como alternativa representa un impulso a la concientización de rehúso de materiales y/o dispositivos electrónicos.	Con el uso de materiales reciclados y reutilizados para la elaboración del brazo, se reducen costos de inversión.	Este tipo de alternativas tecnológicas son beneficios directos a sectores de la población que no son favorecidos laboralmente.

Etapa 2. Análisis ambiental del prototipo

Esta etapa consistió en realizar un análisis ambiental de cada uno de los posibles materiales de las partes y los elementos que conforman al producto, es decir, determinar la relación que tienen con el medio ambiente durante las etapas de su ciclo de vida. Se considera un impacto ambiental, cualquier cambio en el medio ambiente, provocado total o parcialmente por un producto durante su ciclo de vida.

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es la metodología que se utiliza actualmente para evaluar la carga medioambiental de un producto, proceso o actividad en todo su ciclo de vida. Pretende evaluar los potenciales impactos ambientales causados durante todas las etapas, desde la extracción de las materias primas hasta su residuo final. Este tipo de análisis es la metodología más compleja, pero a la vez más completa de análisis de impacto ambiental. La norma ISO 14040:2006 establece los principios y el marco de referencia para el Análisis de Ciclo de vida, donde refleja que consta de cuatro fases.

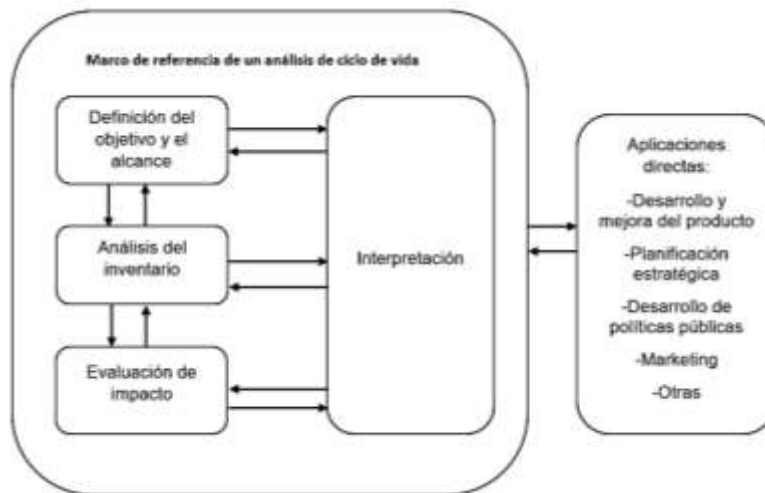


Figura 2.- Metodología de ecodiseño basado en la NORMA ISO 14000.

De la información anterior, se presentan los cuatro pasos del análisis del ciclo de vida desarrollados para el proyecto.

I.- Definición de objetivo y alcance

Objetivo. Determinar las posibles causas de impacto al medio ambiente y así poder tomar decisiones sobre la fabricación de un brazo teleoperado de bajo costo fin de reducir el impacto ambiental a lo largo de su ciclo de vida.

Alcance: La función principal del brazo, es que pueda ser manipulado a distancia por personas con alguna discapacidad motriz para mejorar el índice de inclusión laboral de este sector de la población.

II.- Análisis del inventario

Para la identificación de los aspectos ambientales se debe realizar un inventario de los principales materiales usados para la construcción de brazos robóticos, tales materiales serán mostrados como

entradas y salidas, para así determinar cada uno de sus impactos ambientales, como lo pueden ser: la energía de la materia prima utilizada, las emisiones a la atmósfera, al agua y a la tierra, así como la cantidad de uso de suelo.

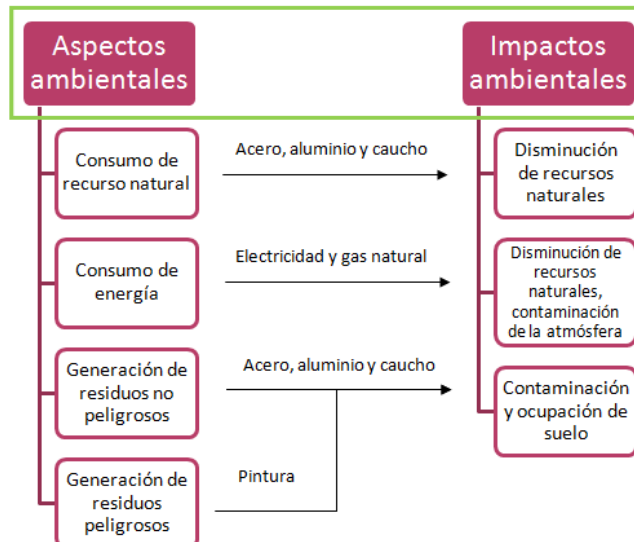


Figura 3.- Relación de aspectos con impactos ambientales de diversos materiales.

En la Figura 3, se muestra la descripción de la relación de los aspectos ambientales con el impacto que generan algunos de los materiales comúnmente vistos en prototipos.

III.- Evaluación de impacto

En esta fase del ACV se evalúa y cuantifican los efectos de la utilización de los recursos y de las emisiones de los materiales. Como se puede observar en la Figura 3, los impactos ambientales que generan el uso de acero y aluminio son la disminución de recursos naturales, contaminación a la atmósfera, así como la ocupación de suelo, pues tardan más de 100 años en descomponerse. Sin dejar de mencionar que su procesamiento para el maquinado de este tipo de materiales involucra consumo de energía eléctrica considerable, lo cual impacta en consumo de gas natural y contaminación a la atmósfera. Además, el acabado del acero requiere de un recubrimiento como pintura para mejorar su aspecto, provocando generación de residuos peligrosos.

IV.- Interpretación

Realizar un prototipo como herramienta tecnológica sin realizar un estudio de análisis de ciclo de vida resulta una mala decisión ya que el consumir materiales y componentes que provienen de materias primas donde su obtención y procesamiento es muy contaminante, es algo que hoy en día no se puede permitir pues las soluciones actuales en todos o ámbitos deben tomar en cuenta el desarrollo sustentable.

Etapas 3. Ideas de mejora

De acuerdo a la interpretación de la etapa anterior, se descarta ocupar materiales como acero y aluminio para la estructura del brazo robótico.

En esta etapa se busca generar propuestas de mejora o eliminación de algún aspecto ambiental, así como el cumplimiento de los factores de motivación planteados al inicio del ecodiseño de proyecto, y valorizarlas bajo los siguientes criterios planteados:

- C1.- Impacto ambiental: importancia de la mejora que la nueva idea va a suponer en cuanto al medio ambiente.
- C2.- Aspectos Económicos: posibilidad de poder financiar la mejora o que esta genere un ahorro.
- C3.- Aspectos Tecnológicos: posibilidad de aplicar las ideas de mejora con los medios de producción de los que se dispone.
- C4.- Motivación: cumplimiento con los objetivos planteados en el inicio del Ecodiseño.

- C5.- Funcionalidad: las condiciones de operación y sus funciones no se alteran o se mejoran.

Al realizar lo anterior, el equipo de trabajo decide que la opción con mayor puntaje de acuerdo a los criterios es la reutilización de materiales como acrílico, madera y tornillería, haciendo la recopilación de este tipo de materiales en los negocios que lo manejan y que generan desperdicios de estos.

Así mismo, los actuadores eléctricos a utilizar para el accionamiento de los eslabones serán aquellos motores que se pueden conseguir de aparatos electrónicos en centros de acopio de este tipo de residuos, como impresoras, cajas registradoras, etcétera. Con la misma finalidad; reutilizar aquello que se ha convertido en desecho alargando su ciclo de vida. Evitando así, los impactos ambientales que generan sus procesos productivos que consumen gran cantidad de energía y que son de los procesos industriales más contaminantes, además de la causada por la distribución y transporte de estos materiales. En la Figura 4 se muestra el lugar donde se obtuvieron algunos de los materiales y componentes de dispositivos electrónicos que eran ya considerados como desecho.



Figura 4.- Recuperación de componentes de desechos de aparatos electrodomésticos.

Otra ventaja al utilizar materiales y componentes reciclados para el sistema robótico es que una vez que deje de ser funcional, estos pueden ser nuevamente reutilizados para otro tipo de prototipos de este tipo, obteniendo así un ciclo de vida mayor que impacta en beneficio del cuidado del medio ambiente.

Etapas 4. Desarrollo de diferentes conceptos de producto

En esta etapa se definen los diferentes conceptos del robot, en donde se deben tomar en cuenta los resultados de etapas anteriores. Como primer paso se describen los requerimientos técnicos para la aplicación del robot, contemplando además los requisitos ambientales, con la finalidad de obtener diversas soluciones o modelos para un mismo producto de tal manera que estas se apeguen mejor con el cumplimiento de los requerimientos.

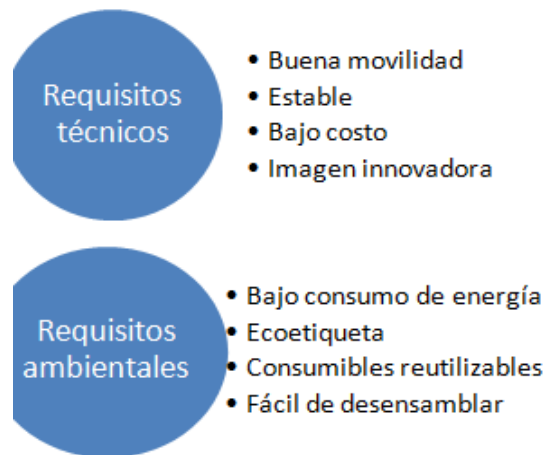


Figura 5.- Requisitos a cumplir para el ecodiseño del robot.

Como segundo paso, se procede con la búsqueda de características de las principales configuraciones o diseños de robots, tales como SCARA, PUMA, CILÍNDRICO, ESFÉRICO, DELTA, etc., así mismo, se tomarán en cuenta los materiales para la fabricación elegidos anteriormente. Los requisitos establecidos, tanto los técnicos como los ambientales, se muestran en el diagrama de la Figura 5. En esta etapa, nuevamente se elabora una matriz de priorización, donde se evaluaron los diferentes conceptos, siendo el robot esférico el que resultó con mayor puntaje tomando en cuenta los requisitos tanto técnicos como ambientales a cumplir.

Etapa 5. Desarrollo en profundidad del concepto elegido

A partir de la elección del concepto a desarrollar para el robot basado en las ideas de mejora, se concreta a profundidad el diseño del sistema, en el cual se mencionan los materiales seleccionados para fabricación y su configuración. El sistema consistirá en una plataforma robótica tipo esférica como se muestra en la Figura 6, la cual también se enlistan los materiales a utilizar para su construcción.



Figura 6.- Esquema y materiales de robot cilíndrico a construir.

Metodología del diseño electrónico

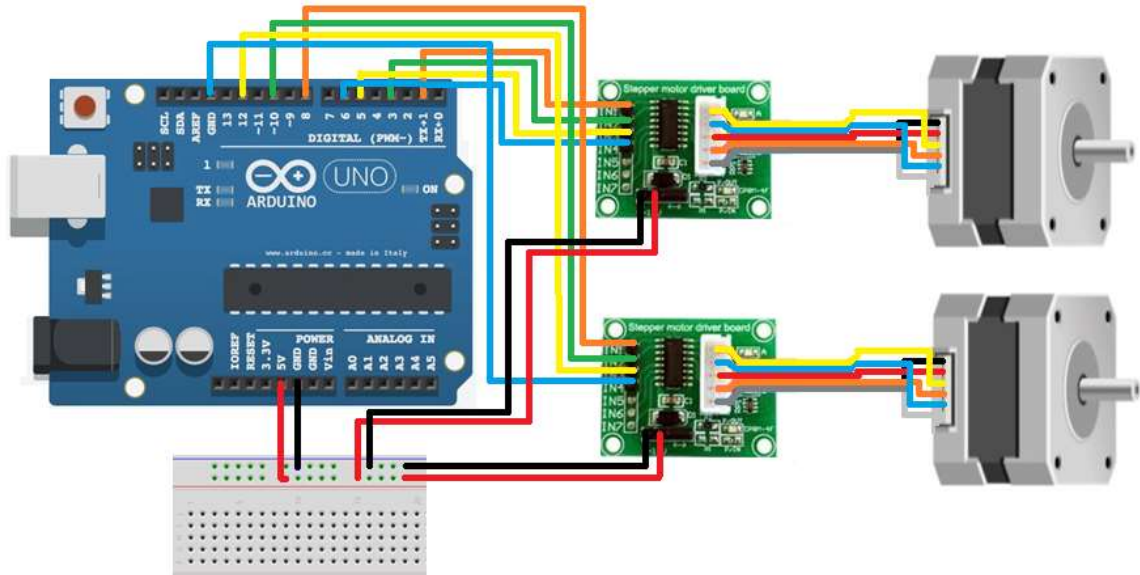
El diseño electrónico para el control del brazo robótico consiste en el manejo de motores a pasos, este tipo de actuadores resultan adecuados para propiciar el movimiento de los eslabones del brazo, ya que una de sus características es la buena precisión que tienen al convertir una serie de pulsos eléctricos en desplazamientos angulares, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados específica. Lo anterior, lo hace con apoyo del *driver ULN 2003* que enlaza el sistema digital y de programación con el sistema operativo, en otras palabras, manda las señales digitales de programación para el control de los motores a pasos. La aplicación de control del sistema fue creada en el software LabVIEW debido a que ofrece las herramientas necesarias para crear una interfaz gráfica amigable con indicadores adecuados para mostrar datos en tiempo real durante el funcionamiento del sistema.

El código consta de la programación de la tarjeta Arduino a través de la librería LIFA (LabVIEW Interface For Arduino), así como la lectura analógica del *joystick* conectado a la estación de control, que con base en el eje accionado a través de la palanca se determina la secuencia de paso doble a enviar a los actuadores eléctricos a través del driver que está conectado a las salidas digitales previamente configuradas de la tarjeta Arduino Uno. Así mismo, se realizó el código a bloques sobre la conexión y adquisición de video de una cámara web conectada a una estación remota, dicha cámara servirá para monitorear la posición del robot a larga distancia y que el usuario pueda manipularlo. Finalmente, el algoritmo contempla la publicación en la web de la interfaz de usuario,

donde un equipo remoto puede acceder ara controlar la plataforma mediante el link generado, obteniendo así la teleoperación del brazo robótico.

En la Figura 7 se puede observar el esquema general de conexión de los principales componentes electrónicos utilizados para el proyecto.

Figura 7.- Integración de componentes electrónicos para el sistema.



En la Figura 8 se aprecia una parte del código desarrollado en el software, tal como la configuración de la tarjeta Arduino y sus pines digitales (parte media izquierda), así también la lectura del *joystick* (parte superior izquierda), además de la conexión de una cámara web para la obtención del video (parte inferior izquierda). En la Figura 9, se muestra la interfaz gráfica de usuario resultante, en la cual se tiene un área para visualizar el video de la cámara y poder visualizar la posición actual del robot, útil para su manipulación a distancia.

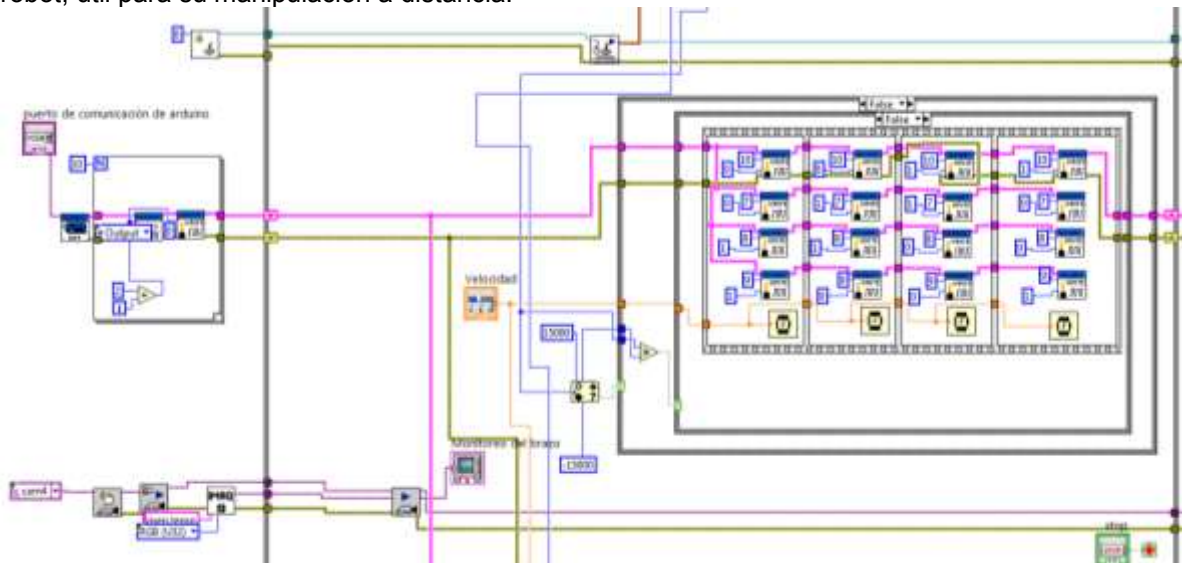


Figura 8.- Parte de diagrama a bloques desarrollado en el software LabVIEW.

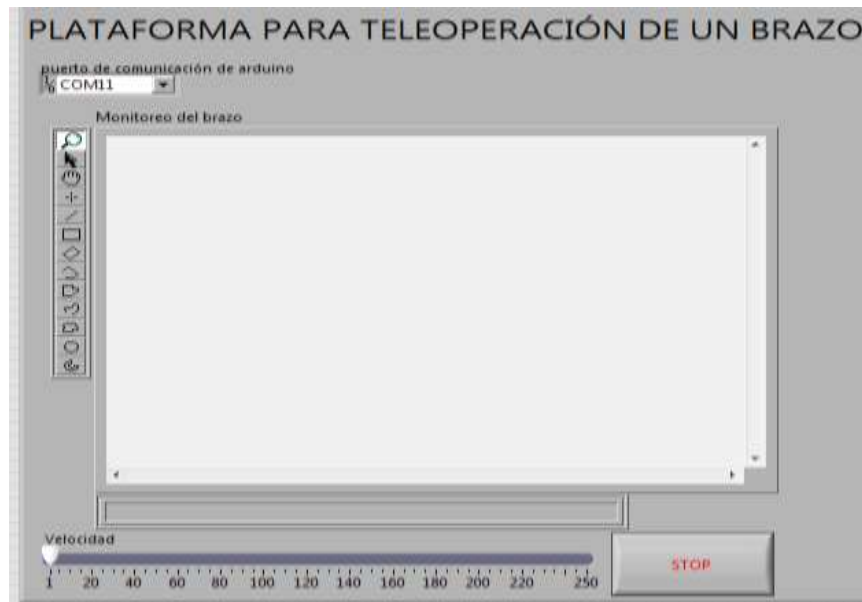


Figura 9.- Interfaz de usuario desarrollada para el sistema.

RESULTADOS

A continuación, en la Figura 10 se muestra un esquema de integración de los principales componentes, tales como el brazo robótico, cámara web, joystick.

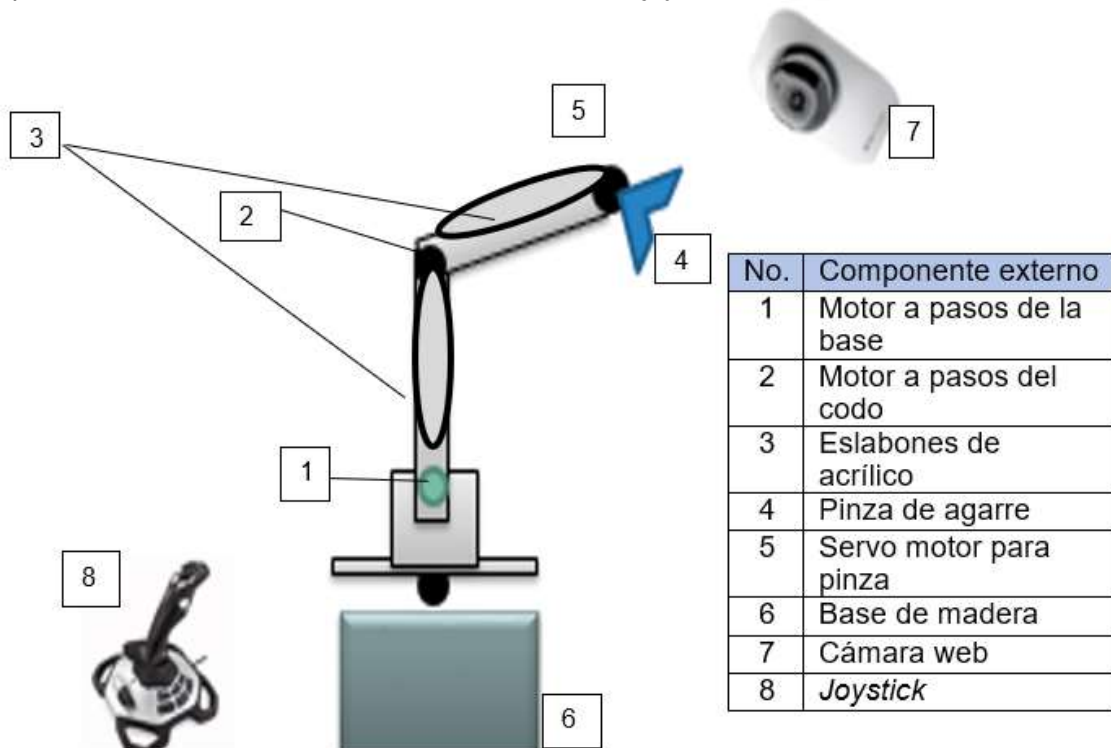


Figura 10.- Integración de componentes electrónicos para el sistema.

En la Figura 11 se muestra una imagen del prototipo real construido, donde se puede apreciar el tipo de materiales y componentes utilizados, siendo estos de recicle.



Figura 11.- Prototipo funcional realizado con materiales reciclados.

Para la validación del sistema desarrollado, fue importante realizar una serie de pruebas de funcionalidad en la manipulación del brazo por una persona con discapacidad motriz. En la Tabla 1 se muestran los tipos de movimientos y sus correspondientes requisitos que debía cumplir el operador de la plataforma.

Tabla 1.- Consignas para validar el funcionamiento de la plataforma.

Tipo de movimiento	Función a completar	Requisitos
Desplegar	El usuario despliega el brazo manipulando el <i>joystick</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Debe encontrarse en la posición para que logre desplegarse. • Tienes que estar en un espacio libre para desplegar el brazo.
Plegar	El usuario pliega el brazo manipulando el <i>joystick</i> .	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Tiene que estar finalizada la acción anterior para lograr plegarse.
Mover hacia la derecha	El usuario mueve el brazo en dirección a la derecha	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Debe encontrarse desplegado para hacer el movimiento • Contar con espacio libre.
Mover hacia la izquierda	El usuario mueve el brazo en dirección a la izquierda	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Debe encontrarse desplegado para hacer el movimiento • Contar con espacio libre.
Mover (Elevador)	El usuario manipula el brazo en vertical de arriba hacia abajo	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Debe encontrarse totalmente desplegado
Girar 90°	El usuario manipula el brazo haciendo un giro de 90° sobre su eje.	<ul style="list-style-type: none"> • Brazo activo • Debe contar con espacio libre.

Para lograr un impacto social en nuestra zona de ubicación, las pruebas fueron llevadas a cabo en el Centro de Atención a Estudiantes con Discapacidad (CAED), ubicado dentro de las instalaciones del CETis 26 y que atiende la educación de personas en estas condiciones. Se asistió a la dirección de CAED para plantear la actividad y el objetivo de aplicación del proyecto, esto con el fin de obtener información sobre posibles candidatos a realizar la prueba y la autorización de la misma por parte de dirección y el consentimiento del estudiante.

En este caso, debido a su condición y los objetivos del proyecto para impulsar la inclusión laboral de personas con discapacidad motriz, se recomendó y autorizó por parte de la directora la participación del estudiante Jesús Tadeo Juárez Cristino, quien tiene el padecimiento de Retraso Psicomotor descrito en una constancia archivada por la instancia correspondiente y mostrada en la Figura 12.



Figura 12.- Diagnóstico de exploración física del estudiante de CAED.

CONCLUSIONES

El poner en práctica los conceptos de eco diseño y análisis de ciclo de vida es una opción para el diseño, realización y aplicación de proyectos tecnológicos que demande la sociedad, ya que permite visualizar las acciones que debemos hacer para impulsar el desarrollo sustentable y generar conciencia ambiental, que permita reducir los daños y riesgos ambientales que actualmente se sufren. Se menciona que, para este caso, se logró realizar el prototipo del brazo robótico teleoperado mediante la integración de elementos físicos controlados mediante programación y tarjetas electrónicas, lo que favoreció el desarrollo de diferentes competencias, además de que se tiene la visión de que sea operado por personas con alguna discapacidad motriz, para su inclusión laboral.

BIBLIOGRAFÍA

1. B. R. Rodríguez, "El análisis del ciclo de vida y la gestión ambiental", Boletín IIE, 91-97, 2003.
2. C. Rodríguez Viñas, "El ecodiseño: concepto y aplicaciones", 2019. UCAL Lima, Perú.

3. ISO 14040:1997(E). Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. International Standard Organization.
4. L. A. Sánchez y M. S. Saavedra, “Matemáticas y robótica”, Curso Interuniversitario Sociedad, Ciencia, Tecnología Y Matemáticas, 2005.
5. L. G. C. Ramírez, G. S. A. Jiménez, y J. M. Carreño, “Sensores y actuadores”. Grupo Editorial Patria, 2014.

CARACTERIZACIÓN DE SENSORES DE GAS POR COMUNICACIÓN SERIAL

Aldo Arturo Flores Rojas, Ximena de la Cruz Jiménez, Carlos Francisco Pulido García, Diana Bueno Hernández.

Instituto Politécnico Nacional - UPIBI.
sarduts@gmail.com

RESUMEN

Los sensores de gas son dispositivos capaces de detectar compuestos químicos que se encuentran en el aire o en el aliento de las personas y generan una señal eléctrica que varía respecto a la concentración del componente analizado. La caracterización es primordial para el desarrollo de cualquier dispositivo que los emplee, por lo que es necesario contar con herramientas que permitan la adquisición, desarrollo y procesamiento de la información proporcionada por el sensor. La programación de software, específicamente el diseño de una aplicación o interfaces gráficas que permitan visualizarlo es una herramienta práctica para ello. En este trabajo se propone el desarrollo de una interfaz gráfica autoejecutable para caracterizar sensores en campo, los sensores caracterizados son sensores de gas. Estos son dispositivos semiconductores de óxido metálico, también conocidos como quimio resistores debido a que su principio se basa en la conductividad de un material dieléctrico expuesto al gas que facilita la transferencia de electrones generando una diferencia de voltaje. Lo cual permite la cuantificación de la concentración del compuesto en función del voltaje. Además, este tipo de sensores pueden ser programados en tarjetas de desarrollo como Arduino o con cualquier otro microcontrolador como el ESP32, microcontrolador utilizado dado que facilita la conexión serial con la interfaz desarrollada en este trabajo. Así, la interfaz desarrollada es capaz de comunicarse vía serial con cualquier microcontrolador y sensor, en este trabajo se caracterizaron sensores de gas respecto a diferentes concentraciones de un compuesto específico. Con esta interfaz, se ha logrado caracterizar tres sensores de gas con dos microcontroladores diferentes para la detección de alcohol. Las pruebas se realizaron por triplicado, resultando su repetibilidad y reproducibilidad. Estas mostraron un comportamiento exponencial para los tres sensores caracterizados a altas concentraciones. Se encontró que sus principales ventajas como herramienta de calibración son la versatilidad que permite en el manejo de cualquier sensor o microcontrolador a través de comunicación serial en estudios de campo, además del almacenamiento de datos para su posterior procesamiento y la selección de la velocidad en la comunicación serial.

INTRODUCCIÓN

Los sensores de gas son dispositivos que miden la reacción producida de un gas en una lámina de un óxido semiconductor, reacción química que permite la transferencia de electrones. Están compuestos principalmente por tres elementos, estos son: un calefactor, una lámina sensorial, y un circuito de acondicionamiento. [citar estas últimas palabras... libro de sensores y actuadores...]

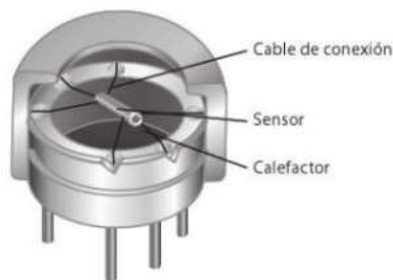


Fig. 1 Elementos básicos de un sensor de gas. ¹

Su principio de operación se argumenta cuando una determinada cantidad de gas roza la cara superior del calefactor caliente; se genera una reacción química en la lámina sensorial con el gas, la

cual se acelera debido a que la cara del calefactor funge como agente catalítico, con esto cambia la resistividad de la lámina de óxido semiconductor, registrando este cambio como una concentración del gas medido.

Los sensores de gas se emplean principalmente para impedir la exposición a gases tóxicos o inflamables. Las aplicaciones de estos sensores son diversas, pues existen varios tipos de sensores de gas, estos dependerán del tipo de muestra que se requiera analizar. La familia de sensores de gas MQ detectan la presencia de numerosos componentes químicos en el aire los cuales se presentan en la Tabla 1. Estos sensores se pueden acoplar a diversos procesadores o microprocesadores, los cuales son circuitos integrados a una placa base encargada de efectuar instrucciones establecidas por el usuario, por ejemplo: Arduino.

Tabla 23 Tipo de sensor MQ y el gas que puede detectar; con información de ...²

Tipo de sensor	Tipo de gas que detecta
MQ-2	Hidrógeno
	LPG y gas propano
	Metano
	Monóxido de carbono
	Alcohol
MQ-3	Benceno, Metano, Hexano, LPG y CO
	Alcohol
MQ-4	Metano
	Hidrógeno, Monóxido de carbono, Alcohol y Humo
MQ-5	LPG y Gas natural
	Hidrógeno, Monóxido de carbono y Alcohol
MQ-6	Monóxido de carbono
	Hidrógeno, LPG, Metano y Alcohol
MQ-7	Hidrógeno
	LPG, Metano, Monóxido de carbono y Alcohol
MQ-9	LPG
	Monóxido de carbono
	Metano
MQ-131	NO _x y Cl ₂
	O ₂
MQ-135	Amoniaco
	Alcohol
	Benceno
	NO _x , Humo y Dióxido de carbono
MQ-136	Monóxido de carbono y Amonio
	Sulfuro de hidrógeno
MQ-137	Monóxido de carbono
	Amoniaco
MQ-138	Benceno, Acetona y Alcohol
	Amoniaco
	Metano, Monóxido de carbono y propano

La aplicación más conocida de los sensores de gas, específicamente el MQ-3, es el alcoholímetro, el cual detecta la concentración de alcohol presente en el aliento de una persona o en el ambiente. La comunicación serial es un proceso de comunicación usado principalmente para la adquisición y envíos de datos, donde el puerto serial adquiere o envía datos de un bit a la vez, de manera síncrona a un receptor. Se caracteriza por la trasmisión de datos a distancias grandes, puede llegar a distancias de hasta 1,200 metros³. En los microcontroladores este tipo de comunicación se da desde el circuito integrado a una computadora.

OBJETIVOS

- Diseñar una interfaz gráfica para la caracterización de sensores de gas.
- Recolectar la respuesta del sensor en un archivo, para su procesamiento y análisis.
- Vincular mediante USB la interfaz con un microcontrolador por vía serial.
- Realizar mediciones con distintos microcontroladores y compuestos.



Fig. 2 Diagrama de la metodología

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología se muestra en la fig. 2:

Donde:

1. *Desarrollo de interfaz*: consistió en su construcción de este en Matlab específicamente en App Designer con el objetivo de comunicar al microcontrolador por Serial, adquirir datos del sensor, procesar la señal, caracterizar el sensor y guardar de los datos en una dirección determinada.

Configuración del microcontrolador: pre-programación del microcontrolador para adquirir la señal del sensor, procesarla y el envío de este por comunicación serial.

El procesamiento de la señal se refiere a la conversión de la señal a voltaje, la señal está en valor decimal de los bits. Se emplea la siguiente ecuación para la conversión.

$$V_{sensor} = DBits_{in} * \left(\frac{R_{micro}}{DBits_{res}} \right)$$

Donde:

- V_{sensor} Voltaje convertido
- $DBits_{in}$ Valor decimal de los Bits de entrada (señal adquirida del sensor)
- R_{micro} Rango de voltaje que soporta el microcontrolador
- $DBits_{res}$ Valor decimal máximo de bits de resolución del microcontrolador

En la Tabla 2 se muestra los microcontroladores a utilizar con sus características:

Tabla 24 Características de microcontroladores

Microcontrolador	Rango de voltaje	bits de resolución	Valor decimal máximo de bits
Arduino UNO	5 V	10	1024
Esp32	3.3 V	12	4095
Seeeduino Xiao	3.3 V	12	4095

2. *Armado del circuito con sensor*: el circuito empleado es sencillo, consiste dar la alimentación necesaria al sensor y conectar su salida analógica (donde generará la señal a analizar y procesar) a una entrada analógica del microcontrolador. La alimentación de los sensores de gas es de 5 V para su correcto funcionamiento, en consecuencia, la señal generada representará un voltaje entre 0 a 5 V.

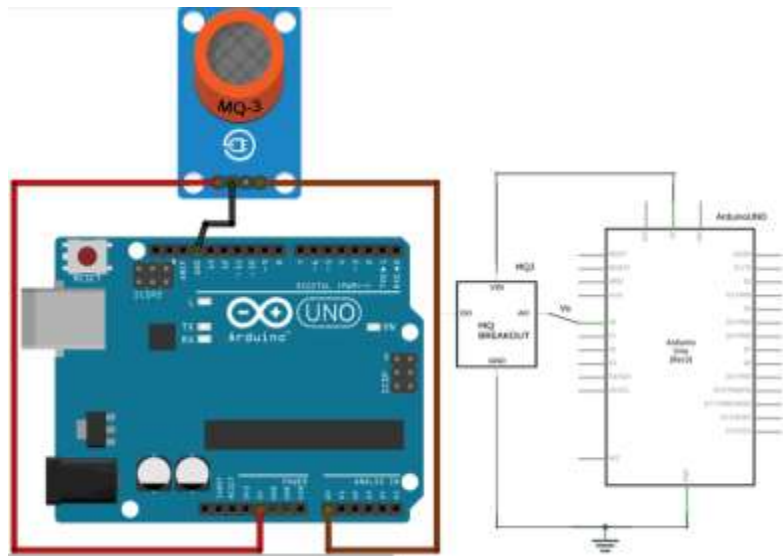


Fig. 2 Circuito esquemático y en físico con Arduino UNO.

La fig. 3 de muestra la conexión con entre microcontrolador y el sensor de forma directa. La mayoría de las tarjetas de Arduino pueden soportar el rango, mientras que los demás microcontroladores (Esp32, *Seeeduno Xiao*) se requiere un divisor de voltaje para reducir el rango entre 0 a 3.3 V, para ello se emplea el siguiente esquema (fig. 4).

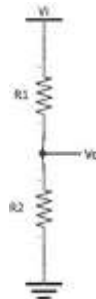


Fig. 3 Esquema del divisor de voltaje.

Su expresión matemática está dada por la siguiente ecuación.

$$V_o = \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} \right) V_i$$

Donde:

- V_o Voltaje de salida ya convertido
- R_1, R_2 Resistencias de valor específico, siempre y cuando el voltaje máximo de salida se obtenga el rango máximo deseado
- V_i Voltaje de entrada a convertir

Para el cálculo de las resistencias, se recomienda despejar R_1 de la ecuación y colocar valores fijos máximos en las variables de voltaje ($V_o = 3.3V$, $V_i = 5V$) y un valor fijo para la resistencia R_2 . La conexión completa del circuito se conecta V_i con la salida del sensor y V_o con la entrada del microcontrolador. Como se muestra en la fig. 5 y fig. 6.

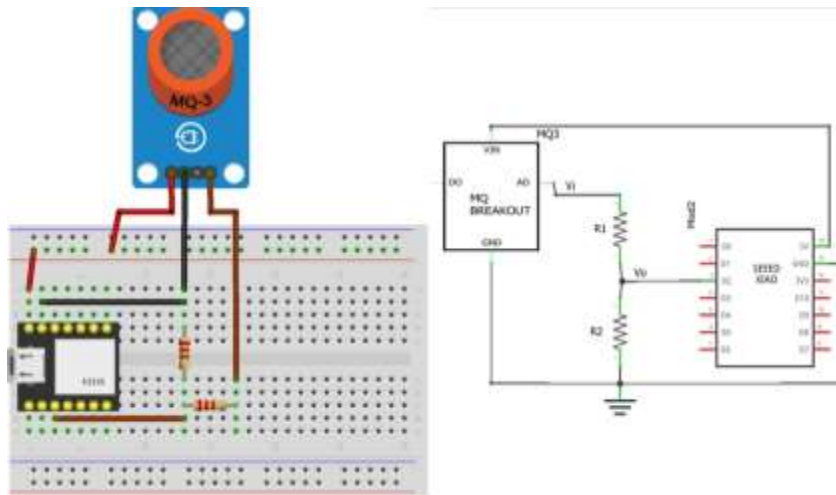


Fig. 4 Circuito esquemático y en físico con Seeduino Xiao.

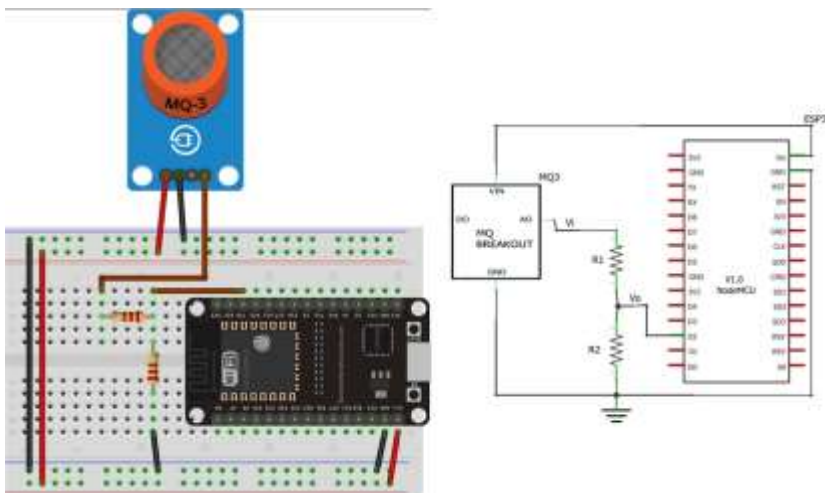


Fig. 5 Circuito esquemático y en físico con el Esp32.

3. *Conexión USB entre el microcontrolador e interfaz:* consiste en comprobar la sincronización entre la interfaz y el microcontrolador. Corrigiendo las posibles fallas de comunicación con la interfaz y la representación gráfica de la señal adquirida sea el adecuado.
4. *Pruebas con muestras:* se realizan diferentes muestras para un mismo sensor y compuesto, pero a diferentes concentraciones que van de 3% a 100%. La interfaz recopila las señales de cada uno para que obtener la curva característica promediando los valores para cada concentración y conocer el comportamiento del sensor.

Para obtener cada concentración, específicamente un compuesto en estado líquido consiste en conocer el volumen total de una muestra, se divide entre el compuesto y por agua destilada. Sus volúmenes varían dependiendo a la concentración que se desea obtener, para ello se sigue la siguiente ecuación.

$$V_{comp} = \frac{C_{\%} * V_{max}}{100\%}$$

Donde:

V_{comp} Volumen del compuesto

$C_{\%}$ Concentración

V_{max} Volumen máximo (volumen total de la muestra)

Recordemos que siempre debe que tener el mismo volumen para cada muestra, para ello cumple la siguiente expresión.

$$V_{max} = V_{comp} + V_{agua}$$

RESULTADOS

El diseño de la interfaz requerida cumple con la especificación de:

- Conexión USB con el microcontrolador.
- Introducción de información y valores específicos del microcontrolador, sensor y del compuesto.
- Recepción de datos por comunicación serial.
- Procesamiento de los datos adquiridos.
- Almacenamiento de los datos adquiridos y procesados para su futuro uso.

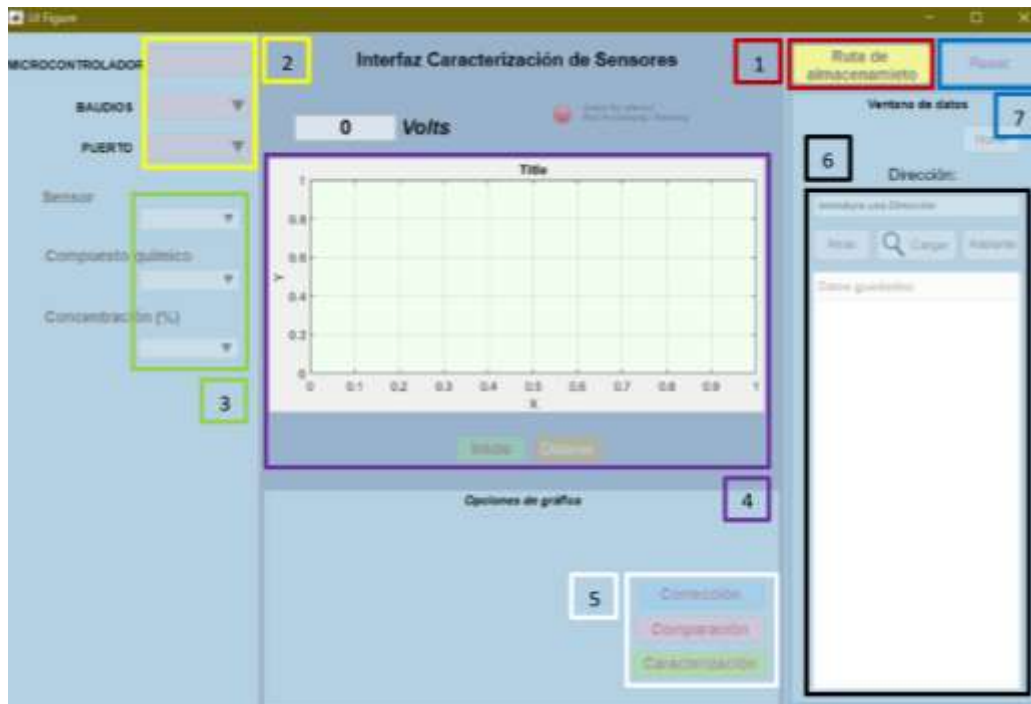


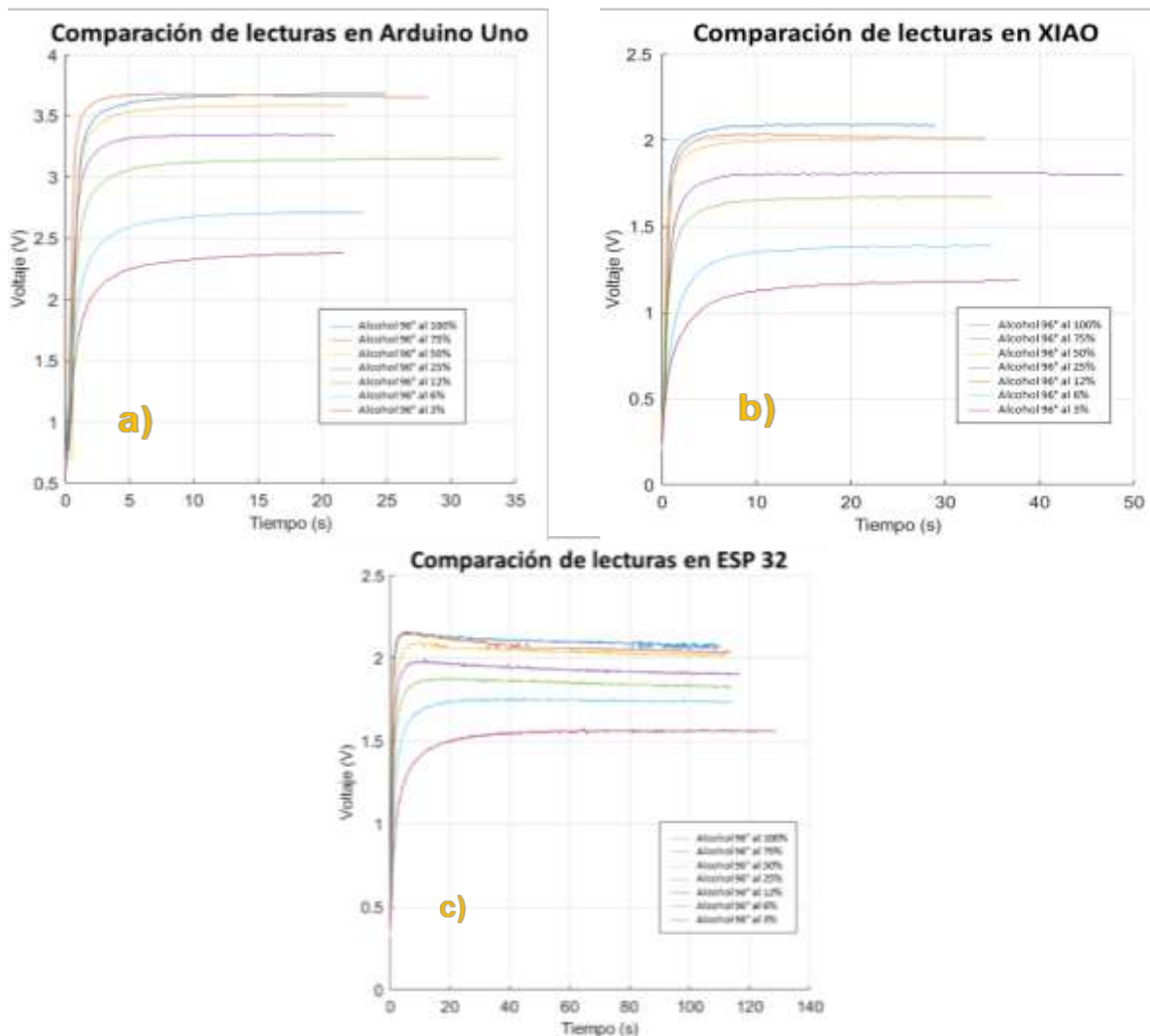
Fig. 6 Características de la interfaz.

La fig. 7 se muestra la interfaz del diseñada en Matlab, tiene como característica (siguiendo la numeración de la figura):

1. La interfaz le solicita al usuario que seleccione una carpeta donde se guardaran los datos de los sensores, linealización, corrección, comparación, cualquier ejecución que el usuario realice con esta interfaz.
2. Luego la interfaz requerirá al usuario que indique el nombre del microcontrolador con el que se registraran los datos, la velocidad en baudios y el puerto de conexión del microcontrolador.
3. Después se pedirá al usuario información sobre el tipo de sensor que se utiliza, el compuesto químico y la concentración de dicha sustancia.
4. Para posteriormente permitir que el usuario comience la medición con el botón "Inicio" esto hará que se guarden los valores que se reciben del microcontrolador y se guarden en la pantalla del centro hasta que se utilice el botón "Detener".
5. Los botones:
 - Corrección: permiten que se cambie una medición anterior por la que se acaba de realizar.

- Comparación: permite cotejar una medición anterior con la que se acaba de realizar.
 - Caracterización: se utiliza con los sensores cuando se quiere linealizar su medición.
6. El panel de la derecha sirve para que dentro de la carpeta previamente seleccionada se pueda utilizar la información de pruebas que se realizaron con anterioridad.
 7. Finalmente, el botón "Reset" regresa al usuario al comienzo eliminando las opciones seleccionadas, limpiando la pantalla principal y regresando a seleccionar la ruta de almacenamiento.

Se utilizó el alcohol 96° como compuesto por su fácil adquisición y manejo. Y el sensor MQ-3 para su detección. Se realizaron 7 muestras de concentraciones: 3%, 6%, 12%, 25%, 50%, 75% y 100%. Y por triplicado la lectura para cada una con diferentes microcontroladores previamente configurados para la adquisición, conversión y envío de la señal por comunicación serial. Obteniendo una comparativa entre cada concentración como se muestra en las siguientes gráficas:



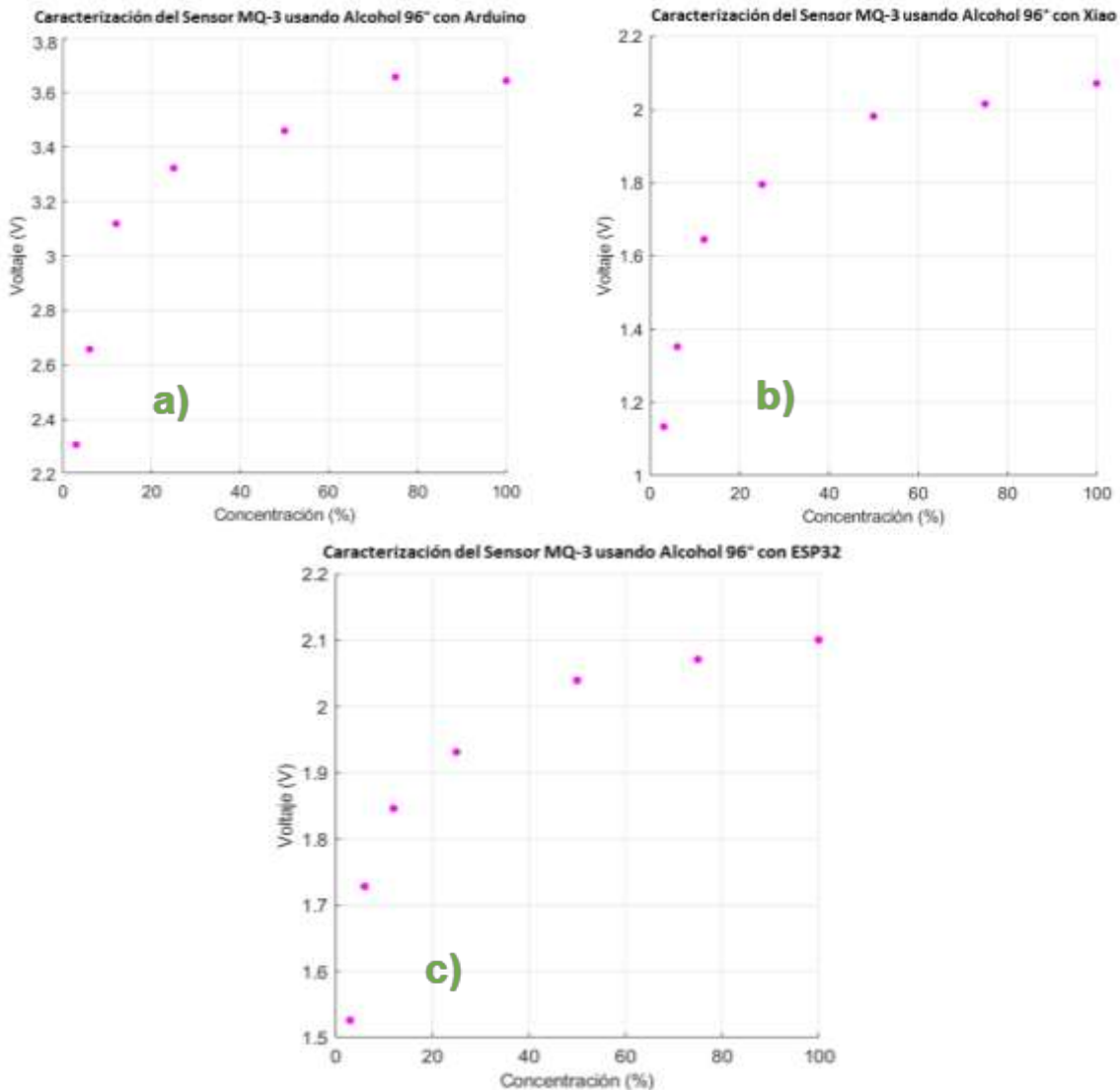
Gráfica 1 Comparaciones de las señales en diferentes microcontroladores.
a) Arduino UNO. b) Seeeduino Xiao. c) Esp32

Como observamos en las gráficas de grafica 1 se identifican bien las señales para concentraciones inferiores al 50% (señal amarilla), mientras que mayores a esta tienden a superponerse y obtener valores similares en la parte estable. La respuesta del sensor al detectar el compuesto es inmediata,

en menos de 5 segundos aproximadamente ya se tiene una respuesta estable, donde se asociará el voltaje a la concentración que lo representa.

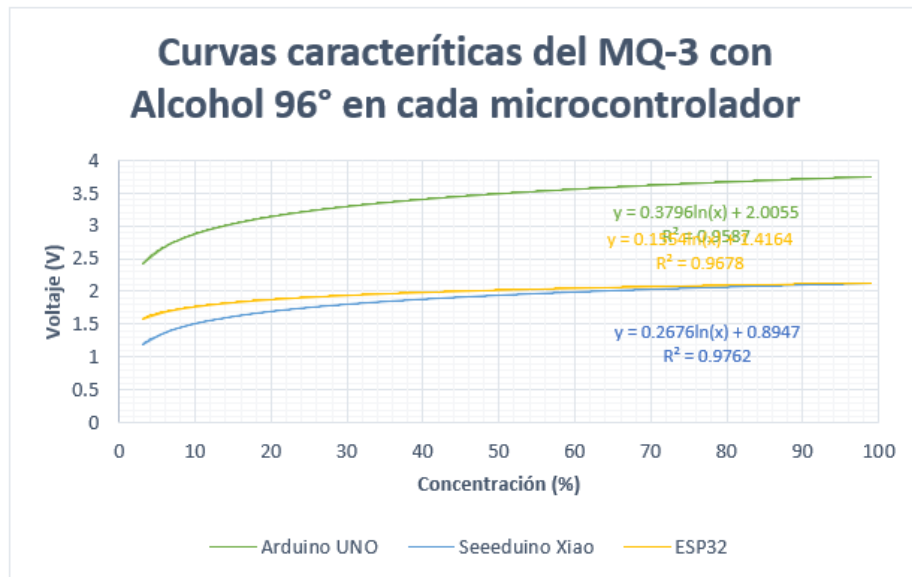
Cada microcontrolador tiene diferentes características de rangos y resoluciones de bits que puede definir la visualización de la señal; lo observamos entre las gráficas *Arduino UNO* (gráfica 1 a.) con los demás microcontroladores el valor máximo de sus señales es mayor, por su rango de 5V y para *Seeeduno Xiao* (gráfica 1 b.) y *Esp32* (gráfica 1 c.) es de 3.3V, apenas alcanza los 2 V en sus gráficas. En cuanto a bits de resolución no hay ningunas diferencias significativas.

Después de realizar el muestreo de todas las concentraciones para cada microcontrolador se procede a la caracterización del sensor, consiste en seleccionar el botón del mismo nombre para realizar un promedio de cada concentración y de esta manera obtener la gráfica de “caracterización” del sensor, son las siguientes gráficas para cada microcontrolador.



Gráfica 2 Caracterización del sensor MQ-3 con diferentes microcontroladores.
 a) Arduino UNO. b) Seeeduno Xiao. c)Esp32

Analizando los datos almacenados previamente de la gráfica de caracterización, no se aprecia un comportamiento lineal, se asocia a un comportamiento logaritmo como se muestra en la siguiente gráfica.



Gráfica 3 Curvas características del MQ-3

Ambos microcontroladores concuerdan que el sensor tiene un comportamiento del tipo logarítmico. Los microcontroladores *Xiao* y *Esp32* tienden ser similares por sus características, mientras que el *Arduino Uno* no está tratado con el mismo rango. Dado el modelo de ajuste para cada microcontrolador como se observa en la gráfica, el *Xiao* tiene mayor coeficiente de correlación en comparación con los demás y el *Arduino* es el que tiene menor regresión. Es decir, al usar la ecuación del *Xiao* es más preciso para determinar la concentración que lo representa.

CONCLUSIONES

La interfaz desarrollada funciona para la adquisición de la señal, almacenamiento, procesamiento, análisis de datos y la caracterización del sensor. Es apta para cualquier microcontrolador. Se logra una comunicación serial sin pérdida de información que consiste en el envío sincronizado de datos entre el microcontrolador a la interfaz sin errores de comunicación para los microcontroladores y los sensores propuestos. Los datos obtenidos para cada concentración de Alcohol 96° permitieron la caracterización del sensor MQ-3 y su ajuste en un comportamiento logarítmico, con mayor precisión para el microcontrolador *Seeduino Xiao*.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ramírez, L. G. C., Jiménez, G. S. A., & Carreño, J. M. (2014). *Sensores y Actuadores*. Ciudad de México, México: Grupo Editorial Patria.
2. Es Félix, A., Millán, M., & Delgado, J. (2016). Trabajo Fin de Grado Diseño e implementación de un sistema de medida de gases con Arduino. <https://zaguan.unizar.es/record/59102/files/TAZ-TFG-2016-2689.pdf>
3. Capítulo 4 INTERFAZ RS-232. (n.d.). Retrieved July 29, 2021, from <http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/19390/Capitulo4.pdf>

ESTUDIO ÓPTICO DE MATERIALES ORGÁNICOS E HÍBRIDOS PARA SU USO COMO RECUBRIMIENTOS EN DISPOSITIVOS DE FIBRA ÓPTICA

Luis Mario Maldonado Sosa¹, Carlos Adrián Calles Arriaga¹ y René Fernando Domínguez Cruz².

Universidad Politécnica de Victoria¹, Universidad Autónoma de Tamaulipas².
1530136@upv.edu.mx

RESUMEN

Los dispositivos de fibra óptica tales como amplificadores, láseres o sensores, entre otros, se caracterizan por ser compactos, versátiles y eficientes. El uso de materiales como recubrimientos en dispositivos de fibra óptica ha ampliado su área de aplicación. Por tal motivo, el estudio de las propiedades ópticas de materiales es actualmente un tema de relevancia. En este trabajo se presenta un estudio de absorbanza y transmitancia de pigmentos naturales de forma individual basados en clorofila, antocianina y betacaroteno y de la combinación de éstos, *i.e.* materiales híbridos. Además, se analizó la aplicación de los materiales estudiados como recubrimiento en fibra óptica. Los resultados obtenidos mediante espectroscopia UV-Vis de los pigmentos estudiados muestran picos de absorción en distintas regiones del visible, lo cual podría favorecer su utilización en el área de sensores. Además, se encontró que el material orgánico basado en clorofila presenta una alta adherencia en la fibra óptica SMF-28, por lo que los resultados del presente estudio sugieren que su implementación en dispositivos de fibra óptica es factible.

INTRODUCCIÓN

Los dispositivos de fibra óptica tales como amplificadores, láseres o sensores, entre otros, se caracterizan por ser compactos, versátiles y eficientes. El uso de materiales como recubrimientos en dispositivos de fibra óptica ha ampliado su área de aplicación. Por tal motivo, el estudio de las propiedades ópticas de materiales es actualmente un tema de relevancia. En este trabajo se presenta un estudio de absorbanza y transmitancia de pigmentos naturales de forma individual basados en clorofila, antocianina y betacaroteno y de la combinación de éstos, *i.e.* materiales híbridos. Además, se analizó la aplicación de los materiales estudiados como recubrimiento en fibra óptica. Los interferómetros de fibra óptica son utilizados comúnmente como sensores de fibra en aplicaciones donde la tecnología tradicional no es adecuada, por ejemplo, en ambientes hostiles, como sensor de parámetros múltiples y para sensores remotos [1]. Los principales interferómetros de fibra óptica son de tipo Fabry-Perot, Mach-Zehnder, Michelson y Sagnac [2]. Además de esquemas ópticos, la adición de materiales amplía el potencial de aplicaciones de dispositivos de fibra. Por ejemplo, el óxido de zinc (ZnO) ha sido utilizado para la detección de gases como etanol y monóxido de carbono [3]. El dióxido de titanio (TiO₂), el cual presenta una alta absorción óptica en la región ultravioleta (UV), también se ha estudiado para aplicaciones en sensores [4] y en celdas solares [5]. Por otra parte, los materiales orgánicos también representan un área de interés dado que son amigables con el medio ambiente y pueden mejorar el desempeño de algunos dispositivos, por ejemplo, las celdas solares sensibilizadas con tintes orgánicos. El alga espirulina es un ejemplo de material orgánico con propiedades interesantes, como picos de absorción en la región visible lo cual se puede usar en combinación con otros materiales que absorban en las regiones UV e IR para ampliar sus aplicaciones. En este proyecto se propone la caracterización de materiales funcionales híbridos para su estudio en interferómetros de fibra óptica.

TEORÍA

Fibra Óptica

La fibra óptica es una herramienta tecnológica que permite la transmisión de información en forma de pulsos de luz con bajas pérdidas mediante el uso de fibras delgadas de plástico o vidrio. Estas fibras suelen ser menos al diámetro de un cabello humano (70 micras). Sus cualidades generan nuevas oportunidades de crecimiento en diversos ámbitos como lo son telecomunicaciones, medicina, ingeniería, entre un sinnúmero de aplicaciones más.

Estructura de la fibra óptica

La fibra óptica consiste en un núcleo y un revestimiento, que presentan diferentes índices de refracción. El haz de luz viaja a través del núcleo rebotando repetidamente en la pared del revestimiento. La estructura general de la fibra óptica incluye un recubrimiento, un revestimiento y núcleo el cual debe de tener un índice de refracción mayor que el revestimiento. En la figura 1 se representa la estructura interna de la fibra óptica.



Figura 80 Esquema de la estructura de la fibra óptica.

Materiales Orgánicos

Dentro de los pigmentos naturales existen diversas clases como los son las antocianinas, betalainas, carotenoides y clorofilas [6]. Estos pigmentos son importantes tanto en plantas como en otras aplicaciones debido a variadas propiedades y funciones, como por ejemplo se usan los pigmentos orgánicos como sensibilizadores en sensores o en celdas solares [7]. Ambas aplicaciones son caracterizadas por trabajar con temperaturas considerable donde los pigmentos comienzan a sufrir cambios al momento de captar energía o censar, es decir comienzan a sufrir deficiencias [8]. Los grupos de pigmentos suelen tener uno o más colores característicos, pero en algunos puede predominar uno en particular, el cual definirá el color de dicho pigmento. Para las clorofilas el color característico es el verde; mientras que para los carotenoides pueden variar entre amarillo, naranja o rojo y en el caso de las betalainas suele predominar el rojo [9]. Cada uno de estos pigmentos suele tener cierto rango en el cual absorbe mayor cantidad de luz, punto en el cual puede mejorar la eficiencia de ciertas aplicaciones como lo es el caso de sensores y celdas solares.

PARTE EXPERIMENTAL

El estudio de los pigmentos se realizó por etapas como se muestra en la Figura 2.

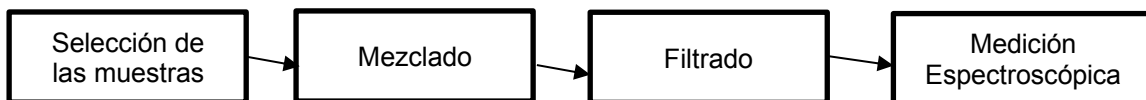


Figura 2 Esquema del proceso de elaboración del proceso experimental.

Selección de las muestras

Se trabajó cada una de las muestras a temperatura ambiente, para pesar las muestras se utilizó una balanza analítica (Marca A&D, serie Orion, modelo HR 120, fabricada en Estados Unidos). Las concentraciones de las muestras individuales son zanahoria, betabel, espirulina y se representan en la tabla 1.

Tabla 25 Concentraciones utilizadas en las muestras individuales de cada pigmento.

Pigmento	Muestra 1	Muestra 2	Solvente	Muestra 3	Muestra 4	Solvente
Betabel (antocianina)	20mg / 30ml	40mg / 30ml	Agua destilada	20mg / 30ml	40mg / 30ml	Etanol
Zanahoria (betacaroteno)						
Espirulina (clorofila)						

De igual forma se realizaron las pruebas con los pigmentos combinados y sus concentraciones se muestran en la tabla 2.

Tabla 26 Concentraciones utilizadas en las muestras híbridas de los pigmentos.

Pigmento	Muestra 1	Muestra 2	Solvente	Muestra 3	Muestra 4	Solvente
50% Betabel + 50% Espirulina	20mg / 30ml	40mg / 30ml	Agua destilada	20mg / 30ml	40mg / 30ml	Etanol
50% Zanahoria + 50% Espirulina						

Mezclado Manual (Agitación)

Cada una de las muestras se mezcló de manera manual agitándose por unos minutos. Con el principal objetivo de disolver la mayor cantidad del pigmento, debido a que en el caso de no ser realizado la pigmentación no es uniforme sobre todo el líquido.

Filtrado

Se colocó un filtro para depurar los residuos restantes de pigmento que no hayan sido totalmente disueltos y se procedió a pasar a un nuevo recipiente como se muestra en la figura 3.

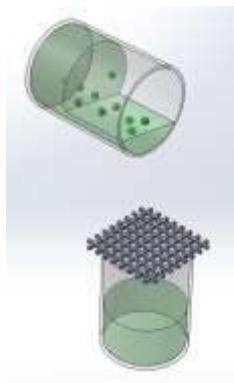


Figura 3 Esquema del proceso de filtrado de pigmento residual de un recipiente a otro mediante el uso de una malla.

Medición espectroscópica

A continuación, se muestra el arreglo que se realizó para la medición espectroscópica.



Figura 4 Arreglo experimental para la medición espectroscópica de los pigmentos mediante el uso de un espectrómetro, cubo rectangular de cuarzo y lámpara de tungsteno halógeno.

Los materiales utilizados fueron los siguientes:

Un espectrómetro compacto con un tamaño de 122 mm x 79 mm x 29.5 mm modelo CCS200 fabricado por la empresa Thorlabs con un rango de trabajo de 200 – 1000 nm.

Una lámpara de tungsteno halógeno que cuenta con características como lo son:

- Emisión de banda ancha de visible a NIR
- Carcasa roscada SM2 para compatibilidad con tubos de lentes de Ø2 “
- Poste de montaje para una integración rápida y sencilla
- Fabricado por la empresa Thorlabs

Un cubo rectangular de cuarzo para muestras óptica

Posteriormente se analizó con ayuda del espectrómetro compacto y se realizó la medición de la intensidad de la luz en la mezcla mediante el software de ThorLab, además se obtuvieron los datos característicos para aplicar la ecuación de absorbancia y transmitancia y determinando a qué longitudes de onda presenta una mayor absorción, y transmisión.

RESULTADOS

Absorbancia

La absorbancia se define como la relación entre la luz incidente que se absorbe por una sustancia y en la siguiente figura 5 podemos ver el comportamiento del pigmento zanahoria.

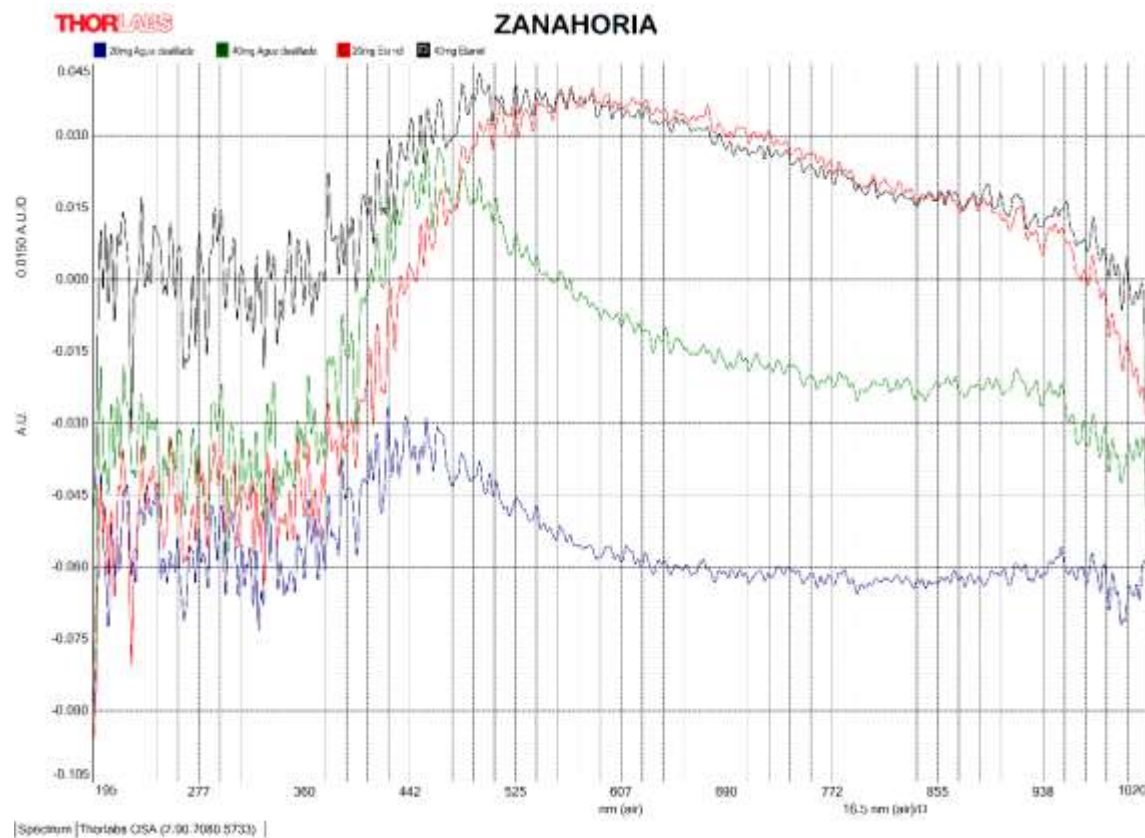


Figura 5 Grafica de absorción del pigmento de zanahoria donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

La gráfica que se muestra cuenta con picos entre el rango de 440-525nm del rango visible el cual se encuentra entre el color azul y verde, de igual forma se puede ver una tendencia a moverse a la derecha es decir hacia el rango del infrarrojo conforme la concentración de pigmento aumenta. Los resultados obtenidos de absorción fueron calculados con el uso del software de Thorlabs a continuación se muestra en la figura 6 el comportamiento de la absorción de la espirulina.

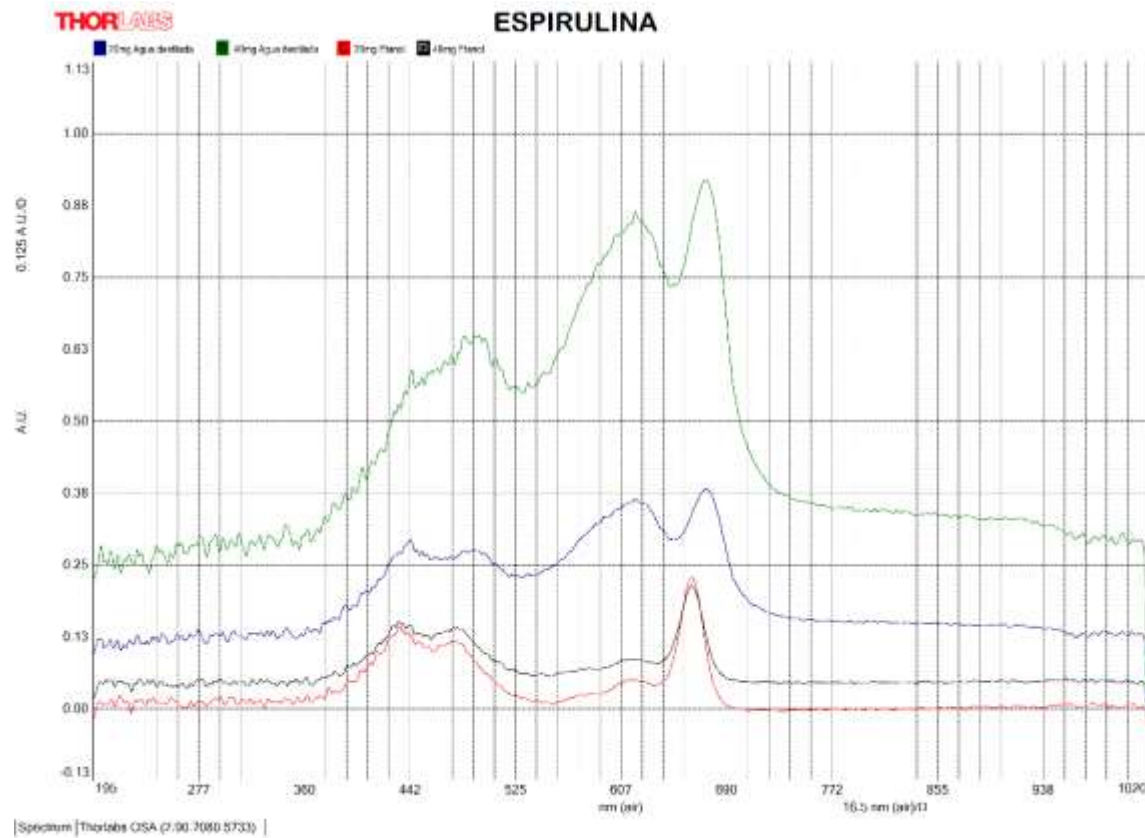


Figura 6 Grafica de absorción del pigmento de espirulina donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente (ver tabla 1).

En esta gráfica los picos característicos se encuentran en varios puntos el primero se encuentra de 440-500nm el segundo se encuentra entre 670-690nm que se encuentra entre los colores visibles azul y verde, mientras que el segundo pico del rojo, a diferencia de este el desplazamiento hacia el lado derecho es decir del infrarrojo no se ve tan afectado por la concentración del pigmento. A continuación, se muestra en la figura 7 el comportamiento del pigmento betabel.

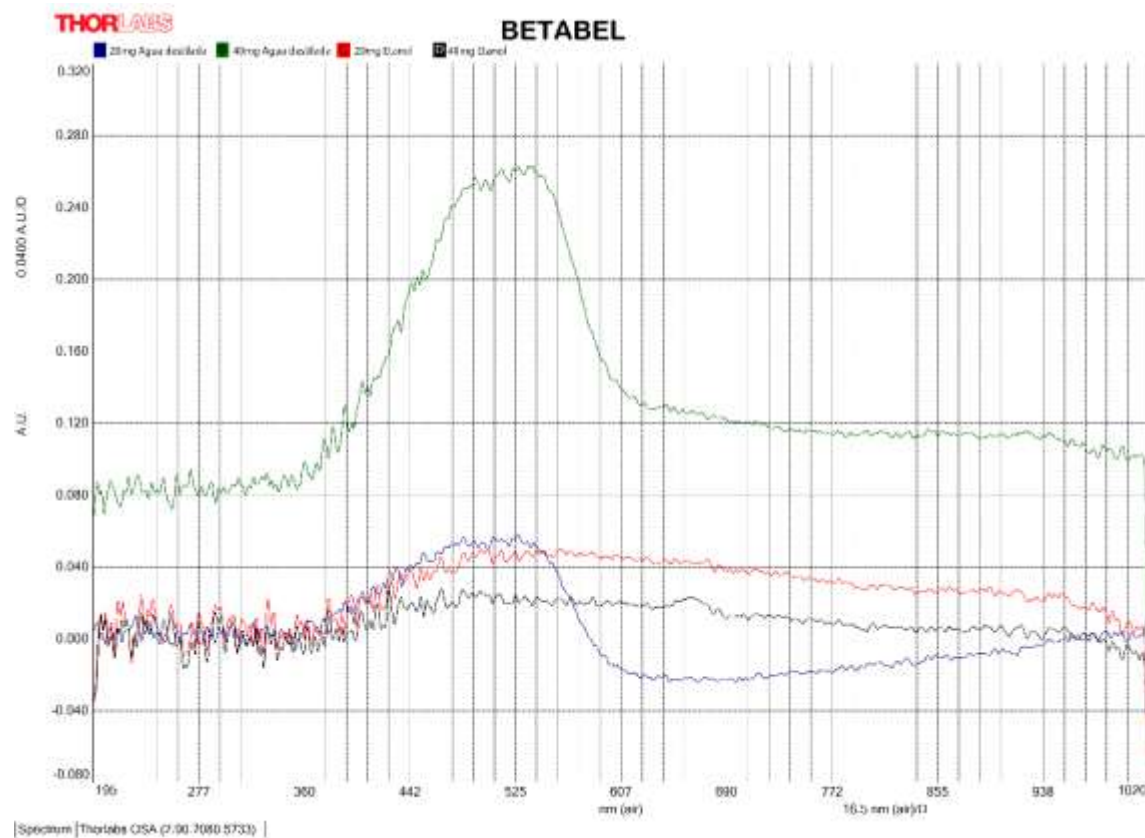


Figura 7 Gráfica de absorción del pigmento de betabel donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

La figura 7 tiene picos en común con todas las concentraciones el cual se ubica en el rango de 515-535nm que se visualiza como un color verde dentro del rango visible, pero se destaca que son más pronunciados en las muestras donde se utilizó como solvente el agua destilada. A continuación, se muestra en la figura 8 el comportamiento para las muestras híbridas o mixtas, empezando con la espirulina + betabel.

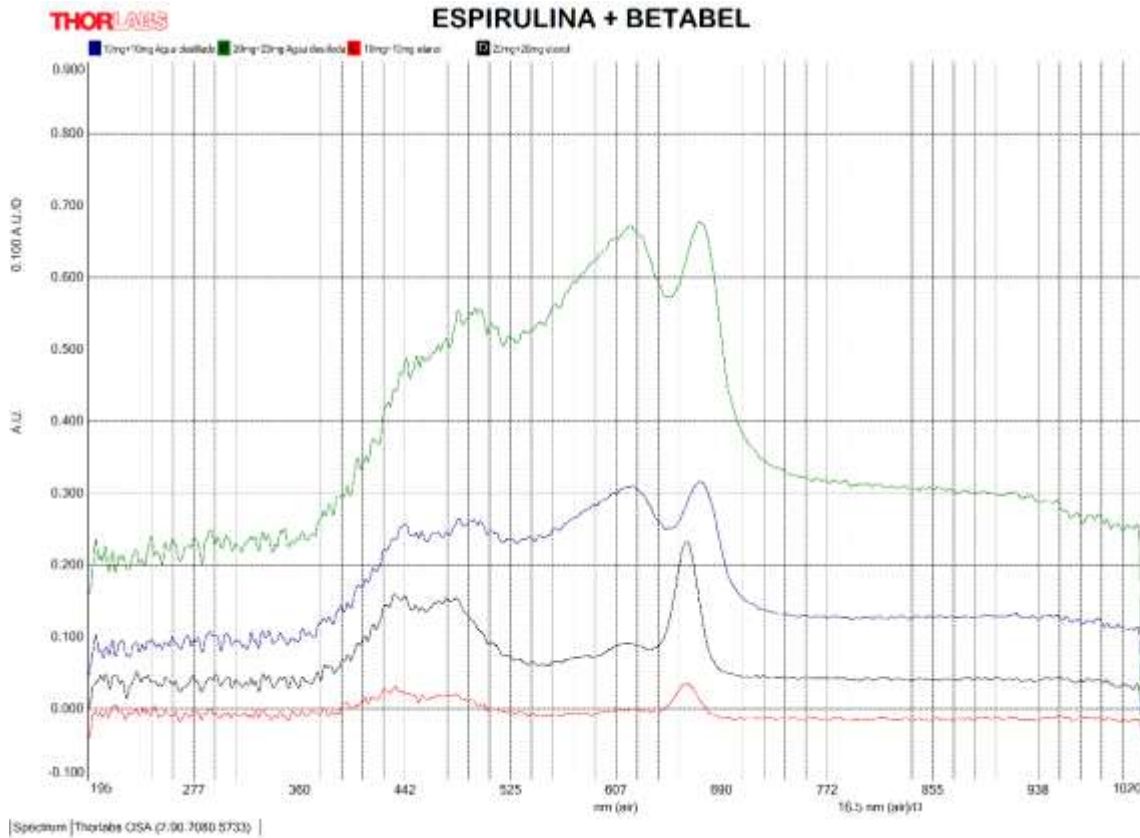


Figura 8 Gráfica de absorción del pigmento de espirulina + betabel donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

La figura 8 tiene los picos característicos entre varios puntos el primero se encuentra de 440-500nm el segundo se encuentra entre 670-690nm que se encuentra entre los colores visibles azul y verde, mientras que el segundo pico del rojo, a diferencia de este el desplazamiento hacia el lado derecho es decir del infrarrojo no se ve tan afectado por el solvente con agua destilada, dado que las líneas que muestran el comportamiento con etanol no sufren de este desplazamiento tan notorio. A pesar de que combinamos la espirulina con betabel, el pigmento de espirulina demuestra ser muy predominante tomando una gráfica muy parecida a su comportamiento individual con pequeños cambios. Ahora se muestra en la figura 9 el comportamiento para las muestras híbridas o mixtas, del pigmento espirulina + zanahoria.

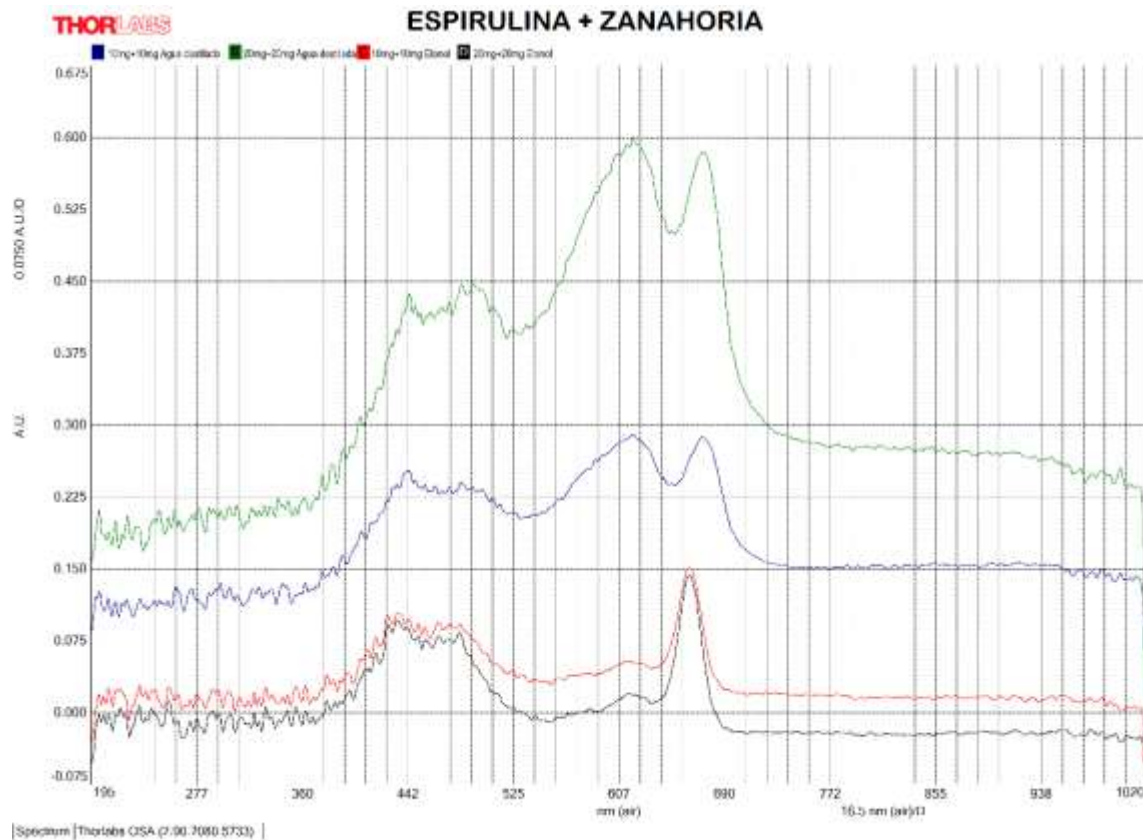


Figura 9 Gráfica de absorción del pigmento de espirulina + zanahoria donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

La figura 9 los picos característicos se encuentran en varios puntos el primero se encuentra de 440-500nm el segundo se encuentra entre 670-690nm que se encuentra entre los colores visibles azul y verde, mientras que el segundo pico del rojo, a diferencia de este el desplazamiento hacia el lado derecho es decir del infrarrojo no se ve tan afectado por el solvente con agua destilada, dado que las líneas que muestran el comportamiento con etanol no sufren de este desplazamiento tan notorio. A pesar de que combinamos la espirulina con zanahoria, el pigmento de espirulina demuestra ser muy predominante tomando una gráfica muy parecida a su comportamiento individual con pequeños cambios.

El etanol en todas las gráficas demuestra tener un menor rango de absorción comparado con el agua destilada para diluir adecuadamente las muestras que contenían los pigmentos, y la espirulina siempre mostró una mayor adherencia a cualquier superficie con la que tenía contacto.

Transmitancia

La transmitancia es el porcentaje de luz que atraviesa una sustancia, en la figura 10-14 se muestra la transmitancia de todos los pigmentos.

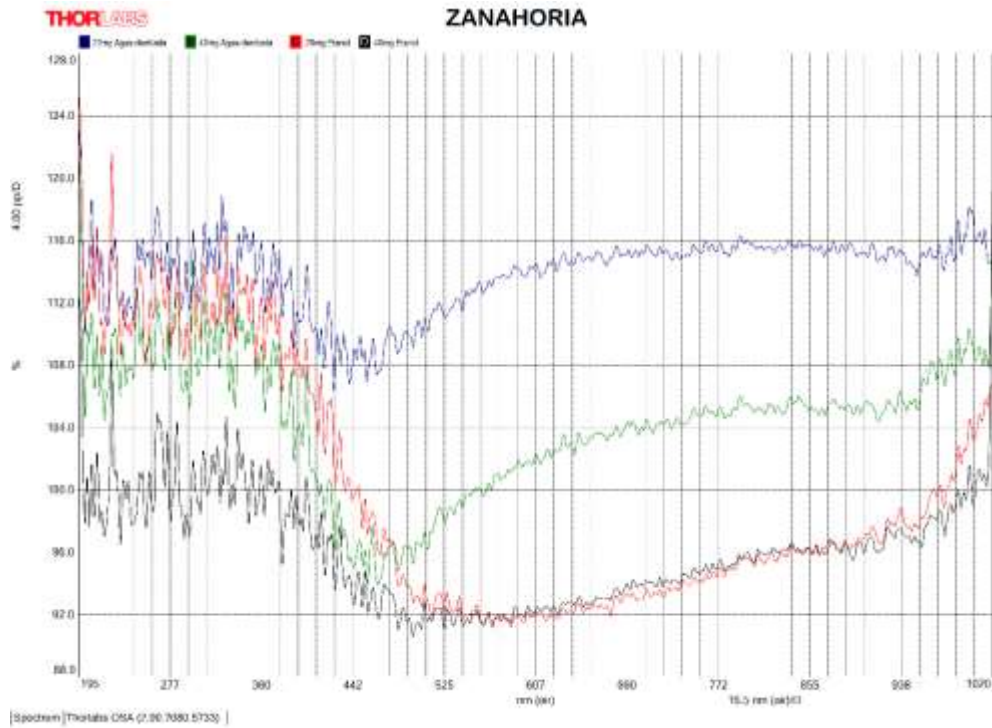


Figura 10 Grafica de transmitancia del pigmento de zanahoria donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

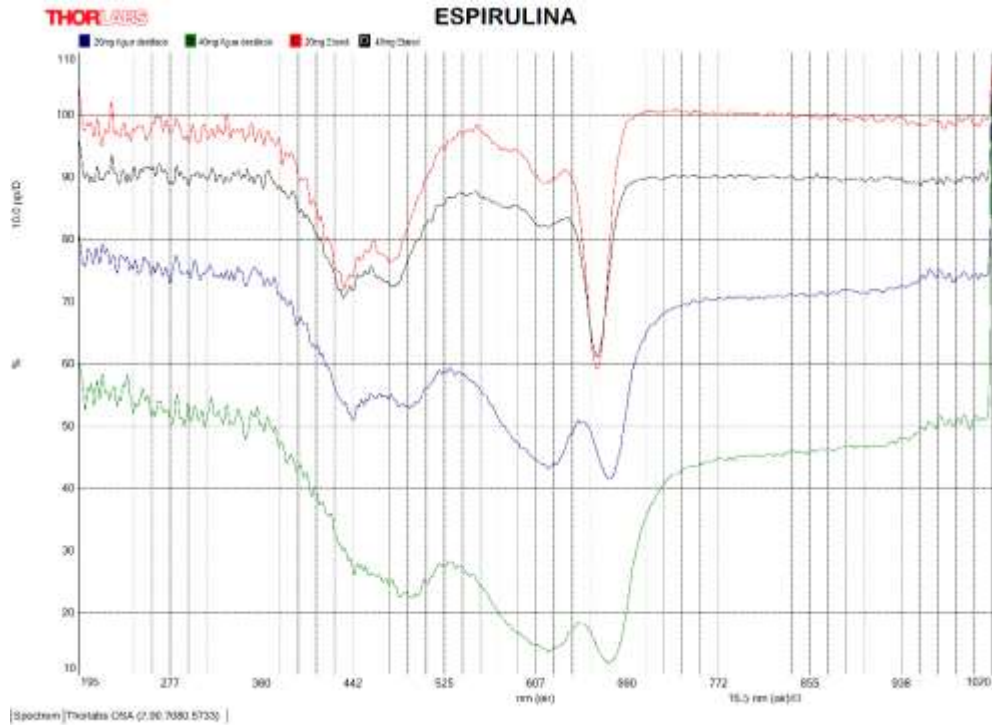


Figura 11 Grafica de transmitancia del pigmento de espirulina donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

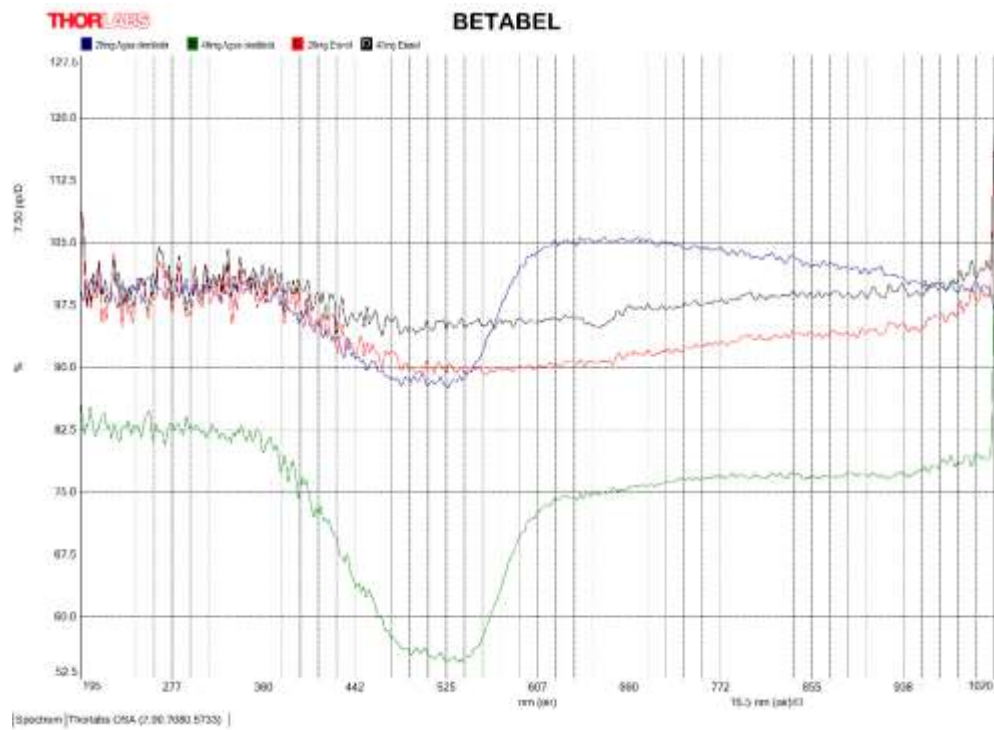


Figura 12 Grafica de transmitancia del pigmento de betabel donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

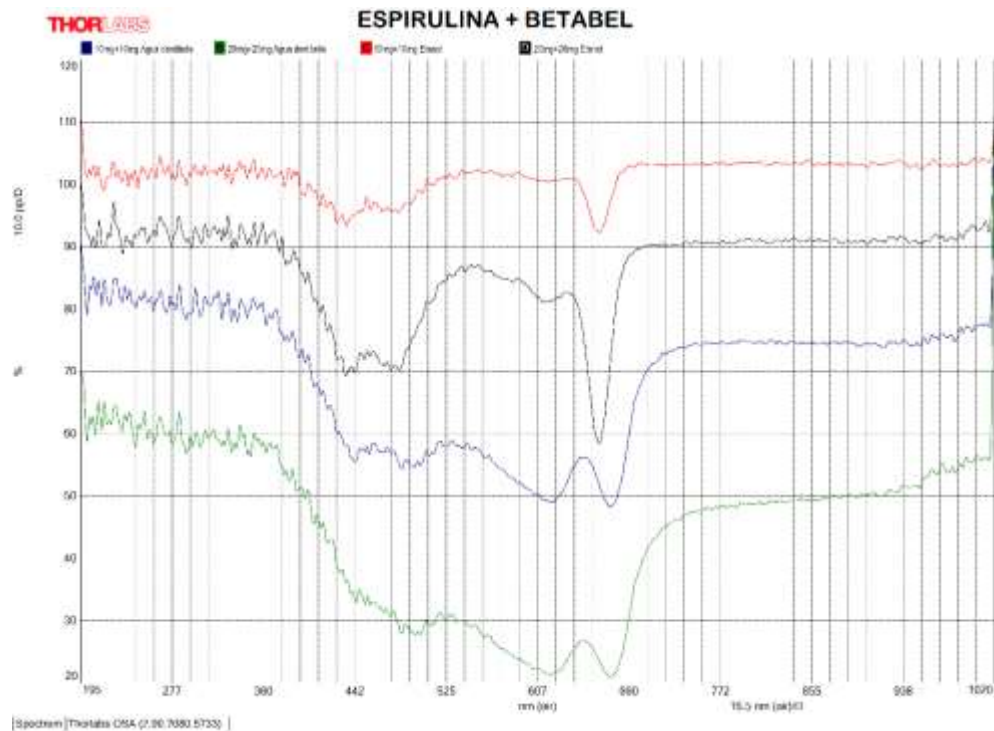


Figura 13 Grafica de transmitancia del pigmento de espirulina + betabel donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

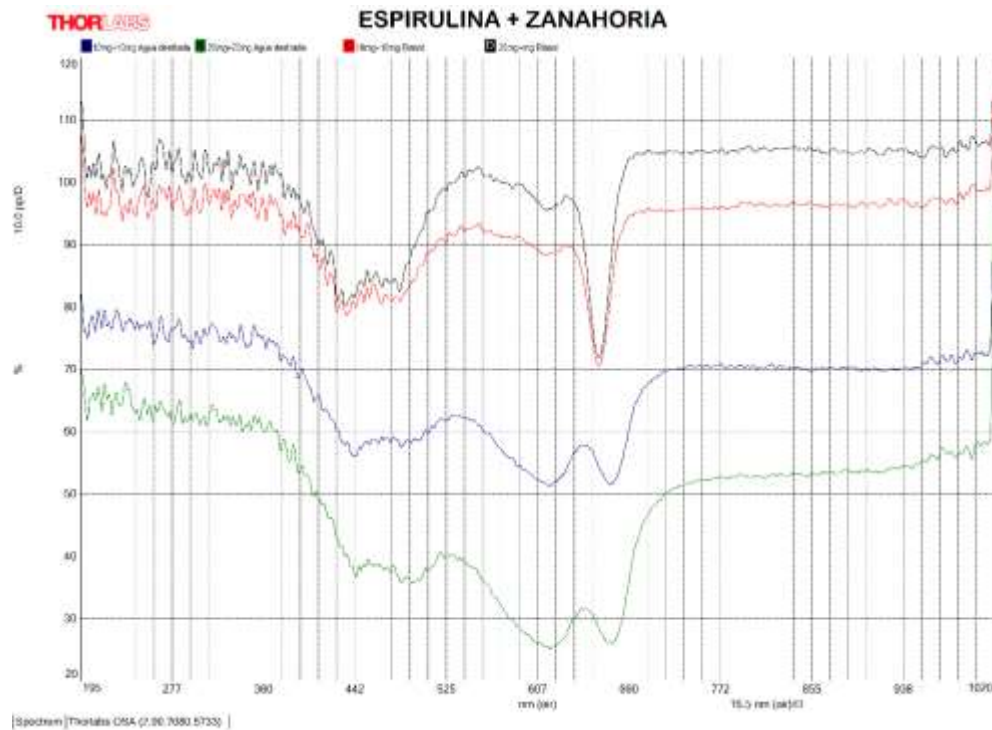


Figura 14 Gráfica de transmitancia del pigmento de espirulina + zanahoria donde la línea azul y verde representan la muestra 1 y 2, mientras que la línea roja y negra representan la muestra 3 y 4 respectivamente. (ver tabla 1).

Se puede ver como las gráficas de transmitancia son una representación que es prácticamente inversa a las gráficas de absorbancia dado que los picos se encuentran alrededor de los mismos rangos, pero en la dirección contraria.

Adherencia

En la siguiente figura 15 se muestra una rejilla de periodo largo basada en SMF-28 (LPG) fabricada con láser de CO₂, donde una se encuentra sola y otra con incrustaciones del pigmento espirulina. Se utilizó el método de inmersión de la rejilla de periodo largo basada en espirulina por 3 horas.

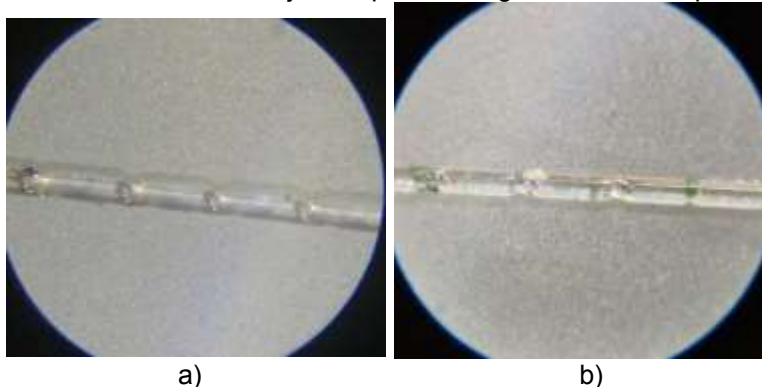


Figura 15 a) Fibra donde se aplicó LPG sin incrustaciones b) Fibra donde se aplicó LPG y se adherió el pigmento espirulina.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos mediante espectroscopia UV-Vis de los pigmentos estudiados muestran picos de absorción en distintas regiones del visible, lo cual podría favorecer su utilización en el área de sensores. Se observó que el espectro de absorbancia y transmitancia de los materiales híbridos investigados muestran predominancia de la espirulina cuando se combina con otros materiales. Además, se encontró que el material orgánico basado en clorofila presenta una alta adherencia en la fibra óptica SMF-28, a la igual forma se logró visualizar mediante las gráficas que el solvente que tiene una mayor absorción es el agua destilada comparándola con el solvente etanol, por lo que los resultados del presente estudio sugieren que su implementación en dispositivos de fibra óptica es factible.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. H. Linfoot, "Principles of Optics," *Opt. Acta Int. J. Opt.*, vol. 8, no. 2, pp. 181–182, 1961, doi: 10.1080/713826373.
2. J. H. Springer, "Sensores de superficie basados en resonancia de plasma," *J. Chem. Inf. Model.*, 2006.
3. M. G. Kuzyk, "Polymer fiber optics: Materials, physics, and applications," *Polymer Fiber Optics: Materials, Physics, and Applications*, 2006.
4. M. Born y E. Wolf, *Principios de Óptica*, 7a ed. Cambridge University Press, Cambridge, 2005.:
5. *Sensores de superficie basados en resonancia de plasma*, editado por J. Homola Springer, Berlín, Heidelberg, 2006.
6. M. Kaimainen, "Stability of Natural Colorants of Plant Origin," *Doctoral Thesis. University of Turku, Finland*, 2014.
7. G. Beltrán-Pérez et al., "Fabrication and characterization of an optical fiber pH sensor using sol-gel deposited TiO₂ film doped with organic dyes," *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 120, no. 1, pp. 74–78, 2006, doi: 10.1016/j.snb.2006.01.048.
8. Y. Zhu, H. Fu, J. Ding, H. Li, and M. Zhang, "Fabrication of three-dimensional zinc oxide nanoflowers for high-sensitivity fiber-optic ammonia gas sensors," *Appl. Opt.*, vol. 57, no. 27, p. 7924, 2018, doi: 10.1364/ao.57.007924.
9. K. Solymosi, N. Latruffe, A. Morant-Manceau, and B. Schoefs, *Food colour additives of natural origin*. Elsevier Ltd., 2015.

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DEL ACIDO POLILACTICO SOBRE LAS PROPIEDADES MECANICAS DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD RECICLADO

Miroslava Alejandra Silva Goujon¹, Anayansi Estrada Monje¹ y Armando Mares Castro²

¹Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas, ²Instituto Superior de Purísima del Rincón
msilva@ciatec.mx

RESUMEN

En la era del plástico, la vida sin polímeros es impensable, por consecuencia, su uso desmedido, los problemas relacionados con su persistencia en el medio ambiente y el ineficiente manejo postconsumo, los ha convertido en un verdadero problema ambiental tanto para ecosistemas terrestres como marinos. Uno de los plásticos que más se reciclan es el polietileno de alta densidad (PEAD) que representa un 26%. Una forma de disminuir el impacto de los plásticos que pueden durar cientos de años en la naturaleza es reemplazarlos con polímeros biodegradables como, por ejemplo, el ácido poliláctico (PLA). Por lo anterior, es necesario estudiar el comportamiento del reciclaje y el cambio en las propiedades mecánicas de los plásticos convencionales reciclados a medida que avance el proceso de transición hacia materiales biodegradables. Así, en el presente trabajo se realizó una comparación de las propiedades mecánicas de las mezclas de PEAD con el PLA en concentraciones de 50, 30, 10 y 0%, después de dos ciclos de reciclado. Los resultados que se obtuvieron en términos de elongación mostraron que el PEAD reciclado presentó mejores características que cualquier mezcla de PEAD/PLA con valores de 217.09% para el PEAD, 293.96% para la mezcla de PEAD/PLA 90/10, 5.27% para la mezcla de PEAD/PLA 70/30 y 3.60% para la mezcla de PEAD/PLA 50/50 en el primer ciclo de procesamiento, para el segundo ciclo estos valores disminuyeron a 123.09%, 258.58%, 1.99% y 1.37% lo que indica que la elongación es fuertemente afectada por la presencia de PLA y la cantidad de ciclos de reciclaje, debido a los procesos de escisión de cadena que afectan su desempeño. Dados los resultados concluimos que no deben mezclarse los plásticos convencionales y los plásticos degradables, para evitar afectaciones en los ciclos de reprocesamiento del PEAD.

INTRODUCCIÓN

El estilo de vida actual se ha caracterizado por un alto consumo de productos plásticos, se estima que la producción mundial es de 300 millones de toneladas al año [1]. Los polietilenos son los materiales más utilizados y producidos de todos los polímeros, abarcando un 70% de la producción mundial [2]. El polietileno de alta densidad (PEAD) es un termoplástico semicristalino cuyo uso se extiende hasta envases y tuberías de drenaje debido a sus propiedades como resistencia a bajas temperaturas, inerte, fácil procesamiento, resistencia al impacto y resistencia química [1, 3]. Según lo reportado por Gere y colaboradores es el material que más se recicla por debajo del PET [4].

Este alto consumo de productos plásticos genera a su vez una gran cantidad de residuos plásticos, que por un mal manejo ocasiona que estos materiales terminen en cuerpos marinos generando un problema de contaminación ambiental [5-7]. Por lo anterior, comenzaron a buscarse alternativas de sustitución de los polímeros convencionales que tienen una permanencia elevada en la naturaleza por materiales biodegradables [8, 9]. El ácido poliláctico es un polímero sintético derivado de materias primas renovables que se produce a partir del ácido láctico. Por sus propiedades de barrera frente a olores y sabores, resistencia a grasas y aceites se le utiliza en la producción de utensilios desechables, botellas de varios usos y como materiales de sutura [10, 11]. Su producción anual se reporta del 13.9% con respecto a los demás materiales biodegradables [12]. Aunque por sus características mecánicas, alto costo y nivel de consumo de plásticos no pueden desplazar en su totalidad a los polímeros convencionales, por lo que aún es necesario el consumo de los plásticos convencionales [13].

El uso del plástico convencional no es un problema en sí, sino el mal manejo postconsumo que se les da a los residuos plásticos, por lo que entre las propuestas destaca la Economía circular con su visión de cero residuos. De esta forma el reciclaje de los plásticos toma mayor relevancia para las empresas para disminuir costes de producción y ayudar al cuidado del medio ambiente [14, 15]. Lo

anterior pretende impulsar el reciclaje de los polímeros convencionales al producir envases o empaques que contengan cierto porcentaje de material reciclado con material virgen o utilizar solo material reciclado para el producto [13].

En México se estima que solo se recicla un 26% de polietileno de alta densidad producido [16]. Pese a que Oblak y Vidakis reportaron que al reprocesar el PEAD hasta cien veces, no se observa alteración en las propiedades mecánicas dentro de los primeros 10 ciclos de reprocesamiento [17, 18]. Debido a que los polímeros biodegradables no fueron diseñados para reciclarse, y al hecho de que ambos materiales no son compatibles como lo reportan Quitadamo y Rosales [19, 20]. Esto podría afectar el ciclo de reciclado de los plásticos tradicionales si no existe una separación adecuada.

La mezcla de materiales biodegradables y polímeros derivados del petróleo, puede generar cambios en las propiedades de interés, lo cual afectaría las aplicaciones finales de los polímeros reciclados [14,15]. Lo anterior implica un impacto económico al disminuir el precio de venta de los materiales reciclados, el cual varía entre 5 y 15 pesos/Kg, dependiendo de su presentación, comparado con el precio de un material virgen que fluctúa entre 33 y 37 pesos/Kg [23, 24]. Por lo tanto, si el consumo de plásticos biodegradables continúa aumentando, deberá considerarse una reorganización de los sistemas de reciclaje, para evitar la contaminación del plástico convencional destinado al reciclaje.

Entre los beneficios del reciclaje es que se generan empleos directos a más de 7000 personas y empleos indirectos que equivale aproximadamente a 70000 familias lo que genera una economía aproximada de 6.5 millones de pesos [25].

En trabajos anteriores se investigó la combinación de PEAD/PLA, Yarahmadi y colaboradores estudiaron el reciclaje de un material comercial que contenía un 39% de PLA y un compatibilizante glicidil metacrilato; reportaron que observaron aumentos en la elongación del material y se lo atribuían a una mejor dispersión del material al aumentar los reprocesamientos [26]. Gere y colaboradores estudiaron mezclas de PEAD reciclado/PLA y observaron que al trabajar con 2% de PLA en la mezcla las propiedades mecánicas eran muy similares al PEAD reciclado [4]. Akesson y colaboradores estudiaron las propiedades mecánicas de una mezcla de PEAD/PLA-TPS con concentraciones de PLA-TPS de 1 y 5%. Ellos reportaron que no había afectación en la resistencia a la tensión pero si en el porcentaje de elongación, esto lo atribuían a que la mezcla de PLA-TPS no se había incorporado en la matriz de PEAD, funcionando como punto de falla para las pruebas mecánicas [27].

El presente trabajo constituye una de las primeras aproximaciones al efecto que tendrá la incorporación de diferentes concentraciones de polímero biodegradable combinado con el reprocesamiento de los materiales en las propiedades mecánicas. Debido a la falta de compatibilidad del PEAD y los polímeros biodegradables, se requieren estudios que muestren el comportamiento de las propiedades del material, así como hacer notar la importancia de un buen etiquetado, clasificación y posterior separación de los residuos. Esto para disminuir el efecto que podría tener en el precio de venta del material reciclado, que se puede traducir en pérdidas económicas que afecten a los trabajadores del rubro del reciclaje y a sus familias; sin mencionar el impacto ambiental si se deja de reciclar estos materiales.

TEORÍA

La incorporación de ácido poliláctico en el ciclo de reciclado mecánico del polietileno de alta densidad afectará significativamente las propiedades mecánicas de la mezcla debido a las diferentes velocidades y mecanismos de degradación de ambos materiales en la mezcla.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

Se utilizó polietileno de alta densidad (PEAD 65050) de PEMEX. El material tiene una densidad de 0.965 g/cm³ y un índice de fluidez de 5.0 g/10min. Ácido poliláctico (PLA 3251D) de Nature Works. El material tiene una densidad de 1.95 g/cm³ y un índice de fluidez de 80.0 g/10 min.

Procesamiento

Para la obtención del material reciclado, se inyectó el PEAD virgen en una máquina de inyección MTH-55 con un perfil de temperatura de 190 a 210 °C, se molió el material y se mezcló en diferentes proporciones con el PLA que fue secado previamente a 80 °C por 6 horas en la estufa como lo indica

el proveedor. Para simular el proceso de reciclaje las mezclas se inyectaron, enfriaron y se sometieron a reducción de tamaño a través de un molino de cuchillas, este proceso se repitió dos veces. Se utilizó un diseño de experimentos de 2² tomando como factores: cantidad de PLA (0, 10, 30 y 50%) y ciclos de reprocesamiento (1, 2).

Caracterización

Las muestras fueron caracterizadas por una maquina universal marca Instron equipada con una celda de carga de 5 kN de acuerdo a la norma ASTM D-638. La resistencia a la tensión se determinó a una velocidad de 50 mm/min. Se utilizó un mínimo de 5 probetas por mezcla. La resistencia al impacto Izod se evaluó de acuerdo a la norma ASTM D-256, en un equipo Tinus Olsen, las muestras se muescaron y evaluaron con un péndulo de 4J. El análisis de infrarrojo se realizó con un espectrofotómetro FTIR marca Thermo Scientific modelo Nicolet iS10. Se realizaron barridos en el rango de 4000-400 cm⁻¹ con 16 escaneos por muestra. Las propiedades térmicas se determinaron con un calorímetro diferencial de barrido, Pyris 1 de Perkin-Elmer. Con un barrido de temperaturas de 50 a 200 °C a una velocidad de 15 °C/min en presencia de nitrógeno. La temperatura de transición vítrea (T_g), temperatura de fusión (T_m), la entalpía de cristalización (ΔH_c) y la entalpía de fusión (ΔH_m) se registraron en el segundo calentamiento.

RESULTADOS

El estudiar el comportamiento de las propiedades mecánicas de las mezclas de PEAD/PLA bajo condiciones de reprocesamiento permitió evaluar los aspectos ambientales de reutilizar el material aun cuando se detecte la presencia de PLA en la cadena de reciclaje del PEAD. Los materiales se evaluaron después de dos ciclos de reprocesamiento, no se observó un cambio significativo en la tensión y el impacto al reprocesar el PEAD (tabla 1), esto concuerda con lo reportado por Vidakis y Oblak [17, 18]. Pero la elongación se ve disminuida al reprocesar el material, esto se atribuye a mecanismos de degradación mecánica por cizallamiento o degradación térmica.

Tabla 27. Propiedades mecánicas de las mezclas de PEAD/PLA¹

Ciclo de reciclaje	Contenido de PLA %	Tensión (MPa)	Elongación (%)	Impacto (J/m)
1	0	22.92 ± 0.56	217.09 ± 47.71	46.13 ± 3.90
	10	22.74 ± 0.51	293.96 ± 74.95	15.22 ± 2.72
	30	23.99 ± 0.50	5.27 ± 0.44	7.68 ± 0.44
	50	23.41 ± 0.06	3.60 ± 0.37	7.56 ± 0.25
2	0	25.15 ± 0.87	123.09 ± 50.32	43.89 ± 2.86
	10	24.06 ± 0.13	258.58 ± 11.46	17.79 ± 2.68
	30	22.64 ± 0.19	1.99 ± 0.23	9.44 ± 2.06
	50	21.57 ± 0.40	1.37 ± 0.02	7.82 ± 0.43

Nota 1: se realizaron quince mediciones de cada mezcla. Se reporta la desviación estándar de los datos.

A medida que se incrementa el contenido de PLA en las mezclas las propiedades mecánicas de tensión, elongación e impacto tienden a bajar, esto se atribuye a que las mezclas de los materiales no son miscibles y las propiedades físicas están controladas por la relación en peso de los dos componentes. La falta de compatibilidad interfacial conduce a una separación con bajos esfuerzos aplicados, esto concuerda con lo reportado por Yarahmadi y colaboradores [26]. Aunado a que los materiales están sometidos a condiciones que pueden generar degradación termo-oxidativa y mecánica por el procesamiento [20]. La degradación en las poliolefinas puede monitorearse a través de diferentes métodos como el DSC y espectroscopia infrarroja.

Análisis IR

Se realizaron monitoreos en las bandas de absorción asociada al grupo carbonilo (C=O), llamada índice de carbonilos (CI) [28]. El CI es utilizado para monitorear el grupo carbonilo que se forma durante la foto y termo-oxidación en el intervalo de 1850 a 1650 cm⁻¹, midiendo la relación de la banda de carbonilos y una banda de referencia [29].

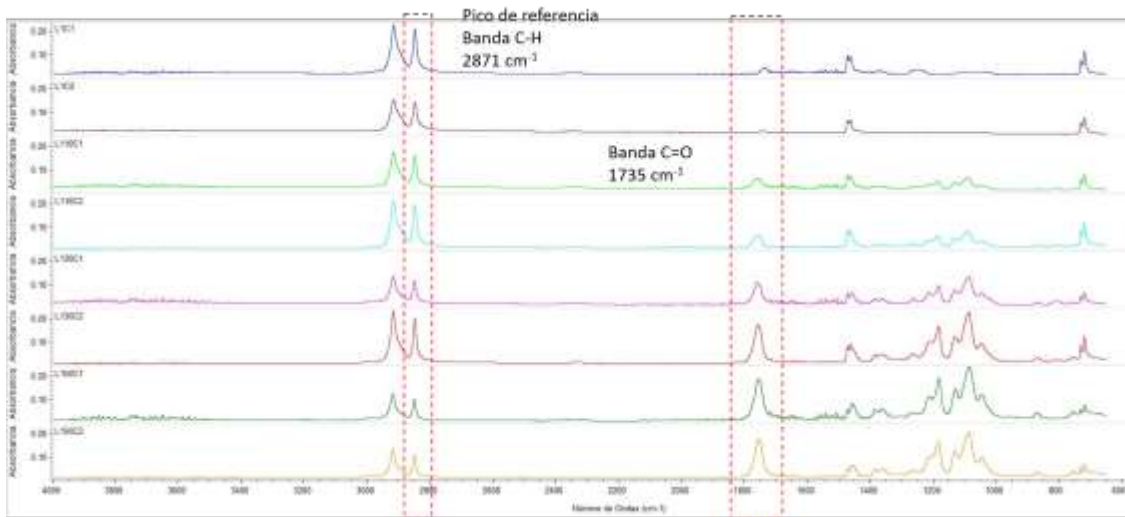


Figura 81. Análisis IR de muestras procesadas

En la figura 1 se observó el aumento en la banda que corresponde al índice de carbonilos y una disminución de la banda de referencia en las mezclas que contenían el 50% de PLA, esto se debe aún menor contenido PEAD en la mezcla.

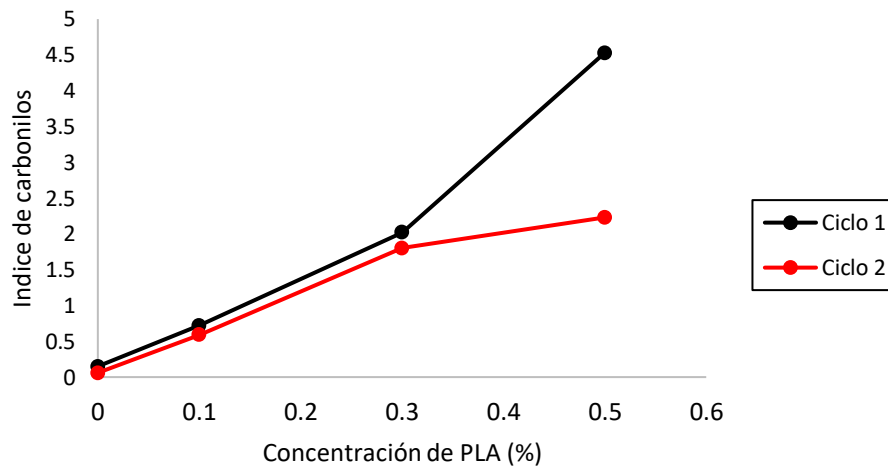


Figura 82. Índice de carbonilos para mezclas de PEAD/PLA

En la figura 2 se observó que en el primer ciclo de procesamiento la intensidad de la banda atribuida al grupo carbonilo aumenta a medida que se incrementa el contenido de PLA en la mezcla, esto se debe a la presencia del grupo carbonilo en la estructura del material. La misma tendencia se observó en la banda correspondiente al estiramiento del grupo C-O. Al procesar el material un ciclo más, se percibió una reducción en las bandas relacionadas al grupo carbonilo y al grupo C-O que se atribuyen a la escisión de cadenas en las cadenas del PLA, que pueden romperse por la degradación hidrolítica de los enlaces éster. Se ha reportado que el incremento en la concentración de PLA en mezclas con HDPE contribuye al proceso de degradación del polietileno [30]. Estos resultados indican que el PLA se empieza a degradar al segundo ciclo de reciclado, ya que la disminución en la intensidad de la banda es más evidente a medida que el contenido de PLA en la mezcla aumenta.

Transiciones térmicas y cristalinidad

Tabla 28. Transiciones térmicas de las mezclas de PEAD/PLA.

Ciclo de reprocesamiento	% PLA	T1 (°C)	ΔH (J/g)	% Cristalinidad PEAD	T2 (°C)	ΔH (J/g)	% Cristalinidad PLA
Primer	0	135.4	168.9	57.65			
	10	136.8	113.7	47.13	165	2.688	2.8
	30	135.9	138.1	38.81	166.9	12.98	13.8
	50	133.5	82.2	28.05	166.3	17.94	19.1
Segundo	0	134	168.3	57.4			
	10	136	149.4	50.9			
	30	135	105.7	36.0	165.5	6.99	7.46
	50	133	87.7	29.9	165.3	15.86	16.9

El cálculo de la cristalinidad se llevó a cabo utilizando la fórmula 1:

$$\% \text{ de cristalinidad} = \frac{\Delta H_f}{\Delta H_0} * 100 \quad (1)$$

El ΔH_0 del PLA es de 93.7 J/g y el ΔH_0 para el PEAD es de 293 J/g. La T_m y T_c del PLA es de 161 y 126 °C respectivamente.

La incorporación de PLA en el PEAD, no modifica grandemente la temperatura de fusión de las mezclas PEAD/PLA (tabla 2), lo que sugiere que no existe compatibilidad entre los polímeros. Adicionalmente se observa una marcada disminución en la cristalinidad del polietileno que va desde 57% para el PEAD, hasta un 28% para la mezcla con 50% de PLA, probablemente debido a que la presencia de los grupos funcionales del PLA interfirieron con el proceso de organización molecular del polietileno, reduciendo el tamaño de los cristales, esto concuerda con lo reportado por Madhu y colaboradores [31]. Sin embargo, la cristalinidad del PLA, parece incrementarse a medida que aumenta su concentración en la mezcla, de 2.8% para el menor contenido de PLA en la mezcla, hasta 19% cuando la concentración es de 50%. Resultados similares se han reportado en la literatura donde se argumenta que el PEAD mejora la cristalinidad del PLA favoreciendo la formación de cristales [32].

Para el segundo ciclo de reprocesamiento, la cristalinidad tiene el mismo comportamiento del ciclo 1, es decir, se presenta una disminución en la cristalinidad del PEAD conforme se incrementa el contenido de PLA en la mezcla y presenta valores muy similares a los del primer ciclo de reciclado. En cuanto a la cristalinidad del PLA, al igual que en el ciclo 1 de reprocesados, tiende a aumentar conforme se incrementa la concentración en la mezcla. Sin embargo, en el ciclo 2 la mezcla con 10% de PLA ya no se observó presencia de cristalización correspondiente al PLA, además de que también se observaron valores de cristalinidad más bajos para el PLA, como puede observarse en la tabla 2. La disminución en la cristalinidad de los componentes de la mezcla puede atribuirse a los procesos de degradación provocados por la termo-oxidación durante el reprocesamiento, que provoca cambios estructurales en los polímeros como ya se discutió en los hallazgos del análisis de FTIR.

CONCLUSIONES

Se observó una afectación de las propiedades mecánicas de las mezclas de PEAD/PLA a medida que se incrementa la concentración de PLA y el número de ciclos de reciclado. Se observó una mayor afectación en la elongación, reportando disminuciones que van desde 217.09% para el PEAD hasta 3.60% para la mezcla que contiene 50% de PLA; al reprocesar una segunda vez estos valores

disminuyen casi a la mitad del valor obtenido en el primer procesamiento. Para la resistencia al impacto se reportan disminuciones de 46 J/m para PEAD a 7.56 J/m para la mezcla que contiene 50% de PLA. La disminución de las propiedades mecánicas se le atribuye a la degradación térmica y mecánica del PLA cuando las muestras se someten a reprocesamiento. Estos fenómenos se confirman con el índice de carbonilos presentes en las muestras.

Debido a que las propiedades mecánicas se afectan de forma negativa al mezclarse materiales biodegradables con polímeros convencionales se denota la importancia de implementar un correcto sistema de separación de basura, para que, en la cadena de reciclaje, no se presenten problemas de desempeño en los materiales reciclados.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cambiotec, "Análisis de competitividad del sector plásticos en el Estado de México," *CambioTec*, vol. 1. p. 64, 2018.
2. L. C. Scienza, A. V. C. de Araújo, H. M. K. Hubert, L. H. A. Cândido, V. Martins, and A. J. Zattera, "Comparative study of the degradation of the green hdpe and petrochemical hdpe in the primary recycling," *Mater. Sci. Forum*, vol. 1012 MSF, pp. 67–72, 2020, doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1012.67.
3. L. Mita, "EXPLOITING THE POTENTIAL OF POLYETHYLENE MECHANICAL RECYCLING: ECONOMIC AND SUSTAINABILITY ANALYSIS," *Environ. Eng. Manag. J.*, vol. 19, no. 10, pp. 1797–1805, 2020.
4. D. Gere and T. Czigany, "Rheological and mechanical properties of recycled polyethylene films contaminated by biopolymer," *Waste Manag.*, vol. 76, pp. 190–198, 2018, doi: 10.1016/j.wasman.2018.02.045.
5. C. I. Idumah, "Recent advancements in thermolysis of plastic solid wastes to liquid fuel," *J. Therm. Anal. Calorim.*, vol. 1, no. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s10973-021-10776-5.
6. J. Hammer, M. H. S. Kraak, and J. R. Parsons, *Plastics in the Marine Environment: The Dark Side of a Modern Gift*, vol. 220. 2012.
7. Y. Gonzalez-Mancilla, "Mechanical properties of a polymer compound made of recycled ldp and reinforced with natural wood fibers," *Ingenio Magno*, vol. 6, no. 2, pp. 76–85, 2016, [Online]. Available: <http://revistas.ustatunja.edu.co/index.php/ingeniomagno/article/view/1095/1063>.
8. M. Jaen, P. Esteve, and I. Banos Gonzalez, "Future teachers facing the problem of pollution of the seas by plastics and consumption," *Rev. Eureka sobre Enseñanza y Divulg. las Ciencias*, vol. 16, no. 1, p. 1501 a 1501–17, 2019, doi: 10.25267/Rev_Eureka_ensen_divulg_cienc.2019.v16.i1.1501.
9. E. Lugo Chavez, C. S. Ramos Cortes, A. K. Cid Bouchan, and M. V. Quevedo Mancilla, "LA FALACIA DE LA INDUSTRIA EN LA LUCHA CONTRA LA CONTAMINACIÓN PLÁSTICA." Greenpeace México A.C., Coyoacán, pp. 1–70, 2019.
10. Lady Joana Rodriguez and C. Orrego, "Aplicaciones de mezclas de biopolímeros y polímeros sintéticos: revisión bibliográfica," *Rev. Científica*, vol. 25, no. 0124 2253, p. 22, 2016, doi: 10.14483/udistrital.jour.RC.2016.25.a9.
11. A. Chamas *et al.*, "Degradation Rates of Plastics in the Environment," *ACS Sustain. Chem. Eng.*, vol. 8, pp. 3494–3511, 2020, doi: 10.1021/acssuschemeng.9b06635.
12. European Bioplastics, "Bioplastics market data 2019 Global production capacities of bioplastics 2019-2024," *European Bioplastics*, pp. 1–7, 2020.
13. ECOCE, ANIPAC, and CONMEXICO, "1er INFORME DEL ACUERDO NACIONAL PARA LA NUEVA ECONOMÍA DEL PLÁSTICO EN MÉXICO." p. 10, 2020.
14. Ellen MacArthur Foundation, "The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics," *Ellen MacArthur Found.*, no. January, p. 120, 2016.
15. SEMARNAT, "Visión nacional hacia una gestión sustentable." pp. 1–27, 2019, [Online]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/435917/Vision_Nacional_Cero_Residuos_6_FEB_2019.pdf.
16. J. Treviño Aguado, "Plan de Manejo ECOCE." p. 60, 2019, [Online]. Available:

- https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/28090_A/GacetaNo_28090a_20160805.pdf.
17. P. Oblak, J. Gonzalez Gutierrez, B. Zupančič, A. Aulova, and I. Emri, "Processability and mechanical properties of extensively recycled high density polyethylene," *Polym. Degrad. Stab.*, vol. 114, pp. 133–145, 2015, doi: 10.1016/j.polymdegradstab.2015.01.012.
 18. N. Vidakis, M. Petousis, and A. Maniadi, "Sustainable Additive Manufacturing : Mechanical Response of High-Density Polyethylene over Multiple Recycling Processes," *MDPI*, pp. 1–14, 2021.
 19. A. Quitadamo, V. Massardier, C. Santulli, and M. Valente, "Optimization of Thermoplastic Blend Matrix HDPE / PLA with Different Nature and Level of Coupling Agent," *Materials (Basel)*, no. November, pp. 1–11, 2018, doi: 10.3390/ma11122527.
 20. C. Rosales, M. Sabino, R. Perera, and H. Rojas, "Effects of degradation during the processing on morphology and tensile properties of nanocomposites blends of poly (lacti acid) with polyethylene Influencia de la degradación durante el procesado en la morfología y en las propiedades de tracción de nano," *Rev. Téc. Ing. Univ. Zulia*, vol. 37, no. 2, pp. 135–143, 2014.
 21. A. Vazquez Morlias, R. M. Espinosa Valdemar, M. Beltrán Villavicencio, and M. Velasco Perez, "Bioplásticos y plásticos degradables," *ANIPAC*. p. 11, 2016, doi: 0.13140/RG.2.1.1294.4241.
 22. J. L. Rubiano Fernández *et al.*, "Manejo de los materiales plásticos reciclados y mejoramiento de sus propiedades," *INGE@ UAN-Tendencias en la Ing.*, vol. 1, no. 2, pp. 52–60, 2011.
 23. N. Singh, D. Hui, R. Singh, F. Luciano, and F. Fraternali, "Recycling of plastic solid waste: A state of art review and future applicationsite," *Compos. Part B Eng.*, vol. 115, pp. 409–422, 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.09.013.
 24. A. Labeaga Viteri, "Polímeros biodegradables. Importancia y potenciales aplicaciones," 2018.
 25. ECOCE, "Ficha técnica por estado," *Residuos de envases y empaques recuperados por México en 2019*, 2019. .
 26. N. Yarahmadi, I. Jakubowicz, and J. Enebro, "Polylactic acid and its blends with petroleum-based resins : Effects of reprocessing and recycling on properties," *Appl. Polym. Sci.*, vol. 43916, pp. 1–9, 2016, doi: 10.1002/app.43916.
 27. D. Åkesson, G. Kuzhanthaivelu, and M. Bohlén, "Effect of a Small Amount of Thermoplastic Starch Blend on the Mechanical Recycling of Conventional Plastics," *J. Polym. Environ.*, no. 0123456789, 2020, doi: 10.1007/s10924-020-01933-2.
 28. A. Andrady, *Plastics and Environmental Sustainability*. New Jersey: John Wiley & Sons, 2015.
 29. J. Almond, P. Sugumaar, M. N. Wenzel, G. Hill, and C. Wallis, "Determination of the carbonyl index of polyethylene and polypropylene using speci fi ed area under band methodology with ATR - FTIR spectroscopy," *Gruyter*, pp. 369–381, 2020.
 30. A. M. Torres-Huerta, M. A. Domínguez-Crespo, D. Palma-Ramírez, A. I. Flores-Vela, E. Castellanos-Alvarez, and D. Del Angel-López, "PREPARATION AND DEGRADATION STUDY OF HDPE / PLA POLYMER BLENDS FOR PACKAGING APPLICATIONS ESTUDIO," *Rev. Mex. Ing. Química*, vol. 18, no. 1, pp. 251–271, 2019.
 31. G. Madhu, H. Bhunia, P. K. Bajpai, and G. B. Nando, "Physico-mechanical properties and biodegradation of oxo-degradable HDPE/PLA blends," *Polym. Sci. - Ser. A*, vol. 58, no. 1, pp. 57–75, 2016, doi: 10.1134/S0965545X16010077.
 32. S. M. Bhasney, K. Mondal, A. Kumar, and V. Katiyar, "Effect of microcrystalline cellulose [MCC] fibres on the morphological and crystalline behaviour of high density polyethylene [HDPE]/polylactic acid [PLA] blends," *Compos. Sci. Technol.*, p. 107941, 2020, doi: 10.1016/j.compscitech.2019.107941.

GUÍA PARA CAD/CAM SOLIDWORKS-SOLIDWORKS CAM-EMCO WINNC

Maira Paola Oliva Hernández, Gabriel Daniel Ledesma Silva

Universidad Politécnica del Bicentenario (UPB)
gledesmas@upbicentenario.edu.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se describe el desarrollo de una guía detallada como material de apoyo en la capacitación para el uso de herramientas CAD/CAM que permita la adquisición de las habilidades en la Manufactura Asistida por Computadora (CAM) en alumnos de la Universidad Politécnica del Bicentenario o cualquier institución que lo requiera. Para ello se hace uso de las herramientas de modelado y manufactura de SolidWorks. Se modela la pieza y por medio del complemento SolidWorks CAM se obtiene el código CN en el postprocesador SIEMENS 840D, para importarlo a EMCO WinNC y verificar las operaciones de fresado, herramientas, trayectorias y parámetros de corte. De tal manera se reducen o eliminan los riesgos de pérdida de material, daños a las herramientas e incluso a la máquina por errores en la programación del mecanizado.

INTRODUCCIÓN

Con la finalidad de robustecer la formación integral de los estudiantes en el área de manufactura, se desarrolló una guía que representa una herramienta para la asistencia práctica en el área de Manufactura Asistida por Computadora (CAM), que servirá como material de apoyo para el uso de SolidWorks aplicado no solo al diseño de piezas, sino también a su manufactura, con el complemento SolidWorks CAM. Además, en esta guía se hace uso de EMCO WinNC para la verificación de la manufactura de las piezas, mediante la simulación del proceso de fresado.

En específico se describe el desarrollo paso a paso de la manufactura de tres piezas. Cabe mencionar que una de estas ya fue realizada con anterioridad en Mastercam y de igual manera verificada en EMCO WinNC.

MARCO HISTORICO

Remontándonos unos siglos atrás, desde la edad de piedra, la humanidad ha tomado materias primas y les ha dado forma para modificar sus funciones o propiedades. Las primeras herramientas de piedra se obtenían mediante el tallado o pulido y perforado, obteniendo aristas cortantes para construir hachas, agujas, puntas de lanzas y flechas o adornos. Sin embargo, el primer gran salto de la humanidad tuvo lugar con el descubrimiento de la agricultura, y el paso de las tribus nómadas a sedentarias. Se desarrolló la construcción de refugios, el comercio y la alfarería. En ella se daba forma a la arcilla, creando vasijas y otros utensilios. Además, se cocía para mejorar sus propiedades como la dureza, la resistencia, la impermeabilidad, etc. Muy pronto inventaron el torno, que permitía fabricar piezas mejores y más rápidamente.

La mandrinadora de John Wilkinson, construida en el siglo XVIII, fue la primera máquina-herramienta según algunos autores. Esta máquina aportó un corte mucho más preciso en las piezas de metal, sin el cual no hubiera sido posible fabricar la máquina de vapor de James Watt y, por lo tanto, la revolución industrial. La alta densidad demográfica obligó a mejorar los procesos productivos y la tecnología, permitiendo el desarrollo de la industria, la agricultura y la sociedad. Este salto se basó en el conocimiento de la naturaleza y la energía para crear máquinas y herramientas que mejorasen la explotación agraria, el tejido, el transporte, etc. Estas máquinas aprovechaban la energía disponible del viento, el agua, la energía humana, o las nuevas fuentes disponibles, como la máquina de vapor. También se desarrolló la industria del acero, logrando la fusión del hierro y su aleación, con lo que se mejoraron sus características.

Hoy en día, los procesos de transformación metálica son increíblemente diversos. Debido a la complejidad, existen industrias que tan solo se centran en un tipo de procesado metálico. Desde hace aproximadamente unos 10 años, las máquinas han tocado techo ya que sus innovaciones se basan en mejorar su uso y simplificar tanto la programación de las mismas, como la conectividad, lo que ahora es conocido como industria 4.0 o internet de las cosas. Hasta ahora, todos los procesos conocidos se centran en la eliminación del material sobrante. Sin embargo, la fabricación aditiva,

construye la pieza partiendo de cero y realizando aporte de material. Si bien hay ya máquinas capaces de realizar de forma simultánea el mecanizado con la tecnología aditiva, los tiempos, los costes y las propiedades físicas finales, aún tienen que adecuarse a las expectativas de la industria.

JUSTIFICACION

Las máquinas y herramientas modernas no hacen operaciones distintas a las que se hacían en la prehistoria, pero las hacen mejor, más rápido y con más precisión. Sin embargo, a los ingenieros les conlleva mucho tiempo desarrollar los códigos necesarios para que las máquinas hagan su trabajo, además de que se corre el riesgo de pérdida de material si se hace la manufactura sin estar seguro de los resultados, afectando con ello todo el proceso industrial.

Con esta finalidad se ha implementado el uso del Diseño Asistido por Computadora y la Manufactura Asistida por Computadora. Gracias a estas herramientas se obtienen mejores resultados sin necesidad de procesos extensos, tediosos y complicados.

ANTECEDENTES

Anterior a este trabajo, se desarrolló también un guía para la manufactura de una placa soporte pero con ayuda de Mastercam X4 como software de apoyo. En ese documento se plasma paso a paso el desarrollo para el proceso de maquinado de la pieza usando como apoyo dicho software para la obtención del código numérico necesario para su producción. Seguido del proceso en Mastercam, se realizó una verificación con ayuda del simulador de EMCO WinNC para posteriormente realizar el maquinado de la pieza en la máquina CNC (Control Numérico Computarizado) EMCO MILL450. Con la adquisición de licencias educativas de SolidWorks se decidió realizar una nueva guía, como material didáctico, pero ahora con ayuda de dicho software. De esta manera, los alumnos se verán beneficiados ya que se prepararán en el uso tanto de Mastercam como del complemento SolidWorks CAM aumentando así su conocimiento y con ello el desarrollo de las habilidades y competencias necesarias para el campo laboral en esta área.

OBJETIVOS

Objetivo general

Verificar las operaciones de maquinado para tres piezas por medio de CAD/CAM, generando una guía completa y detallada para que cualquier persona con conocimientos previos de CAD utilice CAM, obtenga el programa de CN, lo verifique y posteriormente pueda realizar la pieza en la máquina EMCO MILL450.

Objetivo específico

Generar un manual detallado en el cual se especifique paso a paso la realización del modelado de las piezas en SolidWorks, después realizar el maquinado en SolidWorks CAM para luego verificar en EMCO WinNC.

DESARROLLO

Como ya se mencionó con anterioridad, esta guía representa una herramienta para la asistencia práctica en el área de Manufactura Asistida por Computadora (CAM) y en ella se desarrolla paso a paso el proceso de simulación para la manufactura de tres piezas. Para este documento se tomará como ejemplo solamente una de ellas (Figura 1).

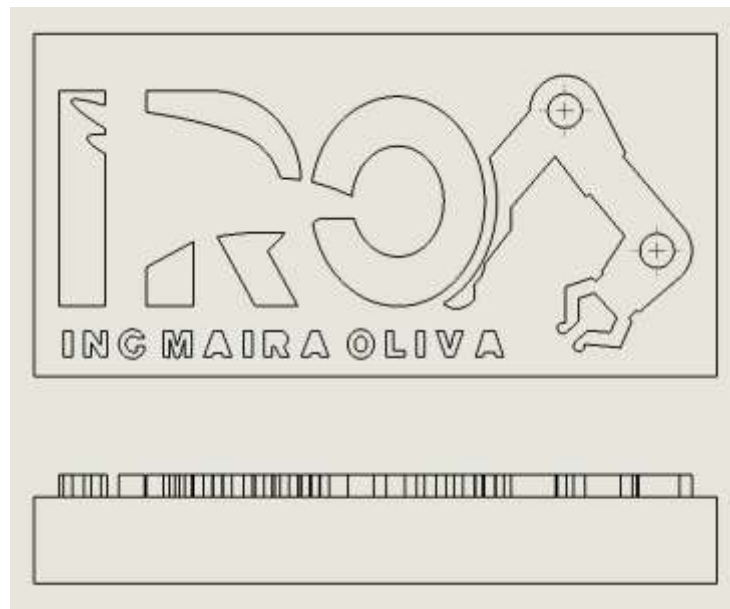


Figura 1. Dibujo de placa IRO.

El proceso para la simulación de la manufactura de la placa, de forma general comienza con el diseño en SolidWorks, haciendo el modelado en 3D como se muestra en la Figura 2. Las dimensiones del tocho son: 200 mm (7.87 in) de largo por 100 mm (3.94 in) de ancho y 38.1 mm (1.25 in) de espesor.

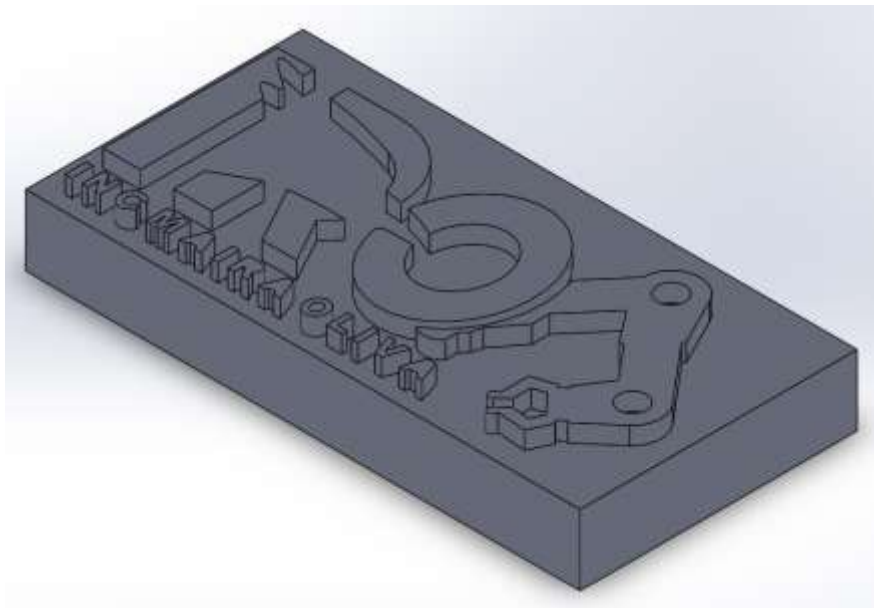


Figura 2. Diseño 3D.

Posteriormente se utiliza la herramienta de SolidWorks CAM para hacer la simulación de la manufactura, comenzando con la configuración de los parámetros generales como la definición de la máquina y del postprocesador de Siemens 840D (Figura 3), el gestor del tocho, el sistema de coordenadas y la selección del plano de trabajo.

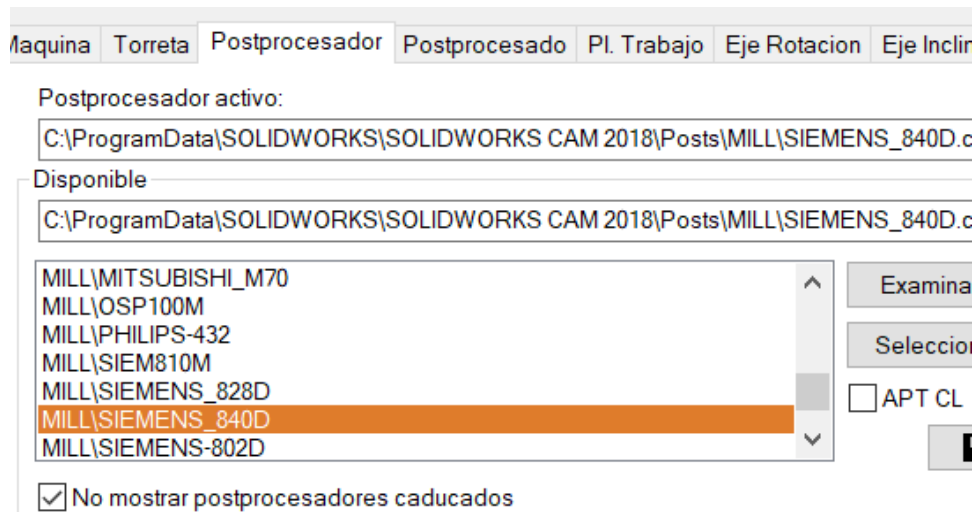


Figura 3. Postprocesador.

Después de definidos los parámetros generales, se procede al árbol de operaciones para comenzar con la primera operación, el planeado, seleccionando la herramienta y la entidad sobre la que se realiza el proceso. En la Figura 4 se muestra el camino de la herramienta para el planeado.

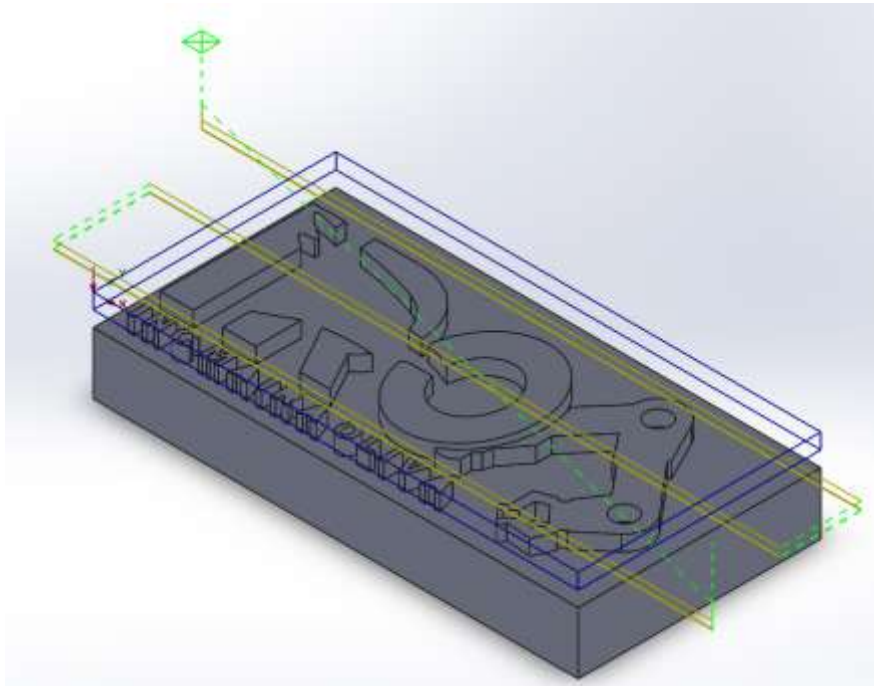


Figura 4. Planeado.

Luego del planeado se procede a realizar el desbaste, comenzando por la selección de la herramienta y la entidad necesarias para maquinar las letras. Para este proceso, el camino de la herramienta se muestra en la Figura 5. Después de cada operación se realiza una verificación para poder asegurar que no halla fallas por colisión o por un mal maquinado.

Cabe mencionar que las herramientas seleccionadas para la simulación de cada uno de los procesos, están basadas en las herramientas con las que se cuenta en el laboratorio de robótica de la UPB.

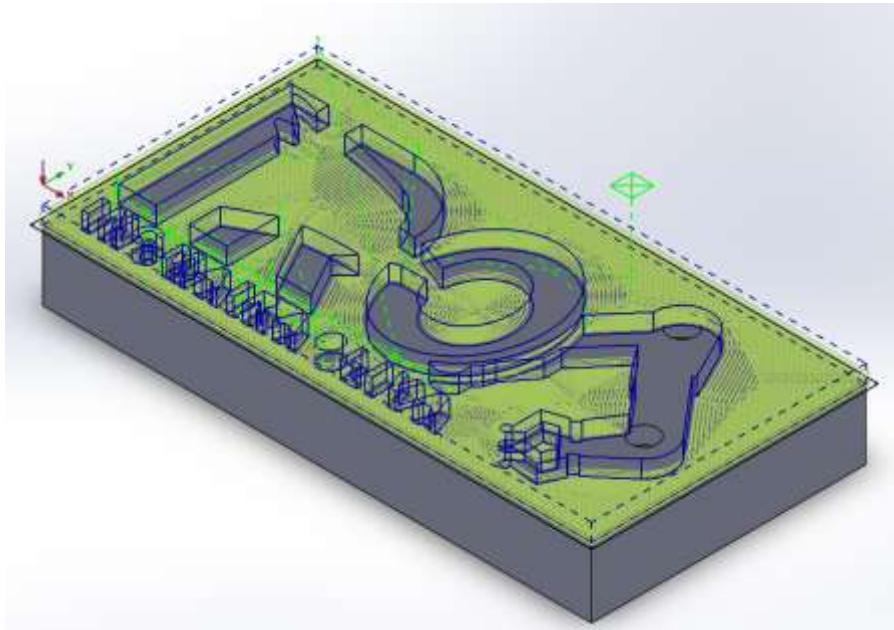


Figura 5. Desbaste.

Posteriormente se hace uso de un centrador y una broca para las perforaciones de la placa. En la Figura 6 se muestra el camino de la herramienta para ambas operaciones.

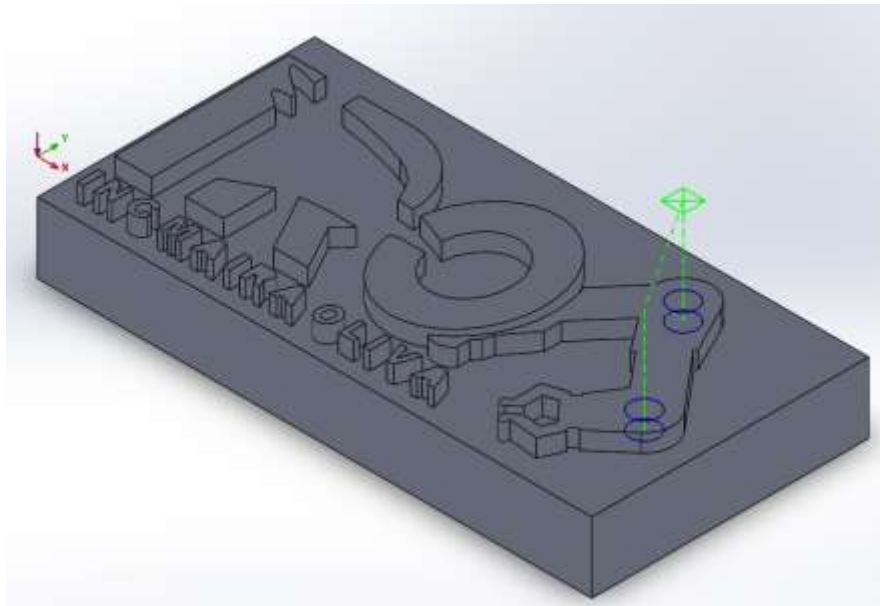


Figura 6. Taladrado.

Una vez definidas las operaciones, con sus respectivas herramientas y parámetros, se realiza el postprocesado para obtener el código CN (Figura 7). Es aquí donde termina el proceso en SolidWorks CAM y se procede a realizar una verificación en EMCO WinNC haciendo una importación del código obtenido.

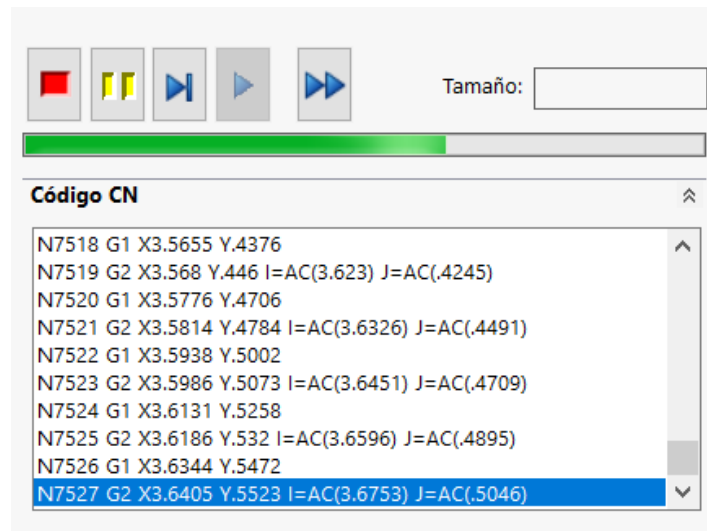


Figura 7. Código CN.

En EMC WinNC se debe realizar una configuración de las herramientas, definir los parámetros de la pieza de trabajo y cargar el código CN obtenido de SolidWorks CAM para verificar la simulación. En la Figura 8 se muestra el resultado obtenido, es importante destacar que este simulador es el de la máquina CNC EMCO MILL450 disponible en la UPB y que trabaja con el postprocesador de SIEMENS 840D, razón por la cual se selecciona éste en SolidWorks CAM.

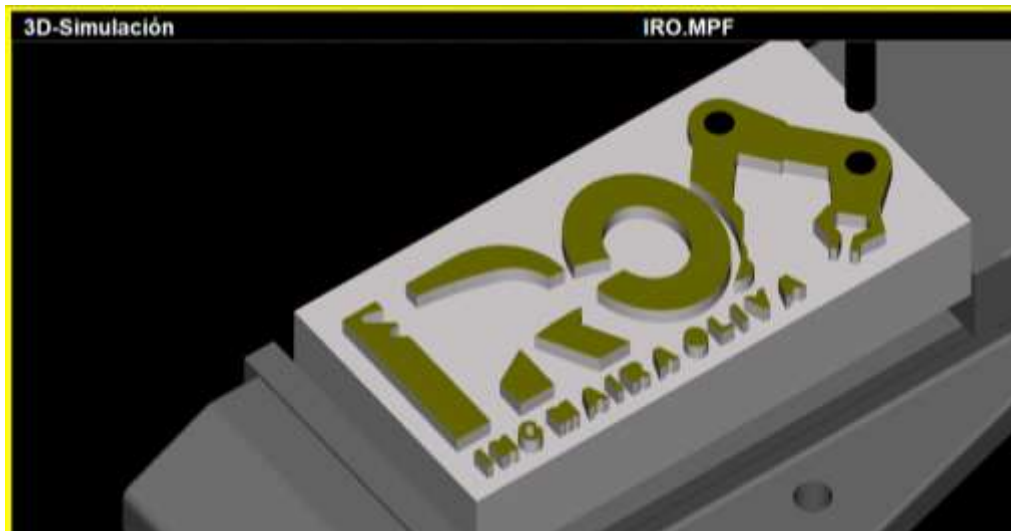


Figura 8. Resultado final.

La ventaja de utilizar SolidWorks es que se puede trabajar el CAD y el CAM en el mismo software sin necesidad de realizar importación desde algún otro programa, además de que, habiendo la necesidad de hacer modificaciones en las características de la pieza, el proceso se ajustará de forma automática.

RESULTADOS

En la guía desarrollada se describe paso a paso el proceso para tres piezas (Figura 9), por medio de SolidWorks CAM, en la que se muestran las distintas operaciones y herramientas necesarias para la simulación de la manufactura de cada una.



Figura 7.2.1. Dibujo placa IRO 1.

Las dimensiones del espesor de la pieza se definen en la figura 7.2.2., que corresponden a 35mm de base y 25.4mm de espesor para el dibujo de la figura 7.2.1.



Figura 7.2.2. Espesores placa IRO 1.

En la figura 7.2.3 se muestra la pieza modelada en 3D, croquizado en planta.

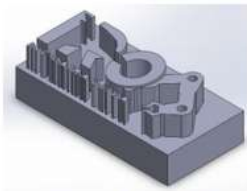


Figura 7.2.3. Pieza en 3D.

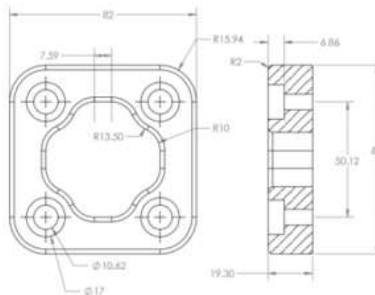


Figura 7.1.1. Dibujo de la pieza a trabajar.

En la figura 7.1.2 se muestra la pieza modelada en 3D, en planta.

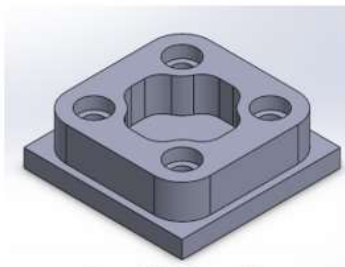


Figura 7.1.2. Pieza en 3D.



Figura 7.3.1. Dibujo placa IRO 2.

Las dimensiones del espesor de la pieza se definen en la figura 2c., que corresponden a 35mm de base y 25.4mm de espesor para el dibujo de la figura 7.3.1.



Figura 7.3.2. Espesores placa IRO 2.

En la figura 7.3.3 se muestra la pieza modelada en 3D, en planta.

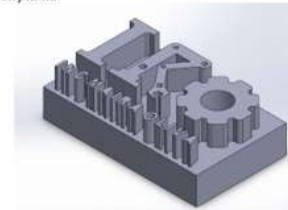


Figura 7.3.3. Pieza en 3D.

Figura 9. Piezas desarrolladas en la guía.

De forma general, esta guía permite que el usuario pueda trabajar de forma autónoma, incluso sin tener conocimientos previos de algún software para CAM, puesto que en ella se va explicando detalladamente y por pasos lo que debe hacer.

Figura 7.3.6. Máquina.

En la figura 7.3.31, se muestra en color naranja los valores postdefinidos de la operación y en color azul la modificación que yo realicé a los anteriores. Damos en aceptar.

Figura 7.3.31. Modificación de pasadas, planeado

Para la siguiente operación nuevamente en *PI. Trabajo 1 [Grupo 1]* damos un clic derecho y seleccionamos la opción "Operaciones fresado 2,5 ejes" y después seleccionamos "Desbaste". (figura 7.3.33.)

Figura 7.3.33. Desbaste letras.

Y en postprocesador seleccionamos MILL/SIEMENS_840D como se muestra en la figura 7.3.7.

Figura 7.3.7. Postprocesador.

Luego de aceptar los cambios anteriores se rebaja el camino de la herramienta. (figura 7.3.32.) y podemos visualizar nuevamente siguiendo los pasos de la figura 7.3.25 y 7.3.27, anterior que se hace el planeado en un menor tiempo.

Figura 7.3.32. Camino de la herramienta modificada.

Seleccionamos la herramienta de la figura 34c.

Figura 7.3.34. Herramienta desbaste letras.

Figura 10. Ejemplo de pasos en la guía.

En la Figura 10 se muestra, como ejemplo, la manera en que se va guiando al usuario para la realización de la simulación de la manufactura de las piezas por medio de los pasos descritos en la guía.

El trabajo previo a este en el cual se desarrolló la placa soporte, pero con ayuda de Mastercam X4, detalla, además de la simulación, los pasos para realizar la manufactura de la pieza en la máquina CNC EMCO MILL450 de la universidad. Sin embargo, las piezas desarrolladas en esta nueva guía, aún no se han podido manufacturar, debido a las condiciones actuales derivadas de la contingencia sanitaria por COVID-19 y se tienen como un trabajo futuro para realizarse en cuanto se permita el acceso a la institución. El uso de la guía ha sido de suma importancia en el desarrollo de las clases virtuales como material para el aprendizaje y obtención de habilidades en el área, siendo relevante su uso con alumnos de la materia de Manufactura Asistida por Computadora, de 9B de la carrera de Ingeniería Robótica de la UPB, dado que como se ha mencionado el usuario trabaja de forma que no necesita tener conocimientos previos en algún software para CAM.

CONCLUSIONES

Se verificaron las operaciones de maquinado para las tres piezas, tomando como ejemplo una para describir de forma general en este trabajo. Se obtuvo el programa de CN y se verificó en EMCO WinNC de forma exitosa. Se generó una guía detallada en la que se especifica paso a paso la realización para la simulación de la manufactura de las piezas y se comprobó que por medio de la implementación de técnicas y herramientas de CAD/CAM se reducen o eliminan los riesgos de pérdida de material, daños a las herramientas e incluso a la máquina por errores en la programación, así como disminución en tiempos de diseño y mecanizado.

Haciendo una comparativa entre el desarrollo de la simulación en SolidWorks CAM y en Mastercam X4, el primero resulta un tanto más visual. Por ejemplo, los íconos de dicha interfaz muestran con dibujo y palabras su función, esto es algo más limitado en el software de Mastercam X4. Sin embargo, ambas herramientas son sencillas de utilizar y de suma importancia en la industria e investigación.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. E. Lozano Rodríguez, "Guía para CAD/CAM". Estancia 2, Universidad Politécnica del Bicentenario, 2018.
2. C. Jensen, J. D. Hesel y D. R. Short, "Dibujo y diseño en ingeniería". Mc Graw Hill, México, 2004.
3. M. P. Groover, "Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas". Mc Graw Hill, México, 2007.
4. A. Llopis, "La evolución en el mecanizado". CMO Mipesa Grupo Empresarial, 2019. <https://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/256872-La-evolucion-en-el-mecanizado.html>
5. O. D. Lascoe, "Handbook of fabrication processes". ASM International, USA, 1988.
6. F. Cruz Teruel, "Control numérico y programación". Marcobombo, segunda edición.
7. EMCO Maier Ges.m.b.H., "EMCO WinNC SINUMERIK 810D/840D Fresado". EMCO group, Edición G2007-06, Austria, 2007.
8. M. P. Groover, "Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing". Prentice Hall, USA, 2007.

ESTUDIO TRIBOLÓGICO COMPARATIVO ENTRE UN ACEITE ATF Y ACEITE BIO-BASE ADICIONADO CON NANOPARTÍCULAS DE ÓXIDO DE ALUMINIO Al_2O_3

Norma A. Sánchez Calva, Marisa Moreno Ríos, Armando I. Martínez Pérez, Erika O. Ávila Dávila

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Pachuca, DEPI
norma.angelica1008@gmail.com

RESUMEN

Los lubricantes han evolucionado del aceite de base mineral a aceites sintéticos modificados a los lubricantes bio-base, estos últimos han cobrado protagonismo por su respeto con el medio ambiente y sus propiedades tribológicas^{1,2}. Las propiedades físico-químicas del bio-aceite de *Jatropha curcas* han sido estudiadas con anterioridad, así como sus propiedades tribológicas. Como aditivo, una concentración de *Jatropha curcas* puede reducir el coeficiente de fricción y el desgaste, y por lo tanto mejorar el rendimiento del lubricante base^{3,4}. Así los lubricantes se conforman de hasta un 10% de aditivos con diferentes propósitos que los ayudan a cumplir con las demandas de servicio⁵, algunos de ellos son los que modifican la fricción y reducen el desgaste. Las nanopartículas se han evaluado como aditivos y su efecto en las propiedades tribológicas está determinado por su tamaño y forma⁶⁻⁹. En este trabajo se muestran los resultados obtenidos de una prueba perno sobre disco (ASTM G99) de un aceite ATF, comparado con el *Jatropha curcas* con concentraciones de Al_2O_3 . Las pruebas tribológicas cumplen las siguientes condiciones: una gota de lubricante al disco, el cual estuvo en deslizamiento por un tiempo de 15 minutos; temperatura ambiente 19.2 °C y 33% de humedad, deslizamiento 84 metros. Los resultados muestran para el aceite ATF un coeficiente de fricción dinámico (μ_d) de 0.109, mostrando un comportamiento con mayor estabilidad, por otro lado, con el aceite *Jatropha curcas* se obtuvo 0.114 con un comportamiento irregular al comienzo de la prueba, para después estabilizarse. Los valores del coeficiente de fricción de estos dos estudios muestran que no tienen mucha variación uno con respecto del otro. Comparando estos resultados con los obtenidos de *Jatropha curcas* con concentraciones de Al_2O_3 , donde con la concentración de 1% de Al_2O_3 dio la mejor reducción de coeficiente de fricción, y una menor huella de desgaste. Con esto podemos concluir que las nanopartículas ayudan a mejorar las propiedades del aceite *Jatropha curcas*, y se confirma que la concentración de las nanopartículas es un factor importante a considerar al usarlas como aditivos, el aceite *Jatropha curcas* tiene un buen comportamiento sin la adición de nanopartículas.

INTRODUCCIÓN

Gran parte del interés de la planta *Jatropha curcas* L. fue su potencial para ser utilizada como materia prima para la producción de biodiesel¹⁰, derivado de su alto contenido de aceite y su capacidad de crecer en suelos erosionados esta planta es una opción para producir lubricante para la industria¹¹. Por otro lado, en las investigaciones para evaluar el comportamiento tribológico de nanopartículas y nanocompuestos de diversos materiales como aditivos, se ha observado que, el uso de nanopartículas interviene en los regímenes de lubricación³⁻⁸, reducen la fricción y el desgaste comparado con el aceite base contribuyendo en la formación de tribocapas^{1,3,5-8} o modificando los mecanismos de lubricación^{1,3-8}; dependiendo de las características físicas de la nanopartícula las cuales son un factor importante en el desempeño tribológico del lubricante³.

En este trabajo se evaluó el coeficiente de fricción (COF) y la huella de desgaste del aceite *Jatropha curcas* (JC) base y JC con una concentración de 1% en peso de Al_2O_3 para comparar su respuesta tribológica con el aceite ATF. Las pruebas tribológicas se realizaron en un tribómetro perno sobre disco bajo la norma ASTM G99.

TEORÍA

Utilizar nanopartículas como aditivos en aceites lubricantes mejora el comportamiento tribológico de los sistemas donde se utilizan⁵, las nanopartículas pueden depositarse en las irregularidades superficiales y formar una capa resistente al desgaste¹. La reducción del tamaño de partícula hasta escala nanométrica mejora las propiedades tales como efectos de anti desgaste, y presiones extremas generan una película protectora muy fina, la cual contribuye a la disminución de la fricción

y el desgaste, sin embargo, se ha encontrado que partículas nanométricas de cierta dureza pueden actuar bajo ciertas condiciones como agentes abrasivos^{1,7-9}.

PARTE EXPERIMENTAL

En el aceite bio-base se agregó la concentración de 1% en peso de nanopartículas de Al_2O_3 . Las nanopartículas tienen un tamaño aproximado de 50 nm. La mezcla se dispersó en una tina ultrasónica por un periodo de 15 min. La prueba tribológica se realizó en un equipo perno sobre disco bajo la norma ASTM G99, las probetas se manufacturaron en acero y aluminio, y se les dio un acabado espejo. La rugosidad de las superficies se evaluó con un rugosímetro SurfTest SJ-410 Mitutoyo, en la tabla 1 se muestran los valores obtenidos.

Tabla 1 – Rugosidad y dureza

Probeta	Material	Rugosidad
Perno/Disco	Aluminio	0.33 μm
Perno/Disco	Acero	0.037 μm

Las probetas, se lavaron por ultrasonido con acetona para eliminar impurezas antes y después de realizar las pruebas. El peso de los discos fue medido antes y después de las pruebas para obtener la pérdida de masa, este procedimiento fue realizado con una balanza analítica. Los parámetros de operación de la prueba tribológica se presentan en la tabla 2.

Tabla 2 – Parámetros de las pruebas

Parámetro	Valor	
	Acero	Aluminio
Carga	24.56 N	24.56 N
Humedad	50%-33%	40%
Temperatura	19°C	16.2°C
Velocidad	0.18 m/s	0.25 m/s
Tiempo	15 min	15 min
Lubricante	0.05 ml	0.05 ml

RESULTADOS

En la figura 1 se observa el comportamiento del coeficiente de fricción (COF) del aceite JC y el aceite ATF, es evidente un COF similar entre los dos lubricantes. Para el aceite bio-base se obtuvo un coeficiente de fricción de 0.114 y para el ATF de 0.109, esta primera prueba se realizó en probetas de acero. Una segunda prueba se realizó comparando el aceite ATF, con el aceite JC base y el JC con una concentración de nanopartículas de Al_2O_3 al 1% en peso. En la figura 2 se muestra la comparación del comportamiento de los lubricantes, estas pruebas se realizaron también en probetas de acero. El COF del aceite ATF es de 0.135, el JC de 0.093, y con una concentración del 1% de Al_2O_3 se tiene un COF de 0.118. Por último, se realizó una prueba con el aceite JC base y JC con 1% de nanopartículas en probetas de aluminio, teniendo un COF de 0.234 para el aceite JC base y 0.041 para el JC adicionado con nanopartículas, los resultados se muestran en la figura 3.

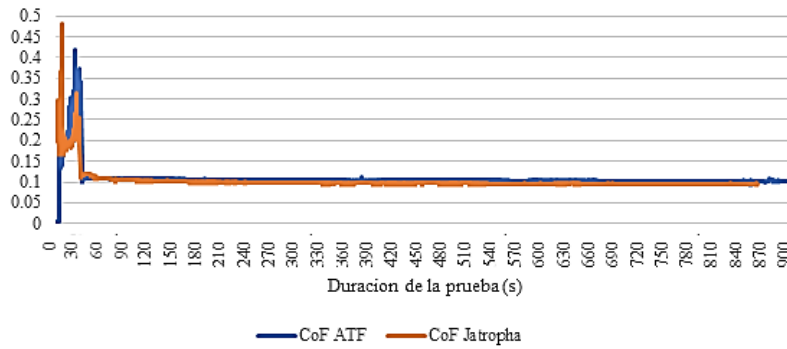


Figura 1. COF ATF vs JC; en acero

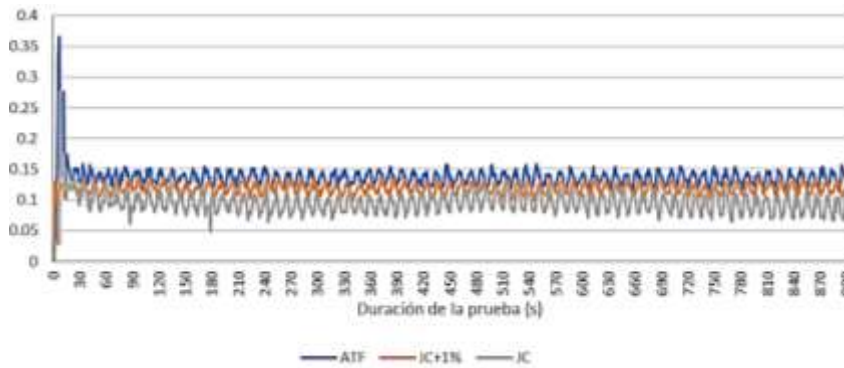


Figura 2. COF - ATF, y JC con 1% de nanopartículas; en acero.

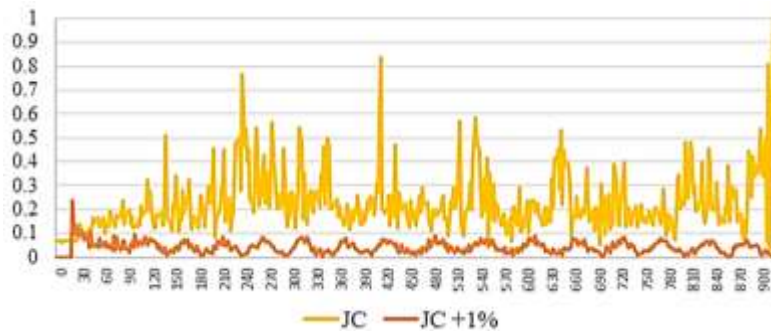


Figura 3. COF- JC, JC con 1% de nanopartículas; en aluminio.

En la tabla 3 se muestran la pérdida de masa de los discos, para las probetas de acero la mayor pérdida de masa se obtuvo con el lubricante JC con nanopartículas comparado con el aceite ATF y con el JC base. Mientras que en las probetas de aluminio la mayor pérdida de masa se dio con el aceite JC base.

Tabla 3. Pérdida de masa en las probetas de acero y aluminio

Lubricante	Probeta	Pérdida de masa (g)
ATF	Acero	0.0013
JC+1%	Acero	0.0018
JC	Acero	0.0016
JC+1%	Aluminio	0.0020
JC	Aluminio	0.0294

Las figuras 4 y 5 muestran las huellas de desgaste. Es evidente la diferencia entre las probetas de aluminio de la figura 4-b, con el aceite JC con 1% de nanopartículas se generó una huella de menor grosor comparada con la generada con el aceite JC base. Sin embargo, las huellas de las probetas de acero se observan similares en la figura 5. Los mecanismos de desgaste presentes en las huellas se analizaron por microscopía óptica.

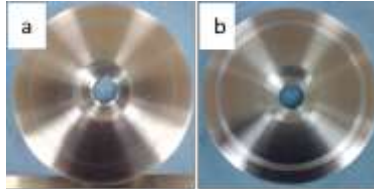


Figura 4. Probetas de aluminio; huellas de desgaste, a) aceite JC + 1% Al₂O₃; b) aceite JC base

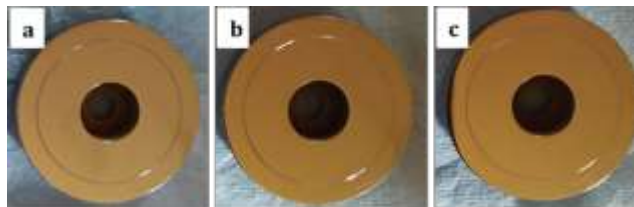


Figura 5. Probetas de acero, huellas de desgaste, a) aceite ATF; b) aceite JC+1% Al₂O₃; c) aceite JC base.

En la figura 6-a, donde se usó el aceite ATF se evidencia desgaste abrasivo indicado con la flecha amarilla, adhesivo indicado con la flecha roja y deformación plástica, en la figura 6-b el mecanismo de desgaste es por abrasión, coherente con una mayor pérdida de material indicado con la flecha verde, como se mostró en la tabla 3. Por último, en la figura 6-c se observa desgaste abrasivo, sin tanta pérdida de material y además deformación plástica menor que en la figura 6-a. En la figura 7-a el mecanismo de desgaste es abrasivo y en la figura 7-b se ve un profundo desgaste abrasivo y adhesivo.

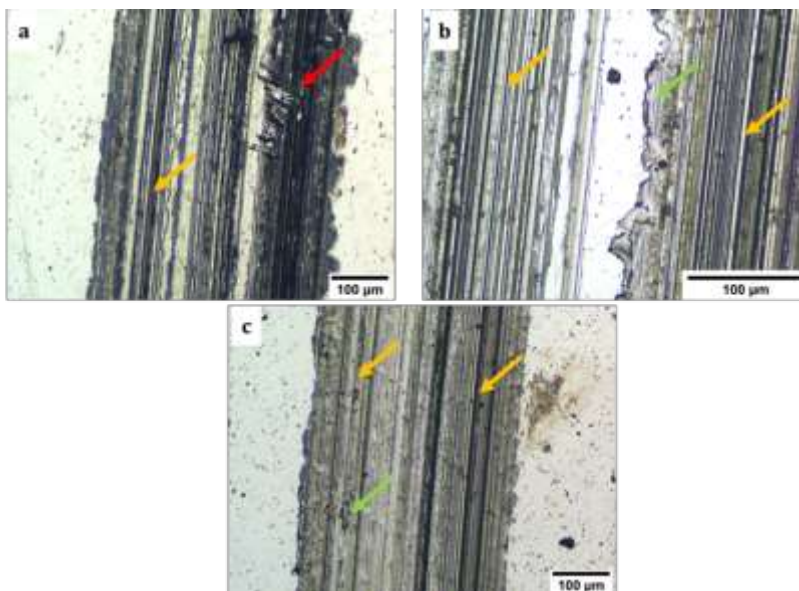


Figura 6. Huellas de desgaste en probetas de acero con a) aceite ATF; b) aceite JC +1% Al₂O₃, y c) aceite JC base.

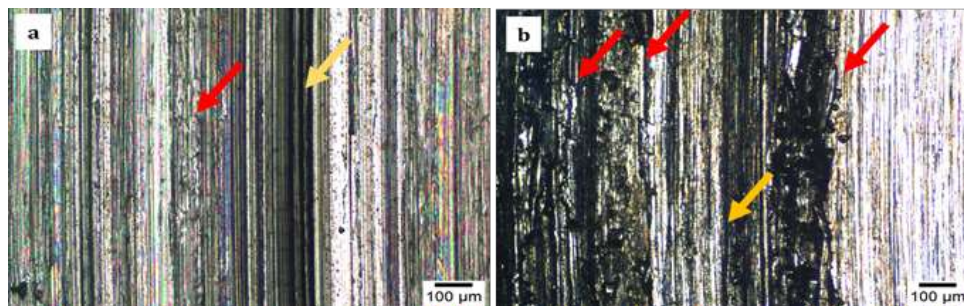


Figura 7. Huellas de desgaste en probetas de aluminio con a) aceite JC +1% Al_2O_3 , b) aceite JC base.

CONCLUSIONES

Los tres lubricantes presentaron un comportamiento similar a bajas velocidades, demostrando la capacidad de lubricación que tiene el aceite *Jatropha curcas* lo que lo hace competitivo con el aceite ATF, en las condiciones establecidas de las pruebas tribológicas realizadas.

La concentración de 1% en peso de nanopartículas de Al_2O_3 contribuyó a mejorar las propiedades tribológicas del aceite *Jatropha curcas*, al reducir y mantener estable el coeficiente de fricción, disminuir el desgaste, la profundidad y el ancho de la huella.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Gulzar, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, M. Varman, N. W. Zulkifli, R. A. Mufti y Z. Rehan, "Tribological performance of nanoparticles as lubricating oil additives" *J Nanopart Res*, Vol. 18,223,2016 pp. 1-25
2. N. A. Sánchez, M. Moreno, I.A. Martínez, E. E. Vera, E.O. Ávila (en prensa) "Comportamiento tribológico del bio-lubricante *Jatropha curcas* adicionado con nanopartículas de óxido de aluminio Al_2O_3 " Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica.
3. Y. Singh, A. K. Singh, A. Singla, A. K. Upadhyay, "Development and tribological characteristics of bio-based lubricant from *Jatropha curcas* oil" *Energy Sources* Vol. 39,16,2016 pp. 1725–1732
4. L. I. Farfan, E. A. Gallardo, M. Vite, J. R. Laguna, "Frictional Behavior of a Wet Clutch Using Blends of Automatic Transmission Fluid (ATF) and Biolubricant (*Jatropha* Oil) in a Pin-on-Disk Tester" *Tribology Transactions* Vol. 58,5 2015, pp. 941–946
5. P. L. Menezes, C. J. Reeves y M. R. Lovell, "Fundamentals of Lubrication", New York, Springer Science+Business Media, 2013, pp. 295-240.
6. W. Dai, B. Kheireddin, H. Gao y H. Liang, "Roles of nanoparticles in oil lubrication" *Tribology International*, Vol. 102, 2016 pp. 88-98
7. D. Jiao, S. Zheng, Y. Wang, R. Guan y B. Cao, "The tribology properties of alumina/silica composite nanoparticles as lubricant additives" *Applied Surface Science*, Vol. 257,2011 pp. 5720–5725
8. T. Luo, X. Wein, X. Huang, L. Huang y F. Yang, "Tribological properties of Al_2O_3 nanoparticles as lubricating oil additives" *CERAMICS INTERNATIONAL*, Vol. 40,4,2014 pp. 7143–7149
9. T. Luo, X. Wein, H. Zhao, G. Cai y X. Zheng, "Tribology properties of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{TiO}_2$ nanocomposites as lubricant additives" *CERAMICS International*, Vol. 40,2014 pp. 10103–10109
10. A. J. King, W. He, J. A. Cuevas, M. Freudenberger, D. Ramiamanana, I. A. Graham, "Potential of *Jatropha curcas* as a source of renewable oil and animal feed" *Journal of Experimental Botany*, Vol. 60,10, 2009 pp. 2897–2905
11. E. A. Gallardo, G. Lara, F. Nieto, A. Domínguez, A. Cruz, C. Hernández, E. Contreras, M. Vite, J. J. A. Flores "Thermal and tribological properties of *Jatropha* oil as additive in commercial oil" *International Journal Thermophys*, Vol. 38,54, 2017 pp1-13

DESARROLLO DE MATERIAL POLIMÉRICO ANTIMICROBIANO PARA USO DE CALZADO MÉDICO

Flora Beltrán Ramírez, Elizabeth Quintana Rodríguez, Ernesto Ornelas Amaro

Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC)
fbeltran@ciatec.mx

RESUMEN

A finales de diciembre del 2019, se detectaron los primeros casos de neumonía causados por el síndrome respiratorio agudo severo conocido como SARS-CoV-2 (COVID-19). Estos pacientes estuvieron vinculados epidemiológicamente a un mercado húmedo de animales en Wuhan, provincia de Hubei, China, y desde entonces, las infecciones por COVID-19 se han dispersado provocando una pandemia mundial. Este virus es altamente infeccioso y transmisible en poblaciones susceptibles, como por ejemplo en personas que padecen diabetes, hipertensión, etc. Se ha demostrado que la principal vía de propagación del COVID-19 es por medio del contacto persona a persona, a través de gotitas respiratorias de una persona asintomática o infectada con el virus, por lo que, la OMS ha recomendado seguir ciertas medidas de seguridad sanitarias como es el lavado frecuente de manos con jabón o gel antibacterial, distanciamiento social, uso de cubrebocas, entre otras. A pesar de esto, persisten los contagios y la alta tasa de mortalidad en diversas ciudades del mundo, lo que ha provocado que los hospitales hayan colapsado, por lo que es de vital importancia que el personal médico y de apoyo cuente con el equipo de seguridad especializado debido a la labor que realizan. A pesar de los protocolos de seguridad que se han instituido en los hospitales, miles de trabajadores de la salud se han infectado. Se ha comprobado, mediante un análisis de detección de COVID-19 que el virus se puede diseminar por los zapatos o cubrebocas, puesto que se pudo rastrear desde las salas de cuidados intensivos y urgencias hasta lugares como la farmacia donde hubo presencia de portadores de COVID-19. Por lo tanto, las suelas de los zapatos del personal médico podrían funcionar como un medio portador y diseminador de coronavirus SARS-CoV-2.

Debido a lo anterior, en este trabajo se seleccionó al poliuretano por ser uno de los polímeros comúnmente utilizados en la fabricación de suelas y a su vez, se incorporaron agentes antimicrobianos para evaluar su actividad antimicrobiana sin deteriorar las propiedades físico-mecánicas del polímero. Se elaboraron mezclas con el poliuretano, variando la concentración de los agentes antimicrobianos (0.1, 0.15, 0.2, 0.25 y 0.3%) y se obtuvieron placas mediante moldeo por compresión para la evaluación tanto de la actividad antimicrobiana como de las propiedades físico-mecánicas. De acuerdo a los resultados obtenidos, la mezcla con 0.3% de agente antimicrobiano presentó buena inhibición antimicrobiana y sus propiedades físico-mecánicas no fueron afectadas significativamente por la presencia de estos agentes antimicrobianos.

INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Wuhan, China se notificó un brote de neumonía el 29 de diciembre del año 2019 sin causa aparente y no fue hasta principios de enero del 2020 que se denominó como Síndrome Respiratorio Agudo Severo (SARS-CoV-2) y llamado comúnmente como COVID-19, el cual fue identificado a partir de muestras de hisopos de garganta realizadas por el Centro Chino para el Control y Prevención de Enfermedades. El virus se propagó rápidamente por diversas ciudades de Europa, por lo que, a finales de enero del 2020, la OMS declaró emergencia de salud pública internacional¹.

El virus se propaga principalmente a través de las gotículas de saliva o secreciones nasales que se generan cuando una persona infectada tose o estornuda. La mayoría de las personas infectadas por el COVID-19 presentan cuadros respiratorios de leves a moderados y se recuperan sin tratamiento especial. Las personas mayores o de edad avanzada, así como las que padecen afecciones médicas subyacentes, como enfermedades cardiovasculares, diabetes, enfermedades respiratorias crónicas o cáncer, tienen más probabilidades de presentar un cuadro grave o la muerte. Para prevenir la infección por el virus y detener su transmisión, la OMS ha establecido que la población a nivel mundial atienda las siguientes recomendaciones: lavado frecuente de manos con agua y jabón, uso de gel, distanciamiento social y uso de cubrebocas principalmente². Sin embargo, el número de

muerres causadas por COVID-19 a nivel mundial al 30 de julio del 2021 suman 4.2 millones aproximadamente y más de 197 millones de casos confirmados en todo el mundo³. Debido a esta situación, el sistema de salud tanto pública como privada ha colapsado por el aumento de pacientes infectados a nivel mundial. Ante la alta tasa de saturación de pacientes infectados, el personal y los sistemas de salud están desempeñando un papel vital en la lucha contra el COVID-19; por lo que se necesitan medidas especiales para protegerlos y apoyarlos, así como es de suma importancia garantizar la seguridad y la integridad del personal de salud y de apoyo.

Por otro lado, los trabajadores de la salud utilizan procedimientos para atender a pacientes infectados lo que puede generar aerosoles (cuando el virus se suspende en gotículas de menos de 5 micras), los cuales pueden estar suspendidos vía aérea durante media hora antes de descender y asentarse en diferentes superficies como plásticos, cartón y metales⁴. Por ejemplo, cuando un paciente ingresa con neumonía grave, por protocolo debe ser intubado y el personal médico puede recoger esas gotículas y otras gotas más grandes en su ropa, equipo de protección y éstas también podrían llegar al piso y con el movimiento, el virus puede llegar a ser diseminado por los zapatos o cubrebotas⁵ y contaminar otras áreas donde hay presencia de portadores de COVID-19⁶.

Dada la severidad de esta pandemia y la importancia de la prevención y protección contra COVID-19, es necesario contar con equipo que permita la inactivación y dispersión de la carga viral de este virus en centro hospitalarios por medio de equipo de seguridad de vanguardia y accesible para el personal médico que se encuentra en primera línea contra esta pandemia del siglo XXI.

Una alternativa es desarrollar materiales que puedan ser utilizados para la fabricación de calzado de uso médico con capacidad antimicrobiana con énfasis en la inactivación COVID-19 para prevenir nuevas infecciones por el movimiento en diferentes áreas del hospital.

En base a lo anterior, el poliuretano es un polímero muy versátil que puede transformarse en espumas flexibles y rígidas, elastómeros, entre otros. Son sintetizados a partir de la mezcla de un polioliol y un isocianato; y presentan las siguientes propiedades: óptima elasticidad y flexibilidad, resistencia a la abrasión y al corte, gran resistencia a los aceites minerales y grasas, buena barrera al oxígeno, ozono y luz UV, etc. Entre sus aplicaciones principales se encuentran: adhesivos, pinturas, aislante térmico en la industria de la construcción, equipo deportivo, la industria automotriz y suelas para calzado.

Y, por otro lado, se han identificado compuestos naturales que presentan buenas propiedades antimicrobianas y/o antivirales⁷⁻¹⁰. Estudios recientes han mostrado que el aceite esencial de limas (*Citrus limon*) y limones (*Citrus aurantifolia*) posee mejor inhibición antimicrobiana contra las bacterias Gram positivas (*Bacillus cereus*, *Enterococcus faecalis*, *Staphylococcus aureus*, *Staphylococcus epidermidis*, *Bacillus subtilis*, *Listeria monocytogenes* y *Micrococcus luteus*) que las negativas (*Pseudomonas aeruginosa*, *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis* y *Klebsiella pneumoniae*)¹¹. En el caso del aceite esencial de clavo de olor (*Syzygium aromaticum*) se atribuye su actividad antimicrobiana a la presencia de compuestos fenólicos¹², ya que estos compuestos pueden desnaturalizar a las proteínas y al mismo tiempo reaccionan con los fosfolípidos de la membrana celular, cambiando su permeabilidad y produciendo la muerte microbiana¹³. Entre los microorganismos afectados por extractos de *S. aromaticum* se encuentran *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis*, *Pseudomonas fluorescens*, *Serratia marcescens*, *Citrobacter freundii*, *Klebsiella pneumoniae*, *S. aureus* y *Proteus vulgaris*. Y la actividad antifúngica de este aceite esencial se debe principalmente al eugenol y abarca diversas especies de hongos y levaduras, por ejemplo: especies de *Candida* (principalmente *Candida albicans*), *Cryptococcus neoformans*, especies de *Aspergillus*, hongos aislados de *Onychomycosis* (infección de uñas), *Saccharomyces cerevisiae*, entre otros.

Debido a lo anterior, esta investigación se enfocó en el desarrollo de un material polimérico a base poliuretano con aceites esenciales de limón y clavo de olor, con la finalidad de que presentará buenas propiedades mecánicas, así como antimicrobianas, para ser utilizado en suelas de calzado médico.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

Para la obtención del poliuretano espumado se utilizaron los monómeros Voralast GL 857 (Polioliol) y Voralast GE 104 (Isocianato) de DOW. Se utilizaron extractos de plantas provenientes de cítricos (aceite esencial de limón mexicano de ESENCÍTRICOS) y de clavo (aceite esencial de clavo de AROMAS Y JABONES en León, Gto.) como agentes antimicrobianos.

Preparación de las formulaciones

El polioliol y el isocianato se colocaron en parrillas de calentamiento a 34°C y agitación constante durante 30 minutos. Posteriormente, los extractos de plantas (agentes antimicrobianos) se agregan al polioliol (ver tabla 1) y se mantienen a agitación constante por 10 minutos. Se agrega el polioliol al isocianato y se agita durante 1 minuto. La mezcla se vacía en una placa rectangular de 10 x 10 x 3 cm, la cual se coloca en una prensa hidráulica marca CARVER con 20 toneladas de presión durante 20 minutos. Es importante mencionar que la temperatura de las prensas de calentamiento fue de 40°C. Las placas obtenidas por compresión fueron cortadas para obtener pequeñas probetas para la evaluación de las propiedades mecánicas de cada una de las formulaciones elaboradas. A su vez, se cortaron círculos de 2.5cm para la evaluación de las propiedades antimicrobianas.

Tabla. Formulaciones elaboradas

Formulaciones	Poliol (g)	Isocianato (g)	Agentes antimicrobianos (%)
PU	25	15	---
M0.1			0.1
M0.15			0.15
M0.2			0.2
M0.25			0.25
M0.30			0.30

Propiedades Mecánicas de las Formulaciones

De acuerdo a la norma ASTM D638 se evaluaron la resistencia a la tensión, % de elongación y módulo en una máquina universal Instron 5565 a una velocidad de deformación de 50 mm/min.

Propiedades Antimicrobianas de las Formulaciones

Primero se inocularon en medio de cultivo líquido las bacterias a estudiar: *Escherichia coli* y *Staphylococcus. Aureus*. Después se agregan 100 µl del caldo de cultivo a la caja Petri con medio nutritivo. Se colocan en la caja Petri los círculos correspondientes a cada una de las formulaciones elaboradas y se mide el halo de inhibición 24 h después de la incubación.

RESULTADOS

Propiedades Mecánicas de las Formulaciones

En la tabla 2 se muestran los resultados de las propiedades mecánicas de las formulaciones estudiadas.

Se puede observar que la resistencia a la tensión, el % de elongación y el módulo disminuyen conforme aumenta la concentración de agentes antimicrobianos, es decir, el material va adquiriendo mayor flexibilidad, ya que los agentes antimicrobianos pueden estar actuando como plastificantes en el poliuretano. Cabe mencionar que los cambios en éstas propiedades nos son muy significativos.

Tabla 2. Propiedades mecánicas de las formulaciones estudiadas

Formulaciones	Resistencia a la tensión (MPa)	Elongación (%)	Módulo (MPa)
PU	6.0 ± 0.1	656 ± 0.5	18 ± 0.5
M0.1	5.6 ± 0.1	556 ± 0.5	16 ± 0.5
M0.15	5.2 ± 0.1	534 ± 0.6	15 ± 0.7
M0.2	5.0 ± 0.1	505 ± 0.9	15 ± 0.6
M0.25	4.5 ± 0.1	416 ± 0.1	14 ± 0.6
M0.30	4.0 ± 0.1	403 ± 0.8	13 ± 0.1

Propiedades Antimicrobianas de las Formulaciones

Los resultados obtenidos correspondientes a la actividad antimicrobiana se muestran en las figuras 1 y 2.

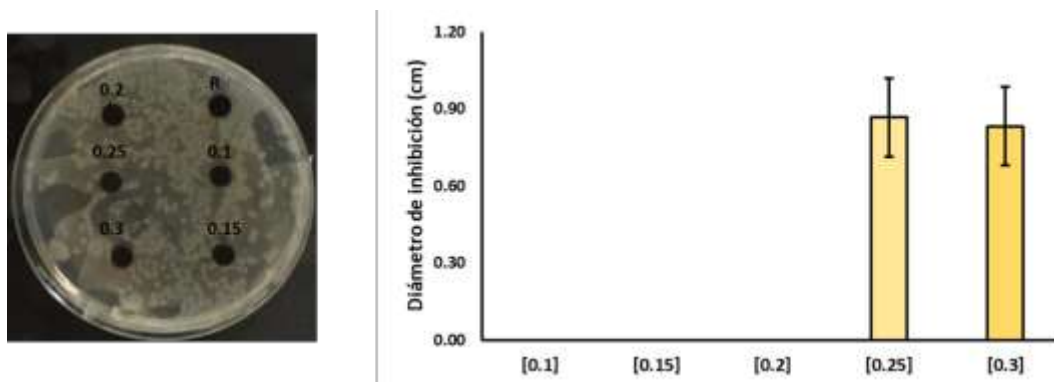


Figura 1. Efecto de extractos en el crecimiento de *Staphylococcus. Aureus*

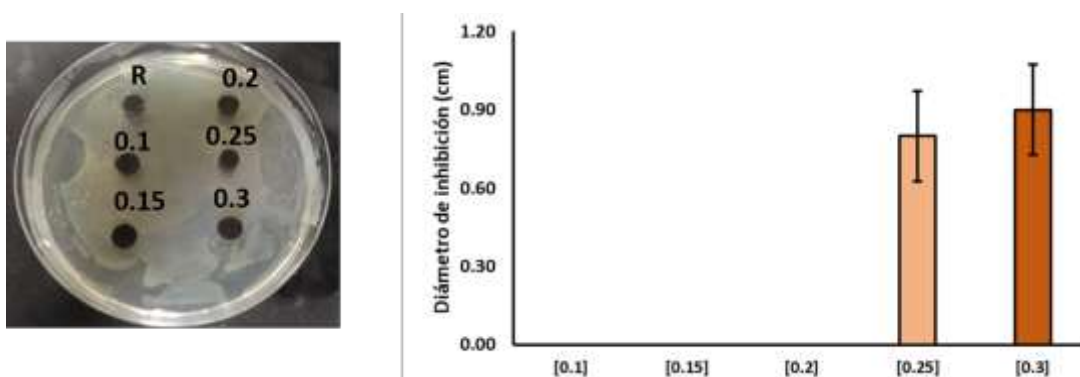


Figura 2. Efecto de extractos en el crecimiento de *Escherichia coli*

Se puede observar que el material de referencia y las formulaciones con bajas concentraciones de agentes antimicrobianos en ambos análisis no presentan inhibición antimicrobiana. Sin embargo, las formulaciones con concentraciones de 0.25 y 0.3% de agentes antimicrobianos tuvieron mayor efecto en la inhibición de ambas bacterias y de acuerdo a este comportamiento se puede determinar que las formulaciones a base de poliuretano y mezcla de extractos de limón y clavo de olor presentan buenas propiedades antimicrobianas y cumplen con el objetivo principal de este trabajo.

CONCLUSIONES

Los agentes antimicrobianos utilizados en este trabajo no interfieren con la reacción de polimerización del isocianato y el polirol para la obtención de poliuretano. Por otro lado, los agentes antimicrobianos pueden estar actuando como plastificantes en el poliuretano, debido al desempeño mecánico de las formulaciones estudiadas. Las formulaciones con 0.25 y 0.30% de agentes microbianos presentaron mayor inhibición antimicrobiana a *Staphylococcus. Aureus* y a *Escherichia coli* en comparación a las formulaciones con baja concentraciones de éstos agentes, por lo que, se comprueba que la mezcla de extractos naturales de limón y clavo de olor poseen actividad antimicrobiana y pueden ser utilizados en materiales poliméricos sin afectar en mayor proporción las propiedades mecánicas de éstos materiales.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Melián, "Detección de COVID-19 (SARS-CoV-2) Mediante la Saliva: Una Alternativa Diagnóstica poco Invasiva", Int. J. Odontostomato., Vol. 14, 3, 2020, pp. 316-320.

2. OMS, "Orientaciones para el público"., 2020.
3. A. Orús, "Número de personas fallecidas a causa del coronavirus en el mundo a fecha de 30 de julio de 2021, por país", Statista, 2020.
4. N. van Doremalen, "Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1", N. Engl. J. Med., Vol. 382, 16, 2020, pp. 1564-1567.
5. Z. H. Liu, "Identifying and creating pathways to improve biological lignin valorization", Renew. Sustain. Energy Rev., Vol. 105, 2019, pp. 349-362.
6. Z. D. Guo, "Aerosol and Surface Distribution of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Hospital Wards, Wuhan, China, 2020", Emerg. Infect. Dis., Vol. 26, 7, 2020, pp. 1586-1591.
7. S. T. Shah, "Surface Functionalization of Iron Oxide Nanoparticles with Gallic Acid as Potent Antioxidant and Antimicrobial Agents", Nanomaterials, Vol. 7, 306, 2017, pp. 1-17.
8. J. R. Weng, "Antiviral activity of Sambucus Formosana Nakai ethanol extract and related phenolic acid constituents against human coronavirus NL63", Virus. Res., Vol. 273, 2019, pp. 197767.
9. C. Roh, "A facile inhibitor screening of SARS coronavirus N protein using nanoparticle-based RNA oligonucleotide", Int. J. Nanomedicine, Vol. 2012, 7, 2012, pp. 2173-2179.
10. M. T. Islam, "Natural products and their derivatives against coronavirus: A review of the non-clinical and pre-clinical data", Phyther. Res., Vol. 34, 10, 2020, pp. 2471-2492.
11. O. A. Del Ángel, "Actividad Biológica de los Aceites Esenciales de Lima (*Citrus limon*) y Limón mexicano (*Citrus aurantifolia*)", Revicyt, Vol. 0, 2, 2019, pp. 1-28.
12. M. Rahnama, "Antibacterial effects of Myristica fragrans, Zataria multiflora Boiss, Syzygium aromaticum, and Zingiber officinale Rosci essential oils, alone and in combination with nisin on Listeria monocytogenes", Comp. Clin. Path., Vol. 21, 2012, pp. 1313-1316.
13. K. Nonsee, "Antimicrobial activity and the properties of edible hydroxypropyl methylcellulose based films incorporated with encapsulated clove (*Eugenia caryophyllata Thunb.*)", Vol. 18, 4, 2011, 1531-1541.

PROPUESTA DE ESTUDIO DE MERCADO EN LA INNOVACIÓN, CALIDAD Y SUSTENTABILIDAD PARA EL DISEÑO DE UN TABICÓN DE ROCA SÍLICEA Y MINERALES PARA LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS DE INTERÉS SOCIAL EN EL MUNICIPIO DE IRAPUATO, GUANAJUATO.

Liliette Estefanía López Galván¹, Ana Ruth Chávez Luévano² & Juan Carlos Soto Patiño¹.

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI).

¹lis17111467@irapuato.tecnm.mx; ²lis17111648@irapuato.tecnm.mx;

¹juan.sp@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Hoy en día, se considera a la construcción como un sector en auge que también se preocupa por la sustentabilidad, esto deber ser eligiendo el sistema constructivo más óptimo y los materiales de construcción adecuados.

La elaboración de los materiales comúnmente utilizados para la construcción ha contribuido a la contaminación ambiental, debido a la utilización de residuos tóxicos, dando como resultado una problemática social, pues este factor ocasiona consecuencias graves en la salud de tanto las personas que producen los materiales, como para la población de las comunidades cercanas a las industrias de fabricación de estos. Es por esto, que se presenta el siguiente objetivo: determinar los impactos en contaminación ambiental, costos de producción y aceptación del producto por el cliente del desarrollo de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad para la construcción de vivienda de interés social en la plaza de Irapuato, Guanajuato, México.

Los objetos de estudio fueron materiales empleados comúnmente para la construcción de viviendas de interés social en Irapuato, Guanajuato; con una muestra no probabilística, por objeto tipo. El tipo de estudio es cuantitativo, prospectivo, observacional, descriptivo, no experimental y transversal. Los instrumentos que se emplearon fueron la encuesta de diagnóstico para análisis de mercado y el informe de ensaye de pruebas físico-químicas del tabicón, avalado ante el laboratorio CIIAN México, ubicado en carretera Irapuato-Salamanca.

Las encuestas se aplicaron vía Forms con registro en línea de las respuestas, mismas que se analizaron mediante estadística descriptiva y la correlación de Pearson con apoyo del software SPSS v.21.

En base a las respuestas obtenidas en las encuestas realizadas se puede decir que, la mayoría de la población interesada en la construcción de viviendas de interés social en la plaza de Irapuato Gto., prefiere un material de construcción que sea innovador, elaborado a base de materiales que le proporcionen calidad de acabado a sus edificaciones y sustentabilidad, que económicamente sea accesible, además que sea amigable con el medio ambiente.

Así mismo se realizó una comparación con los materiales de construcción tradicionalmente utilizados en la región con el prototipo de tabicón de roca sílicea y minerales, en base al análisis físico-químico realizado se puede concluir que no emite gases contaminantes ni partículas suspendidas totales al medio ambiente durante su proceso de producción, resaltando entre sus características que cuenta con una resistencia de compresión de 69 Kg/cm², es ligero, con resistencia al fuego de 1200°C durante una hora y económico en sus materias primas, lo cual influye en una mayor aceptación por el cliente con respecto a los principales productos de construcción en el mercado meta.

INTRODUCCIÓN

En México, debido a los problemas económicos que atraviesa actualmente y que ha tenido durante mucho tiempo, el costo de la vivienda es cada día más oneroso, por lo que ha creado una gran escasez de la misma.

De acuerdo con los datos obtenidos del Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE), se encuentran registradas 9 463 ladrilleras, siendo un sector que genera 52 315 empleos en el país (**Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), 2019**).

Hoy en día, se considera a la construcción como un sector en auge que también se preocupa por la sustentabilidad, esto deber ser eligiendo el sistema constructivo más óptimo, los materiales de construcción adecuados, realizando estudios de impacto ambiental y económicos, gestionando los

recursos en un proceso de construcción saludable y moderno. Además, velando por el bienestar y la salud de las personas que habitan en los alrededores.

Actualmente en la entidad de Guanajuato se encuentran aproximadamente 2 184 hornos ladrilleros distribuidos en 38 de los 46 municipios que conforman este estado; sin embargo, existen hornos que no están en los registros de ninguna instancia. Dicha cifra lo posiciona como el tercer estado a nivel nacional que cuenta con más cantidad de hornos productores de ladrillos, solamente por debajo del estado de Puebla y de Jalisco. **(Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato, 2013)**

Los principales problemas ambientales que enfrenta uno de los municipios que conforma la zona bajío del estado de Guanajuato, llamado Irapuato, se refieren a la calidad del agua y a la contaminación del aire. Principalmente el problema que más afecta a esta zona es la contaminación del aire, ya que ésta se produce por diferentes causas como es la circulación de vehículos, incendios, altos niveles de concentración de combustóleo en procesos productivos y la producción de los hornos ladrilleros. Este último aspecto no ha sido considerado de manera suficiente, a pesar de su relevancia en la zona bajío del Estado. La elaboración de los materiales comúnmente utilizados para la construcción en esta entidad, desde hace mucho tiempo ha contribuido a la contaminación ambiental, debido a la utilización de los residuos tóxicos dando como resultado una problemática social, pues este factor ocasiona consecuencias graves en la salud de tanto las personas que producen los materiales como para la población de las comunidades cercanas a las industrias de fabricación de estos **(Berumen-Rodríguez AA, 2021)**.

Otra cuestión que se presenta es la actividad relacionada con la satisfacción del cliente con los materiales de construcción comercializados en el mercado de esta zona, ya que los precios logran ser accesibles al público, pero los productos no brindan la calidad necesaria en las edificaciones que solicita el cliente. En la actualidad las construcciones ecológicas, por su innovación y avance tecnológico resultan ser costosas y poco consideradas, ya sea por la falta de conocimiento de esto y la cultura que ha influido en la edificación de viviendas de interés social en la zona de Irapuato, Guanajuato.

El presente trabajo trata el estudio que interviene en la elaboración, análisis, interpretación y evaluación de un proyecto relacionado con el diseño de un material de construcción a base de roca silíceo, minerales y otros componentes, diseñado para la creación de viviendas de interés social en el municipio de Irapuato, Guanajuato, gracias a esto será posible determinar su viabilidad, factibilidad técnica y económica, mediante la propuesta de un análisis de mercado. Cabe mencionar que el tabique fue reforzado por medio de las distintas pruebas científicas de calidad y resistencia para obtener resultados óptimos al momento de la utilización del material en cuestión.

La innovación de este material de primer uso en la industria de la construcción, es uno de los principales motivos de su diseño, ya que cuenta con características fuera de lo que comúnmente se presenta en los materiales de construcción utilizados en el municipio de Irapuato. Además de brindar resistencia, durabilidad, la sustentabilidad que brinda por no emitir gases contaminantes al medio ambiente, así como los precios accesibles que maneja en la producción y por consecuente en la venta.

Atendiendo a lo expuesto, se presenta la siguiente pregunta de investigación: ¿Cuáles son los impactos en contaminación ambiental, costos de producción y aceptación del producto por el cliente del desarrollo de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad para la construcción de vivienda de interés social en el municipio de Irapuato, Guanajuato?

TEORÍA

Estudio de Mercado.

Un estudio de mercado permite conocer las características clave de la audiencia y competencia antes del lanzamiento de un servicio o producto. Es necesario y de gran importancia para un emprendedor o un empresario, que para poner en marcha un nuevo proyecto empresarial, se debe realizar inicialmente una investigación comercial, es decir, un estudio de mercado para lograr una mejor comprensión de la situación actual y las necesidades del mercado, para así poder enfocar el negocio o proyecto y tener mayores probabilidades de éxito. **(Fernández, 2017)**

El objetivo de un estudio de mercado es determinar cuál es el tamaño de la demanda del servicio o producto considerando, que puede esperarse a ser atendida por el proyecto al entrar en operación. Se considera como una iniciativa empresarial, que se encarga principalmente de formar una idea

sobre la viabilidad comercial de un producto o servicio. Este estudio se divide en tres puntos importantes; el primero de estos, es el llamado análisis del consumidor, donde se estudia el comportamiento del consumidor, detectando sus necesidades y la forma de satisfacerlas, averiguar sus hábitos de compra, lugares que frecuenta para adquirir ciertos productos o servicios, preferencias y momentos claves de compra; el objetivo de esta parte es aportar los datos obtenidos para que permitan mejorar las técnicas de mercado para la venta del producto o servicio y así poder cubrir la demanda no satisfecha por parte de los consumidores.

El segundo punto a considerar es que para realizar el análisis de la competencia es necesario primeramente establecer quiénes son los competidores o de otra manera, definir quién es la competencia, cuántos son y sus respectivas ventajas competitivas. El propósito principal de esta fase es estudiar el conjunto de empresas, productos o servicios con las que se comparte el mercado. En este análisis se recomienda hacer una plantilla con los competidores más importantes teniendo en cuenta varios aspectos como es la marca, descripción del producto o servicio, precios, estructura, procesos, recursos humanos, costos, tecnología, imagen, proveedores, entre otros puntos que se pueden considerar. A partir de esto, se podrá determinar si es factible convivir con la competencia del mercado actual al que se pretenda ingresar.

El último punto importante en este tipo de estudio es la estrategia, la cual es imprescindible y logrará marcar el rumbo de la empresa o del proyecto. Toda empresa o negocio puede optar por dos estrategias posibles y las más comunes, las cuales son el liderazgo en costo y marcar una diferenciación. El liderazgo en costo consiste en mantenerse competitivo a través de aventajar a la competencia a lo que refiere en tema de costos, y la diferenciación consiste en crear un valor agregado sobre el producto ofrecido para que éste sea percibido en el mercado como único, ya sea por su diseño, imagen, la atención a los clientes, entrega a domicilio, entre otros elementos que pueden marcar una diferencia del producto o servicio con los establecidos en la competencia.

Factibilidad.

Según Varela, R., dice que “se entiende por factibilidad las posibilidades que tiene de lograrse un determinado proyecto” (Varela, 2001). El estudio de factibilidad es el análisis que realiza una empresa para determinar si el negocio o proyecto que se propone será bueno o malo, y cuáles serán las estrategias que se deben desarrollar para que sea exitoso.

También, el Diccionario de la Real Academia Española define la factibilidad como la “cualidad o condición de factible” y el concepto de factible significa “que se puede hacer” (Real Academia Española, 2020).

Viabilidad.

Según la RAE (Real Academia Española), define viabilidad como la “cualidad de viable”, siendo el concepto de viable como “Asunto que, por sus circunstancias, tiene probabilidades de poderse llevar a cabo” (Real Academia Española, 2020).

Otra manera de entender este concepto es la posibilidad que tiene un proyecto para ser ejecutado y operado, de tal manera que cumpla con su objetivo. Se relaciona con principios de calidad, eficiencia y pertinencia de un proyecto (Baca Urbina, 2013).

Materiales de Construcción.

La actividad de construir consiste en transformar e integrar materias primas y principalmente productos semimanufacturados en un bien tangible, que en forma genérica podría denominarse como obra de ingeniería y/o arquitectura. La transformación se realiza por medio de una serie de operaciones relativamente complejas, por lo cual la actividad constituye una industria (Quintal, 2008).

Toda edificación está elaborada con materiales de construcción, de modo que, estos materiales constituyen la base de cualquier construcción, de esto se deriva su importancia funcional. Al emplear un nuevo material de construcción adoptado al mercado éste debe responder a las exigencias estéticas y funcionales a las que una edificación puede quedar sujeta. Dependiendo de las exigencias estéticas y funcionales que el material posee, debe estar ligado por la cualidad de la fuerza, color, forma, aspereza de la superficie, etcétera; esto en medida en que es procesado y su debida aplicación en la construcción.

En la clasificación de los materiales de construcción utilizados específicamente en el diseño del tabicón como elemento principal en esta propuesta de estudio de mercado, se encuentran las piedras naturales; éstas se utilizan habitualmente en la construcción actual. Para esto, es necesario conocer

sus propiedades y su especial comportamiento, así como su clasificación. Las piedras naturales se encuentran en la naturaleza y se pueden denominar rocas simples o compuestas, según estén formadas por minerales iguales o distintos (VV., 2007).

Dentro de la clasificación de piedras naturales se encuentran las rocas volcánicas, este tipo de rocas suelen tener una apariencia vítrea y pueden derivarse cuatro grupos, las traquitas, diabasas, basaltos y las tobas volcánicas.

Es importante mencionar que el uso de las rocas volcánicas en la construcción tiene un especial interés. Las tobas volcánicas constituyen una serie de piedras que tienen una apariencia algo porosa, procedente de la solidificación de las lavas de erupciones volcánicas. De hecho, en la actualidad este tipo de rocas suelen ser útiles en la preparación de algunos hormigones utilizados en la construcción de edificaciones. Al pasar por un proceso químico estas rocas volcánicas tienen una gran aplicación por su uso como materiales de aislamiento (VV., 2007). Cabe destacar que, este tipo de roca volcánica resulta ser uno de los componentes principales en la elaboración del elemento de construcción denominado tabicón en el diseño de esta propuesta de estudio de mercado.

Otro tipo de piedras naturales son las rocas sedimentarias, y se clasifican en tres tipos principales, los cuales son la sedimentación mecánica, sedimentación química y sedimentación biológica, de igual manera cada clasificación se subdivide. La sedimentación mecánica se subdivide en incoherentes o disgregadas, semidisgregadas y compactas o coherentes; la sedimentación química se clasifica por desecación y por insolubilización; por último, la sedimentación biológica se considera por categoría animal o vegetal (VV., 2007).

Como se menciona anteriormente, dentro de la sedimentación mecánica se encuentran las rocas compactas o coherentes, las cuales se constituyen por granos muy finos de arenas de cuarzo, conglomerados por cementos naturales muy diversos, o también por arenas silíceas unidas por cementos calizos o arcillosos, y tiene diferentes variedades, entre ellas se encuentra la arenisca silícea, que por lo general suele tener un color gris o blanco, posee una gran dureza y resistencia a los agentes atmosféricos, por lo que se puede emplear para cualquier clase de obra. En cuestión a esto, la arenisca silícea resulta ser un elemento relevante en el diseño del tabicón mencionado anteriormente.

Además de estas materias primas utilizadas en la elaboración este elemento de construcción, se encuentran los minerales, los cuales entran en la categoría de piedras naturales y son llamados micas, ya que los que se emplean en el diseño del tabicón están compuestos de silicatos de hierro o magnesio. Tienen una estructura laminar y suelen presentar un brillo metálico de color dorado.

Características físico-químicas de los materiales de construcción.

El estudio de los materiales de la construcción consiste en conocer las propiedades inherentes a cada uno, la utilidad actual y posible de ellos, sus condiciones como aislantes, ya sea de humedad, sonido, temperatura, resistencia a agentes atmosféricos, fuego, posibilidades de aumentar las condiciones de las estructuras resistentes, etcétera. (Pasman, 1997)

Es por esto que, las propiedades físicas de los materiales de construcción permiten la comprensión de las particularidades de cada material, diferenciar y prever, en cierta manera, el posible comportamiento de los mismos y evaluar las posibilidades, aptitudes y limitaciones de cada uno de ellos (Ros McDonnell, 2010).

Normalización y normas técnicas de pruebas físico-químicas.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) ha definido la normalización como el proceso de formular y aplicar reglas con el propósito de establecer un orden en una actividad específica, para beneficio y con la colaboración de todos los interesados y en particular, para la obtención de una economía óptima de conjunto, respetando las exigencias funcionales y de seguridad. Debe basarse en resultados ciertos, obtenidos por la ciencia, la técnica y la experiencia; debe fijar las bases, no solamente para el presente, sino también para el desarrollo futuro y debe estar de acuerdo con el progreso. En México la normalización se plasma en las Normas Oficiales Mexicanas (NOM) que son de carácter obligatorio, elaboradas por Dependencias del Gobierno Federal y las Normas Mexicanas (NMX) que son de ámbito voluntario, promovidas por la Secretaría de Economía y el sector privado, a través de los Organismos Nacionales de Normalización, conocidos como ONN. (Secretaría de Economía, 2016).

Las normas técnicas en el ámbito de la construcción son normas que contienen los requisitos mínimos para el análisis, diseño y construcción de estructuras. Estas normas son las disposiciones

técnicas que fijan los requisitos técnicos mínimos para el diseño y construcción de todo tipo de edificaciones con las especificaciones y excepciones que en ellas se indican, para asegurar el buen funcionamiento, accesibilidad, habitabilidad, higiene, servicios y acondicionamiento ambiental y, así como de la seguridad estructural (**Gobierno de la Ciudad de México, 2020**). Además, están dispuestas por las Normas Oficiales Mexicanas (NOM), y se expiden conforme a la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en materias relacionadas con los procesos, métodos materiales e instalaciones.

Existen diferentes tipos de normas para los materiales de construcción, como son las normas de ensayo, las de especificaciones y las de cálculo. Las normas de ensayo son muy utilizadas, ya que en ellas se establecen los requerimientos básicos para la realización de un ensayo de laboratorio, éste puede contener los objetivos, especificaciones de los aparatos y utensilios, materiales y reactivos, la técnica operatoria, y la manera de expresión de los resultados. Las normas de especificaciones, como su nombre lo indica, brinda las especificaciones técnicas que debe cumplir un determinado material o producto.

Dentro de estas normas, se considera relevante mencionar que las normas de ensayo que son referencia en este estudio, son las siguientes, la Norma NMX-C-037-ONNCCE-2013 que consiste en la determinación de la absorción total y la absorción inicial de agua en bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, la Norma NMX-C-038-ONNCCE-2013 que trata acerca de la determinación de las dimensiones de bloques, tabiques o ladrillos y tabicones, y la Norma NMX-C-307-1-ONNCCE-2016 que se refiere a la resistencia al fuego de elementos y componentes. Puesto que éstas fueron aplicadas en el laboratorio al momento de la realización de las pruebas físico-químicas.

PARTE EXPERIMENTAL

Hipótesis.

La disminución de la contaminación ambiental y del costo de producción, así como la aceptación del producto por el cliente son los impactos del desarrollo de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad para la construcción de vivienda de interés social en la plaza de Irapuato, Guanajuato, México.

Sujetos u objetos de estudio.

Los objetos de este estudio son los materiales empleados comúnmente para la construcción de edificaciones, algunos de éstos clasificados como materiales cerámicos.

Tipo de muestro.

El muestreo que se realizó fue de tipo no probabilístico, por objeto tipo.

Tipo de Investigación.

Paradigma: Cuantitativa.

Tiempo: Prospectivo.

Papel del investigador: Observacional.

Alcance: Descriptivo.

Diseño: No experimental, transversal.

Variables de estudio.

1) Variable Independiente. Material de construcción.

Definición operacional: Son los materiales para el desarrollo de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad.

2) Variables Dependientes.

Emisión de gases contaminantes.

Definición operacional: Es la cantidad de litros de gases emitidos en el proceso de producción del tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad.

Costo de producción.

Definición operacional: Es el costo neto del proceso de elaboración de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad en relación con productos afines.


Instrumento aplicado.

A) Lista de cotejo para el registro de información.

Se realizó una lista de cotejo para el registro de la información obtenida por las pruebas realizadas por el laboratorio CIIAN México de Cementos Cruz Azul, ubicado en carretera Irapuato-Salamanca, donde se realizaron ensayos a tres muestras iguales del tabicón de roca sílicea y minerales para

medir su resistencia de compresión, absorción inicial de líquidos, resistencia térmica para tener como resultado el punto de ebullición.

A continuación, se presenta el informe de ensaye del tabicón brindado por el Laboratorio CIAN México, con la autorización de los encargados del laboratorio y el ingeniero a cargo de la realización y supervisión de las pruebas (Ilustración 1).



Informe de Ensaye de Block y Tabicón a la Compresión

Cliente: Tabicón roca sílicea y minerales
 Atención: Contador Jesús Ibarra e Ing. Fermin Canul
 No. de informe: IRA PF-006/21 Fecha de informe: 06/04/2021
 No. de muestra: PF008 Fecha de muestreo: 06/04/2021 Fecha de elaboración: 01/03/2021
 Edad para ensayo: 36 Fecha de ensaye: 06/04/2021

Identificación de especimen	Datos del ensaye			
	PF008-1	PF008-2	PF008-3	Promedio
Largo (cm)	25	25	24.8	24.9
Ancho (cm)	12.5	12.5	12.3	12.43
Altura (cm)	15	15	14.8	14.93
Resistencia (Kg/cm ²)	77	61	69	69
Resistencia MPa	8	6	7	7
% Resistencia (Kg/cm ²)	128%	99%	115%	114%
Área de huecos (cm ²)	N/A	N/A	N/A	N/A
Peso (kg)	3.460	3.400	3.375	3.411
Absorción inicial	N/A	N/A	N/A	N/A

Referencia: NMX-C-037-0NNCCE-2013, NMX-C-038-0NNCCE-2013.

Procedencia: Irapuato Tipo de cemento: CPC 40 Tipo de Pieza: Tabicón
 Marca de la pieza: Tabicón Tipo T-012.5 Dimensiones de catálogo: 12.5X25X15 Uso (FC): 60

Observaciones

Prueba realizada a tres muestras del elemento durante aproximadamente un mes. La muestra se realizó sin un procedimiento formal, por lo que no fue posible la expedición del certificado de dicha prueba.

*Este informe NO puede ser reproducido, ya sea en forma parcial o total. *Este informe solo afecta a las muestras citadas ensayadas.

Ilustración 12. Informe general del ensaye de pruebas físico-químicas aplicado al tabicón de roca sílicea y minerales, brindado por el Laboratorio CIAN México.

B) Cuestionario.

Las encuestas que se realizaron fueron aplicadas por vía Google Forms, con registro en línea de las respuestas, mismas que se analizaron mediante el apoyo del software SPSS v.21.

Estas encuestas se aplicaron a 35 personas aproximadamente del municipio de Irapuato, Guanajuato, y fue diseñado basándose en el instrumento utilizado en el trabajo titulado “Análisis de factibilidad para la implementación de una fábrica de ladrillos para la construcción” por Guillen C. Hernán y Sempértegui L. Guillermo (**Guillen C., 2011**), así como de la investigación llamada “Investigación de mercado para determinar la viabilidad de una Nueva marca de producto de la Empresa Adriana Santacruz para los Estratos medio y alto de Bogotá”, por Juan Sebastián Santacruz

(Santacruz, 2011). Generando el siguiente cuestionario para emplearse como instrumento de diagnóstico para el análisis de mercado para el tabicón de roca silíceo y minerales.

INSTRUMENTO DE DIAGNÓSTICO PARA ANÁLISIS DE MERCADO PARA MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN.

Este instrumento fue realizado por alumnas de Ingeniería en Gestión Empresarial para acreditar proyecto de tesis, con el fin de diseñar un análisis de mercado, comparando un prototipo de material de construcción a base de roca silíceo y minerales con los demás productos actuales en el mercado del sector de construcción en el municipio de Irapuato, Guanajuato.

INFORMACIÓN GENERAL DE LOS ENCUESTADOS.

Género.

- Mujer
- Hombre
- Prefiero no decirlo

Edad.

- 18 a 25 años
- 25 a 35 años
- 35 a 50 años
- 50 a 60 años
- Más de 60 años

EXPERIENCIA PREVIA DEL CLIENTE.

1. ¿Ha realizado construcción de vivienda en los últimos dos años?

SI NO

Si su respuesta es afirmativa continúe con esta encuesta.
Si su respuesta fue negativa, termine la encuesta.

2. ¿En los últimos dos años cuanto ha construido?

- MUCHO
- POCO
- NADA

3. ¿En el último año cuántos m² (metros cuadrados) de construcción ha realizado?

4. ¿Cuántos ladrillos o tabiques utilizó en su última construcción?

ASPECTOS EN LA DECISIÓN DE COMPRA.

5. En su construcción, ¿Prefiere ladrillos fabricados artesanalmente o industrializados?

Artesanalmente Industrializados

6. ¿Cuáles son los aspectos que principalmente influyen en su decisión de compra para este material de construcción?

Precio Dimensiones
Dureza Calidad de acabado

7. De los aspectos anteriores que usted seleccionó ¿En qué orden influyen en su decisión de compra ? Numérelos, por favor.

DIMENSIONES DE LOS PRODUCTOS.

8. Especifique las dimensiones de ladrillos o tabiques para construcción de muros divisorios y bardas perimetrales que prefiere en sus edificaciones.

<input type="checkbox"/>	
<input type="checkbox"/>	20x30x10
<input type="checkbox"/>	20x30x15
<input type="checkbox"/>	20x30x7
<input checked="" type="checkbox"/>	20x40x10
<input type="checkbox"/>	20x40x15
<input type="checkbox"/>	OTRA DIMENSION
<input type="checkbox"/>	NINGUNO

ACEPTACIÓN POR EL CLIENTE.

Los reactivos deberán ser respondidos con las siguientes ponderaciones en base a la escala de Likert.

Reactivos	5 Totalmente de Acuerdo	4 de Acuerdo	3 Indeciso	2 en Desacuerdo	1 Totalmente en Desacuerdo
Presentación del producto.					
Que el producto se muestre al cliente en físico.					
Que se muestre el producto de manera digital en una página web o catálogo online.					
Tiempo de entrega del producto.					
El tiempo de entrega de pedidos de tabiques por parte del fabricante debe ser de acuerdo a la necesidad del cliente.					
Los requerimientos del tabique se deben de recibir en su construcción dentro de márgenes de tiempo adecuados.					
Atención al cliente.					
Recibir promociones y descuentos, que se le tengan en calidad de cliente de este producto.					
Recibir preferentemente una atención personalizada a cada cliente.					
Acudir a un autoservicio dedicado a la venta de materiales de construcción.					
Contar con la opción de compra de un nuevo tabique para construcción, que sea innovador y elaborado ecológicamente en su ciudad.					
La información sobre este producto sea recibida por mensaje en la página web.					
La información sobre este producto sea recibida por llamada telefónica.					

La información sobre este producto sea recibida físicamente al acudir al centro de compra.					
Calidad del producto					
Considera que es la calidad del tabique convencional, elaborado a base de cemento con arena la que hace una construcción durable y resistente.					
Considera que es la calidad del tabique de arcilla o adobe la que hace una construcción durable y resistente.					
Considera que la calidad de un nuevo producto de construcción podría ser mejor que los convencionales, si es un material a base de roca silícea y minerales.					

RESULTADOS

Para la hipótesis “la disminución de la contaminación ambiental y del costo de producción, así como la aceptación del producto por el cliente son los impactos del desarrollo de un tabicón a base de roca mineral que sea innovador y brinde sustentabilidad para la construcción de vivienda de interés social en la plaza de Irapuato, Gto, México”, se obtuvieron los siguientes resultados:

a) Características físico-químicas del material de construcción

Con relación a las características físico-químicas del tabicón a base de roca silícea y otros elementos, Silicato de Calcio (Ca_2SiO_4), Silicato de Sodio (Na_2SiO_3), en mezcla con minerales como de Pirita molida (FeS_2), mixtura de Piedra Caliza, Arcilla y mineral de Hierro, es decir Cemento Portland (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3). Puesto a secado al aire libre y sometido a pruebas físico-químicas de resistencia de compresión, absorción inicial de líquidos, resistencia térmica (punto de ebullición), especificaciones métricas largo, ancho y altura del elemento, además de su peso en kilogramos.

A lo que se obtuvieron los siguientes indicadores en comparación con los puntos de referencia de acuerdo con las Normas Mexicanas ONNCCE, especificaciones del laboratorio y de los materiales que se utilizan regularmente en el sector de la construcción en el municipio de Irapuato (Tabla 1).

Tabla 1. Lista de cotejo para el registro de información de indicadores en comparación de los datos de referencia.

Identificación del espécimen	Punto referencia (Línea estándar)	Datos de ladrillo rojo (arcilla cocida)	Datos de bloque convencional (cemento con arena)	Datos de tabicón (roca silícea y minerales)
Largo (cm)	40.0	24.0	40.0	25.0
Ancho (cm)	20.0	12.0	20.0	12.5
Altura (cm)	10.0	6.0	15.0	15.0
Resistencia (Kg/cm^2)	$35 \text{ kg}/\text{cm}^2$	$17.25 \text{ kg}/\text{cm}^2$	$90 \text{ kg}/\text{cm}^2$	$69 \text{ kg}/\text{cm}^2$
Absorción inicial	25%	5.67%	15%	N/A
Peso (kg)	9.50	3.80	12.7	3.41
Punto de fusión ($^{\circ}\text{C}$)	1500°C	$>1050^{\circ}\text{C}$	$>1250^{\circ}\text{C}$	$>1200^{\circ}\text{C}$

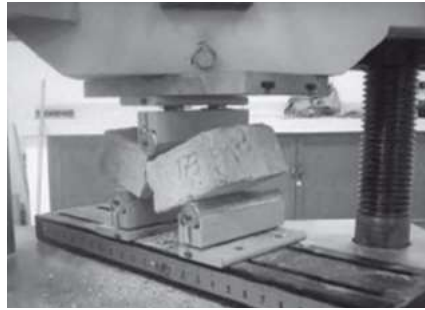


Ilustración 13. Prueba realizada en prensa para ensayo de compresión por laboratorio CIAN México, aplicada al tabicón de roca silícea y minerales.

Se puede decir que al realizar una comparación de los indicadores con los resultados de las pruebas físico-químicas aplicadas al tabicón de roca silícea y minerales, este material resulta tener las medidas de 25.0 centímetros de largo, por 12.5 centímetros de ancho y 15.0 centímetros de altura, teniendo una figura de prisma rectangular, la cual es utilizada en moldes para materiales de construcción, ya sea para ladrillo, tabique, block o tabicón. Presenta una resistencia de compresión de 69 kg/cm^2 , sobrepasando la línea estándar de resistencia de compresión aceptable para los materiales de construcción, quedando en el punto medio entre la resistencia que brinda un ladrillo de arcilla cocida o arcilla roja, siendo de 17.25 kg/cm^2 , por mencionar que la resistencia de este material es muy irregular; y la de un block convencional elaborado de cemento con arena, la cual es de 90 kg/cm^2 .

Asimismo, teniendo como resultado que no presenta una absorción inicial de líquidos como los demás materiales que se utilizan en la zona, por las diferentes propiedades de algunas de sus materias primas con las que está realizado.

Es importante mencionar que las pruebas físico-químicas que se realizaron al prototipo de tabicón elaborado de roca silícea y minerales se compararon ciertos indicadores de los materiales que son comúnmente comercializados en el mercado del municipio ya mencionado. Además, de que estas pruebas estuvieron bajo las indicaciones y métodos de ensayo indicados en la normativa ONNCCE (Organismo Nacional de Normalización y Certificación de la Construcción y Edificación) y en manual de laboratorio CIAN México de Cementos Cruz Azul.

b) Contaminación

En la elaboración de ladrillos rojos y convencionales, su proceso de producción implica el secado a base de hornos ladrilleros que se nutren por diferentes combustibles, como son: Tarimas, madera, aserrín, residuos de tronco de palma, residuos de cáscara de coco, hojarasca, textiles, plásticos, llantas, en conjunto de una variedad de desechos ya sean de origen orgánico o inorgánico.

Tabla 2. Contaminantes producidos por la fabricación de los materiales en hornos ladrilleros, en el municipio de Irapuato, Guanajuato.

Contaminante	Factor de emisión Ladrillo rojo		Factor de emisión bloque convencional		Factor de emisión tabicón roca silícea y minerales	
	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable	Concentración y tiempo promedio	Frecuencia máxima aceptable
Ozono (O ₃)	0.11 ppm (1 hora) (216 µg/m ³)	Ninguna vez al año	---	---	No produce	No produce
	0.08 ppm (8 horas)	Período de 8 horas	----	----	No produce	No produce
Monóxido de carbono (CO)	11 ppm (8 horas) (12595 µg/m ³)	1 vez al año	34.11 %	49.85 ton/año	No produce	No produce
Dióxido de azufre (SO ₂)	0.13 ppm (24 horas) (341 µg/m ³)	1 vez al año	0.31 %	0.46 ton/año	No produce	No produce
Dióxido de nitrógeno	0.21 ppm (1 hora) (395 µg/m ³)	1 vez al año	2.03 %	2.96 ton/año	No produce	No produce
Dióxido de carbono (CO ₂)	29.15 % Kg CO ₂ eq.	1 vez al año	63.11 Kg/m ²	1 vez al año	No produce	No produce
Partículas suspendidas totales (PST)	210 µg/m ³ (24 Horas)	1 vez al año	35 µg/m ³	Período de 24 horas.	No produce	No produce
Partículas con diámetro aerodinámico equivalente igual o menor a 10 micrómetros (PM ₁₀)	120 µg/m ³ (promedio de 24 horas)	1 vez al año	29.19 %	39.73 ton/año	No produce	No produce

Algunos datos no fueron proporcionados en el Inventario Estatal de Contaminantes Criterio y Precursores (IECC&P) por la Secretaría de Medio Ambiente y Ordenamiento Territorial del Estado de Guanajuato, por la producción de ladrillos de arcilla cocida o arcilla roja y de bloques convencionales.

En atención a que la elaboración de la mezcla y el proceso de secado se realizan en condiciones ambientales, sin mediación de combustible, el tabicón a base de roca silícea y mineral no emite gases tóxicos como los emitidos por el ladrillo de arcilla roja y convencional.

c) Costos

Tabla 3. Costos de producción de los materiales de construcción utilizados en Irapuato.

Tipo de material del tabicón	Costo de producción (Pesos mexicanos)
Tabicón de roca silícea y minerales	\$ 4.20
Adobe	\$ 5.20
Bloque convencional (material)	\$ 5.40
Ladrillo rojo (arcilla roja)	\$ 2.40

Se realizó una entrevista indirecta a los productores de los diferentes materiales de construcción más utilizados en la región, para conocer el costo unitario de fabricación de cada material anteriormente mencionado, con el fin de hacer una comparación en el aspecto económico de elaboración.

Tabla 4. Costos de Venta de los materiales de construcción utilizados en Irapuato.

Tipo de material del tabicón	Costo de venta (Pesos mexicanos)
Tabicón de roca silíceo y minerales	\$ 8.40
Tabique de adobe	\$ 16.50
Bloque convencional (cemento con arena)	\$ 14.00
Ladrillo rojo (arcilla cocida)	\$ 7.00

De acuerdo a la información obtenida en la entrevista, fue posible conocer el costo de venta al público para comparar los precios que los clientes normalmente consumen en materiales de construcción en el municipio de Irapuato Gto. Además, se realizó una estimación del costo de venta del tabicón de roca silíceo y minerales con una fórmula proporcionada en materia de costos:

$$\text{Inventario inicial} + \text{inventario adquirido} - \text{inventario final}$$

d) Aceptación del cliente

Gracias a la elaboración del cuestionario anteriormente presentado, se pudieron obtener los siguientes resultados de acuerdo a la aceptación del producto por parte del cliente:

Tabla 5. Resultados sobre la aceptación por el cliente en el instrumento aplicado.

Reactivos	⑤ Totalmente de Acuerdo	④ de Acuerdo	③ Indeciso	② en Desacuerdo	① Totalmente en Desacuerdo
Presentación del producto.					
Que el producto se muestre al cliente en físico.				9.4%	90.6%
Que se muestre el producto de manera digital en una página web o catálogo online.		9.4%	18.8%	43.8%	28.1%
Tiempo de entrega del producto.					
El tiempo de entrega de pedidos de tabiques por parte del fabricante debe ser de acuerdo a la necesidad del cliente.				21.9%	68.8%
Los requerimientos del tabique se deben de recibir en su construcción dentro de márgenes de tiempo adecuados.				31.3%	68.8%
Atención al cliente.					
Recibir promociones y descuentos, que se le tengan en calidad de cliente de este producto.			4.1%	31.3%	65.6%
Recibir preferentemente una atención personalizada a cada cliente.			7.2%	31.3%	62.5%
Acudir a un autoservicio dedicado a la venta de materiales de construcción.	3.6%	3.6%	9.4%	43.8%	40.6%
Contar con la opción de compra de un nuevo tabique para construcción, que sea innovador y elaborado ecológicamente en su ciudad.			4.1%	31.3%	65.6%
La información sobre este producto sea recibida por mensaje en la página web.		6.2%	6.2%	43.8%	43.8%

La información sobre este producto sea recibida por llamada telefónica.		18.8%	25%	50%	7.2%
La información sobre este producto sea recibida físicamente al acudir al centro de compra.				37.5%	62.5%
Calidad del producto					
Considera que es la calidad del tabique convencional, elaborado a base de cemento con arena la que hace una construcción durable y resistente.			4.1%	21.9%	75%
Considera que es la calidad del tabique de arcilla o adobe la que hace una construcción durable y resistente.				28.1%	71.9%
Considera que la calidad de un nuevo producto de construcción podría ser mejor que los convencionales, si es un material a base de roca silíceo y minerales.			18.8%	28.1%	53.1%

CONCLUSIONES

De acuerdo a las estadísticas obtenidas en la aplicación del cuestionario para validar la aceptación de este nuevo producto, podemos concluir que existiría una buena aceptación en el mercado, ya que este material de construcción es innovador, ofrece calidad en las edificaciones, durabilidad, resistencia, no contaminante y precio de venta accesible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Baca Urbina, G. (2013). *Evaluación de Proyectos. Séptima Edición*. México: Mc Graw Hill .
2. Berumen-Rodríguez AA, P.-V. F.-B.-M.-R. (2021). *Revisión del impacto del sector ladrillero sobre el ambiente y la salud humana en México*. México: Salud Pública de México .
3. Fernández, F. J. (2017). *Estudio de Mercado. Guía para la elaboración de un estudio de mercado*.
4. Gobierno de la Ciudad de México. (19 de Octubre de 2020). Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. Ciudad de México, México.
5. Guillen C., H. S. (2011). Análisis de factibilidad para la implementación de una fábrica de ladrillos para la construcción. Cuenca, Ecuador.
6. Instituto de Ecología del Estado de Guanajuato. (2013). *Diagnóstico Integral Sector Ladrillero en Guanajuato* . Guanajuato: Centro de Innovación Aplicada a Tecnologías Competitivas, A. C. (CIATEC).
7. Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (10 de Abril de 2019). Directorio Nacional de Unidades Económicas (DENUE). México: Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Obtenido de <https://www.inegi.org.mx/app/mapa/denue/>
8. Pasman, M. (1997). Capítulo 1. Materiales de Construcción. En M. Pasman, *Materiales de Construcción* (pág. 12). Argentina: Casarini Hnos. Editores.
9. Quintal, A. L. (2008). *La Industria de la Construcción Factor Relevante del Desarrollo de Yucatán*. Yucatán : Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
10. Real Academia Española. (2020). Diccionario de la lengua española. España.
11. Ros McDonnell, D. (2010). *Materiales de construcción: Propiedades físicas: Ejercicios*. Cartagena: Diego Marín Librero.
12. Santacruz, J. S. (2011). Investigación de Mercado para determinar la viabilidad de una Nueva Marca de Producto de la Empresa Adriana Santacruz para los Estratos Medio y Alto de Bogotá. Bogotá.

13. Secretaría de Economía. (17 de Marzo de 2016). Competitividad y Normatividad / Normalización. Ciudad de México, México.
14. Varela, R. (2001). *Innovación Empresarial*. Bogotá: Prentice Hall.
15. VV., A. (2007). *Nueva Enciclopedia del Encargado de Obras. Materiales de construcción*. . Barcelona, España: Para Dummies.

EFFECTO DE LA INCORPORACIÓN DE BORO-GADOLINIO SOBRE LA FOTOACTIVIDAD DEL DIÓXIDO DE TITANIO

Briseyda Del Ángel Hernández¹, Ricardo García Alamilla¹, Isabel Arregoitia Quezada¹, Edgar Moctezuma Velasquez², Pedro García³.

¹Tecnológico Nacional de México/Tecnológico de Ciudad Madero. ²Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ³Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

ricardo.ga@cdmadero.tecnm.mx

RESUMEN

La actividad industrial, la agricultura, la población han ido incrementado y con ello la contaminación del agua. Uno de los mayores problemas al que se enfrenta la sociedad moderna. Generalmente las aguas residuales contienen colorantes, fármacos, pesticidas los cuales son compuestos resistentes a los tratamientos convencionales de aguas residuales. El proceso fotocatalítico basado en TiO_2 , una de las técnicas de proceso de oxidación avanzada ha demostrado ser capaz de degradar compuestos orgánicos resistentes. El TiO_2 debido a sus propiedades estructurales, estabilidad térmica, química, no tóxico es el fotocatalizador más usado en el campo de la fotocatalisis. Sin embargo, el proceso requiere ser optimizado para mejorar su eficiencia. El dopaje del TiO_2 ha sido propuesta como una de las alternativas para mejorar la eficiencia del proceso fotocatalítico basado en TiO_2 . En el presente trabajo se ha estudiado el efecto dopaje del TiO_2 sobre la fotoactividad del TiO_2 ; se preparó TiO_2 puro, TiO_2 dopado con boro y TiO_2 co-dopado con boro y gadolinio. Los catalizadores se prepararon mediante el método sol-gel se utilizó butóxido de titanio (IV), ácido bórico y acetato de gadolinio como fuentes de Ti, B y Gd respectivamente. En los análisis térmicos se observaron porcentajes de pérdidas de peso similares para todos los materiales sintetizados, sin embargo, la introducción de los dopantes causó un ligero desplazamiento en la temperatura de cristalización del hidróxido de titanio. Mediante espectroscopia IR se identificaron grupos OH, señales asociadas a boro entre 1200 y 1395 cm^{-1} y entre 450-700 cm^{-1} se registraron las señales características de óxidos metálicos. La actividad fotocatalítica en luz ultravioleta de los catalizadores preparados fue estimada en la degradación de naranja de metilo en una solución 10 ppm. Se estudió el efecto de la incorporación de boro, boro-gadolinio y temperatura de calcinado (500°C y 600°C) sobre la fotoactividad del catalizador. La mayor fotoactividad bajo luz ultravioleta se observó en la muestra preparada con 0.35% peso de boro-0.35% peso de gadolinio y calcinado a 600°C obteniendo 98% de decoloración a 4.5 horas de reacción.

INTRODUCCIÓN

La calidad del agua se ha visto significativamente afectada por el desarrollo de la actividad industrial, la agricultura y la población. La descarga de aguas residuales con contenido de compuestos orgánicos persistentes tiene un impacto sobre el medio ambiente, los más habituales son colorantes, fármacos, pesticidas y herbicidas. La presencia de colorantes en los mantos acuíferos puede reducir el paso de la luz afectando el proceso de fotosíntesis de plantas y algas, muchos de los colorantes azoicos son tóxicos, cancerígenos y mutágenos para los seres vivos incluido el ser humano (Segura, 2014). El tratamiento de compuestos orgánicos persistentes mediante métodos convencionales presenta limitaciones como generación de subproductos como lodos, metales y ácidos, algunos requieren de largos periodos de operación. Una alternativa al tratamiento convencional de aguas residuales es la fotocatalisis que ha demostrado competir con una alta eficiencia en la remoción de contaminantes. El proceso fotocatalítico consiste en la iluminación de un semiconductor con luz de longitud de onda adecuada que permita promover un electrón de la banda de valencia a la banda de conducción, dejando un "hueco" en la banda de valencia y electrón en la banda de conducción (D.H Quiñones, 2014). El par electrón-hueco generado serán responsables de las reacciones de oxidación-reducción que permitirán mineralizar a los contaminantes. El dióxido de titanio es el semiconductor más utilizado para propósitos fotocatalíticas debido a sus propiedades como alta fotoactividad, bajo costo, buena estabilidad térmica y química (Rodrigo Pereira Cavalcante, 2014) además de ser un material no tóxico (Li Liang, 2013). Sin embargo, el dióxido de titanio aún requiere optimización puesto que solo puede activarse mediante luz ultravioleta debido a su energía de banda

prohibida (3.0-3.2 eV) (Li Liang, 2013). Con la finalidad de mejorar la actividad fotocatalítica del dióxido de titanio se han propuesto diversos enfoques como dopaje con no metales como N, S, C y B (Li Liang, 2013). Quiñones y colaboradores (2014) sintetizaron TiO_2 y B- TiO_2 por el método sol-gel observaron que la incorporación de boro a la estructura de dióxido de titanio confiere un efecto importante a la actividad fotocatalítica. Determinaron que el dióxido de titanio modificado con 12 %p/p de boro mejoró la degradación de O-fenil-fenol de 30% a 80% después de 120 minutos de reacción. Rodrigo Pereira Cavalcante y colaboradores (2014) sintetizaron TiO_2 y B- TiO_2 por el método sol-gel. Sus resultados indican que la proporción de boro utilizado juega un papel importante sobre la fotodegradación de metoprolol, determinaron una degradación de 70% cuando el dióxido de titanio fue modificado con 5 %p/p de boro contra 48% del dióxido de titanio puro después de 3 horas de reacción. El dopaje del dióxido de titanio con tierras raras ha mostrado tener mayor actividad fotocatalítica debido a la eficiencia para separar cargas (M. Mahalakshmi, 2007) y además podría ampliar el espectro de absorción del dióxido de titanio (Ningning Yan, 2012). En el presente trabajo se sintetizó dióxido de titanio y dióxido de titanio co-dopado con boro gadolinio, se estudió el efecto del co-dopaje sobre la fotoactividad en la degradación de naranja de metilo.

EXPERIMENTAL

Materiales

Butóxido de titanio (IV) grado reactivo 97% Sigma Aldrich. 1-Butanol Anhydrous 99.8% Sigma Aldrich, Acetona grado reactivo Analytyka, Ácido bórico Técnica Química, Acetato de gadolinio hidratado 99.9% Sigma Aldrich.

Síntesis de dióxido de titanio puro y modificados por el método Sol-gel

Inicialmente se pesó el butóxido de titanio (IV) en una cámara de atmósfera inerte. Se preparó una solución A mezclando el butóxido de titanio (IV) con $\frac{3}{4}$ partes del total del alcohol pesado dentro un reactor de 4 bocas, se mantuvo en agitación 1 hora a 70°C. Posteriormente se preparó una solución B mezclando el agua y el $\frac{1}{4}$ de alcohol restante. Finalizada la etapa de homogenización de la solución A se inició la etapa de hidrólisis agregando la solución B a la solución A gota a gota con una velocidad de goteo de 2 ml/min. La mezcla se agitó 100 minutos a 70°C, el gel resultante se añejó 65 horas a temperatura ambiente, después se secó 24 horas a 90°C, finalmente se sometió a un tratamiento térmico, se evaluaron dos temperaturas de calcinación, 500°C y 600°C.

Para la síntesis del dióxido de titanio modificado se siguió el mismo procedimiento, la incorporación de dopantes se realizó en la solución B, todos los pasos subsecuentes fueron los explicados anteriormente para la síntesis del dióxido de titanio puro. La nomenclatura de los materiales sintetizados se puede observar en la Tabla 1.

Tabla 1. Nomenclatura de los catalizadores sintetizados

Catalizador	Temperatura de calcinado	Nomenclatura
TiO_2	500	M01-5
TiO_2 modificado con 0.35% de boro	500	M02-5
TiO_2 modificado con 0.35% de boro y 0.25% de gadolinio	500	M03-5
TiO_2 modificado con 0.35% de boro y 0.35% de gadolinio	500	M04-5
TiO_2	600	M01-6
TiO_2 modificado con 0.35% boro	600	M02-6
TiO_2 modificado con 0.35% de boro y 0.25% de gadolinio	600	M03-6
TiO_2 modificado con 0.35% de boro y 0.35% de gadolinio	600	M04-6

Actividad foto-catalítica

La actividad foto-catalítica se evaluó en la degradación de una solución con 10 ppm de naranja de metilo. La reacción se realizó empleando un reactor discontinuo de 500 mL de volumen montado en una parrilla eléctrica colocadas en el interior de un dispositivo con paredes reflejantes. Durante todo

el tiempo el medio de reacción se mantuvo con agitación constante, para evaluar la actividad fotocatalítica se utilizó una lámpara ultravioleta de 25W con una emisión de 254 nm.

Inicialmente 0.9 g/L de catalizador fue suspendido en 500 ml de la solución acuosa de naranja de metilo 10 ppm, se agitó durante 30 minutos en total oscuridad para establecer el equilibrio de adsorción/desorción entre la solución de naranja de metilo y la superficie del catalizador. Posteriormente, se encendió la lámpara de luz UV e inició la reacción la cual duró 4 h. Durante el transcurso de la reacción se tomaron alícuotas de la solución cada 30 minutos para cuantificar la evolución de la degradación del colorante, las alícuotas fueron centrifugadas por 20 minutos a 2500 RPM y posteriormente las muestras fueron filtradas empleando un microfiltro de celulosa de 0.25 micrometros para remover las partículas de catalizador, finalmente las muestras fueron analizadas en un espectrofotómetro UV vis con la finalidad de medir la absorbancia de cada una de ellas.

RESULTADOS

Análisis térmicos

Las propiedades térmicas de los catalizadores sintetizados se analizaron mediante TGA. En la figura 1 se muestran el perfil termo-gravimétrico (TGA) y su derivada (DTGA) correspondiente al hidróxido de titanio. La curva de DTGA permitió apreciar con claridad las temperaturas donde la muestra presentó variaciones significativas en la velocidad de pérdida de peso durante el tratamiento térmico. Las pérdidas de peso a bajas temperaturas son asociadas a la eliminación de agua adsorbida en la superficie del hidróxido del titanio (L. J. Alemany, 2000). En el intervalo de 240°C-273°C se observa un pico que representa el cambio de pérdida de peso más significativo y es asociado a la eliminación de materia orgánica (Yongfa zhu, 2000) (Chih-Chieh Chan, 2009) , en esta etapa se perdió 9.55% del peso total de la muestra. La señal de pérdida de peso en la región 460.3°C-503.8°C está asociada al proceso de deshidroxilación del hidróxido de titanio el cual conduce a la formación del TiO_2 (Ling Wu, 2004).

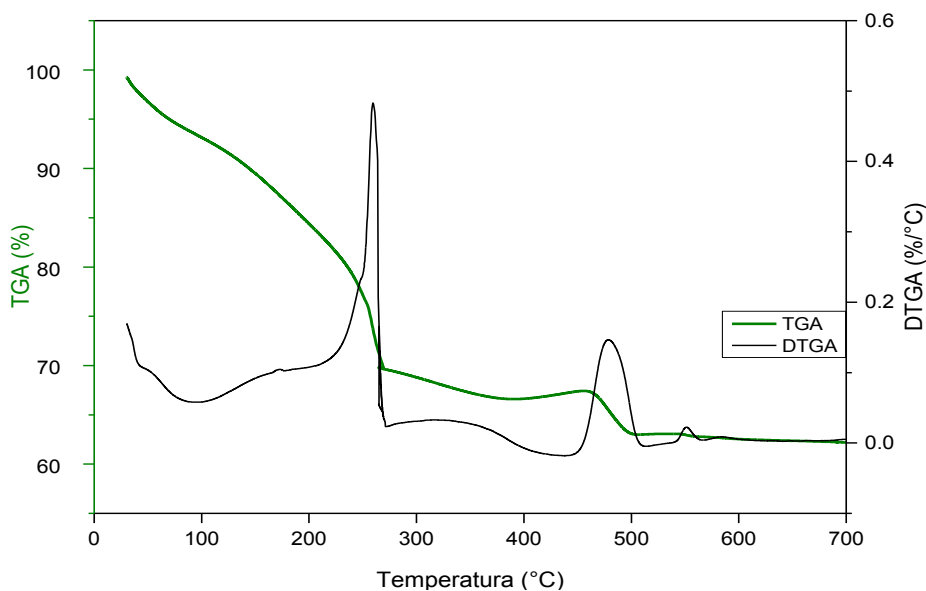


Figura 83. TGA – DTGA del hidróxido de titanio puro.

El perfil térmico de las muestras se observa en la figura 2, en ella se reportan las curvas DTGA de los hidróxidos de titanio puro y modificados. Los perfiles DTGA de las muestras tuvieron un comportamiento térmico similar al hidróxido puro discutido en la figura 1. Cabe destacar que la introducción de dopantes causó un incremento en la temperatura de cristalización de 455 a 467°C.

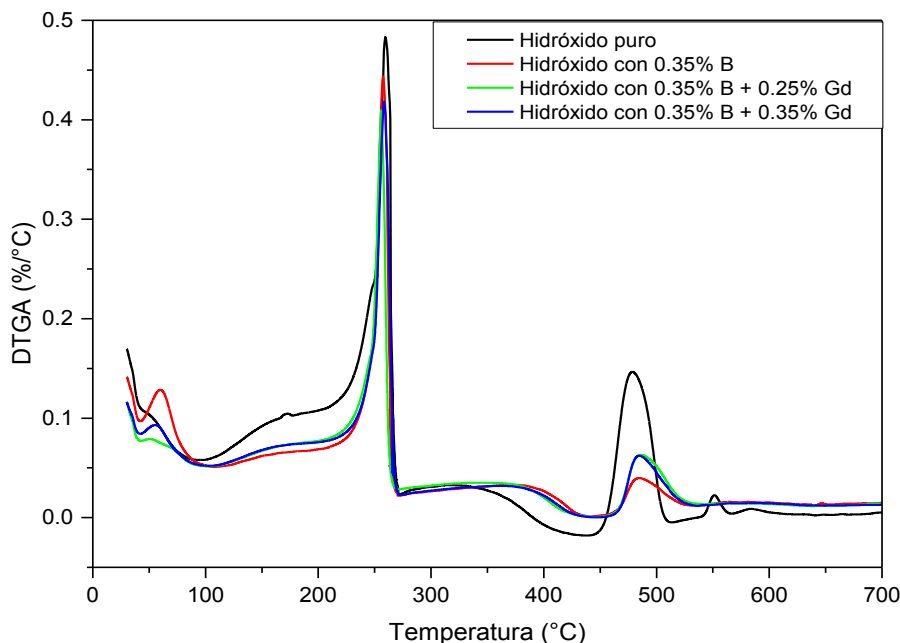


Figura 2. DTGA de las muestras sintetizadas

Actividad foto-catalítica

Se elaboró una curva de calibración para conocer la concentración de naranja de metilo (NM) a cualquier tiempo de la reacción, para ello se preparó una serie de soluciones de NM con concentraciones de entre 1 y 20 ppm y se midió la absorbancia en un espectrómetro Uv-vis Agilent modelo Cary 60, la máxima absorbancia fue establecida a 465 nm. Se graficó la absorbancia registrada a 465 nm de cada muestra de las soluciones preparadas respecto a la concentración de cada una de ellas y se le aplicó regresión lineal simple para obtener la ecuación que permitió calcular la concentración en ppm de las pruebas fotocatalíticas (ver figura 3).

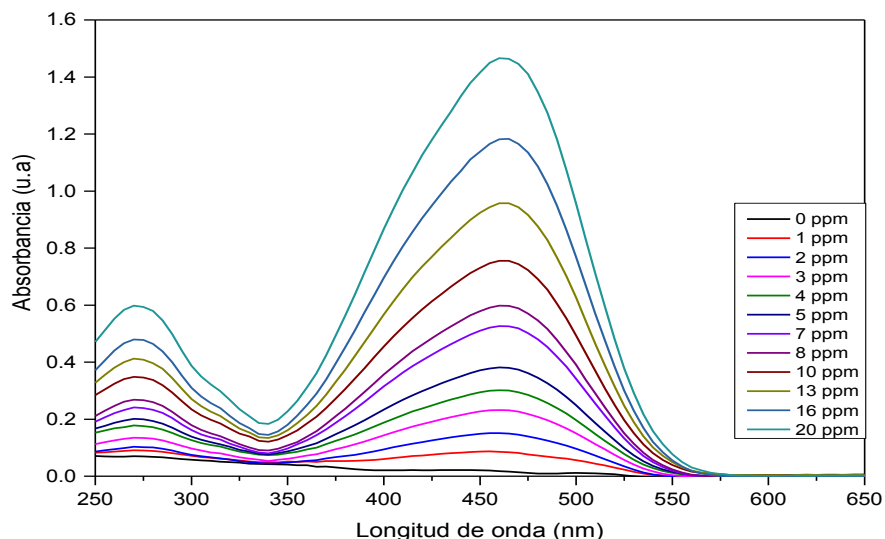


Figura 3. Espectros UV-Vis de soluciones de NM a diferentes concentraciones.

Se realizó una prueba de fotólisis con la finalidad de cuantificar el efecto de la luz ultravioleta sobre la degradación de naranja de metilo, se determinó 11.3% de degradación en 4 h. En la figura 4 se muestra el perfil de degradación de todos los catalizadores sintetizados calcinados a 500°C, en

presencia de la muestra M01-5 se obtuvo 94% de degradación, en presencia de M02-5 se obtuvo 82.06%, en presencia de las muestras co-dopadas con 0.35 %p/p de boro y 0.25 %p/p de gadolinio o 0.35 %p/p de gadolinio M03-5 y M04-5 se obtuvieron 85.29% y 77.67% respectivamente.

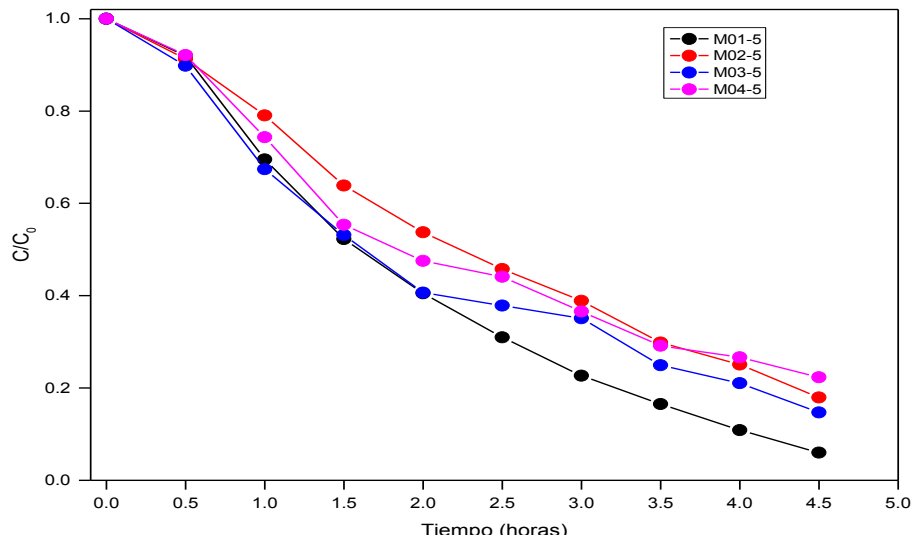


Figura 4. Perfil de degradación con los catalizadores calcinados a 500°C.

En los catalizadores calcinados a 600°C se observaron mejores desempeños foto-catalíticos respecto a los catalizadores calcinados a 500°C, la diferencia más significativa se observó en el dióxido de titanio co-dopado con 0.35 %p/p de boro y 0.35 %p/p de gadolinio su eficiencia mejoró 20.3%. Mientras que en el dióxido de titanio puro la mejora fue de 1% lo que sigue que una temperatura de 500°C es suficiente para formar una estructura estable, aunque menos activa. La mejor fotoactividad se obtuvo en presencia de dióxido de titanio co-dopado con 0.35 %p/p de boro y 0.35 %p/p de gadolinio calcinado a 600°C. Se estudió la cinética de todas las reacciones con la finalidad de determinar el orden de reacción de la degradación. La tabla 2 muestra un resumen de los resultados de fotoactividad y mediante la ecuación 1 (Levenspiel, 2004) se determinó que todas las reacciones de ajustan a una reacción de pseudo-orden 1.

$$-\ln \frac{C}{C_0} = kt \quad (1)$$

Donde:

C_0 Concentración inicial de naranja de metilo (10 ppm)

C concentración a tiempo t

k Constante de velocidad de degradación de naranja de metilo

t tiempo

Tabla 2. Resumen del desempeño fotocatalítico de los catalizadores sintetizados calcinados a 500°C y 600°C

Material	Eficiencia fotocatalítica (%)	Concentración final en ppm	Orden de reacción	Constante de degradación de NM (hr ⁻¹)
M01-5	94.00	0.63	1	0.6086
M02-5	82.06	1.86	1	0.3761
M03-5	85.29	1.53	1	0.4085
M04-5	77.67	2.26	1	0.3415
M01-6	95	0.511	1	0.6473
M02-6	96	0.386	1	0.6970
M03-6	88.5	0.115	1	0.4705
M04-6	98	0.020	1	0.7597

Espectroscopia Infrarroja por transformada de Fourier (FT-IR)

En la figura 5 se muestran los espectros IR de las muestras M02-5 y M02-6. Las bandas que aparecen a bajas frecuencias entre 500 cm⁻¹ - 680 cm⁻¹ corresponden a modos vibracionales del grupo funcional Ti-O, el cual se forma durante la reacción de condensación en el proceso de síntesis (Juan Manuel Hernández Enríquez, 2013) (Yongfa zhu, 2000) (Anu K John, 2018). Y un hombro a 800 cm⁻¹ es atribuido al grupo funcional Ti-OH (Yasser Ochoa, 2010). Las pequeñas señales a 1200cm⁻¹ y 1400 cm⁻¹ corresponden a enlaces B-O del B₂O₃ (Li Liang, 2013) (Wenjie Zhang, 2012). Las señales en el intervalo de 1310 cm⁻¹ a 1380cm⁻¹ son señales características de enlaces B-O (E. Pretsch, 1996) por lo que la señal a 1330cm⁻¹ se atribuye al enlace B-O.

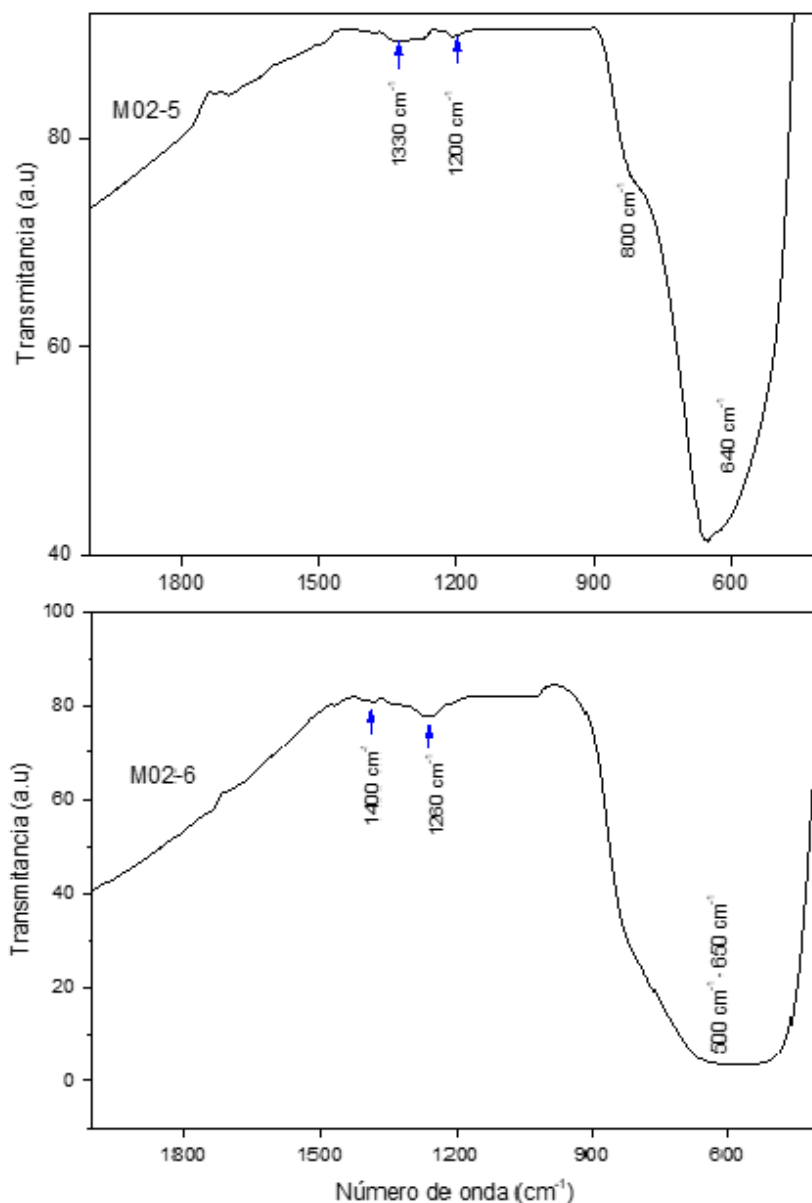


Figura 5. Espectro IR de los catalizadores calcinados a 500°C.

CONCLUSIONES

La introducción de dopantes en el dióxido de titanio no tiene un efecto significativo sobre las propiedades térmicas, los termogramas indican que las pérdidas de peso del hidróxido de titanio puro y dopado con boro y co-dopado con boro-gadolinio se mantienen en un mismo rango de cambios, no obstante, la introducción de los dopantes causó un ligero incremento en la temperatura de cristalización.

La decoloración de naranja de metilo en presencia de dióxido de titanio puro calcinado a 500°C fue de 94% y se incrementa a 95% cuando el material se calcina a 600°C lo cual indica que la temperatura de calcinación no tiene un efecto relevante sobre la fotoactividad, sin embargo, en el material dopado con 0.35 %p/p de boro la decoloración pasó de 82% a 96% al calcinar de 500°C a 600°C. En el caso del material co-dopado con 0.35 %p/p de boro y 0.35 %p/p de gadolinio la decoloración se incrementó de 77% y 98%. La cinética de la reacción observada en todos los

materiales sigue tendencia de pseudo primer orden lo cual corrobora lo reportado en la literatura para estos tipos de reacciones.

Agradecimiento: Al Tecnológico Nacional de México por el apoyo otorgado a través del proyecto 8118.20-P

BIBLIOGRAFIA

1. Anu K John, S. P. (2018), "Influence of solvent and pH on the synthesis of visible light active titanium dioxide nano Particles", *Journal of Sol-Gel Science and Technology*.
2. Chih-Chieh Chan, C.-C. C.-C.-K. (2009), "Photocatalytic activities of Pd-loaded mesoporous TiO₂ thin films", *Chemical Engineering Journal*, 492–497.
3. D.H Quiñones, A. R. (2014), "Boron doped TiO₂ catalysts for photocatalytic ozonation of aqueous mixtures of common pesticides: Diuron, o-phenylphenol, MCPA and terbuthylazine" *Applied Catalysis B: Environmental*.
4. E. Pretsch, T. C. (1996). "Tablas para la elucidación estructural de compuestos orgánicos por métodos espectroscópicos", Madrid España: Alhambra Longman.
5. Juan Manuel Hernández Enríquez, L. A. (2013), "Synthesis of Solid Acid Catalysts Based on TiO₂-SO₂- and Pt/TiO₂-SO₄- Applied in n-Hexane Isomerization" *Open Journal of Metal*, 34-44.
6. L. J. Alemany, M. A.-J. (2000), "Morphological and Structural Characterization of a Titanium Dioxide System", *materials characterization*, 271–275.
7. Levenspiel, O. (2004), *Ingeniería de las reacciones químicas*, 3ra. edición. Limusa Wiley.
8. Li Liang, Y. Y. (2013), "A direct synthesis of B-doped TiO₂ and its photocatalytic performance on degradation of RhB", *Applied Surface Science*, 36–40.
9. Ling Wu, J. C. (2004), "Preparation of a highly active nanocrystalline TiO₂ photocatalyst from titanium oxo cluster precursor", *Journal of Solid State Chemistry*, 2584–2590.
10. M. Mahalakshmi, B. A. (2007), "Preparation, characterization and photocatalytic activity of Gd³⁺ doped TiO₂", *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 3277–3285.
11. Ningning Yan, Z. Z. (2012), "Preparation and properties of Ce-doped TiO₂ photocatalyst", *Materials Research Bulletin*, 1869–1873.
12. Rodrigo Pereira Cavalcante, R. F. (2014), "Synthesis and characterization of B-doped TiO₂ and their performance for the degradation of metoprolol", *Catalysis Today*.
13. Segura, S. G. (2014), "Tratamiento electroquímico de fármacos y colorantes en medio acuoso mediante procesos de oxidación avanzada"
14. V. Gombac, L. D. (2007), "TiO₂ nanopowders doped with boron and nitrogen for photocatalytic applications" *Chemical Physics*, 111–123.
15. Wenjie Zhang, B. Y. (2012), "Effects of Calcination Temperature on Preparation of Boron-Doped TiO₂ by Sol-Gel Method", *International Journal of Photoenergy*, 1-8.
16. Yasser Ochoa, Y. O. (2010), "Síntesis de TiO₂, fase anatasa, por el método sol-gel: estudio del efecto de la presencia de AcacH en el sistema", *Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia*, 29-40.

ESTUDIO DEL EFECTO DE LAS CONDICIONES DE TRANSFORMACIÓN Y EL ESPACIADO INTERLAMINAR EN UN ACERO HIPOEUTECTOIDE 0.6% C.

Paulina Gutiérrez González, Héctor Javier Vergara Hernández², Monserrat Sofia López Cornejo³, Octavio Vázquez Gómez⁴ y Pedro Garnica González⁵

Tecnológico Nacional de México-Instituto Tecnológico de Morelia
paulina.gut.gzl@gmail.com

RESUMEN

En México hay un incremento en la demanda por aceros para trefilado en frío con un mejor desempeño en sus propiedades mecánicas. Para ello, es necesario tener una homogeneidad microestructural en el espaciado interlaminar de la perlita a través del control de los parámetros en los tratamientos térmicos. Con este fin, probetas cilíndricas de un acero con 0.6%C fueron sometidas a 4 diferentes condiciones de enfriamiento por convección forzada con aire, y se estudió el efecto en la rapidez de enfriamiento en los parámetros microestructurales como la temperatura de transformación, el espaciado interlaminar de la perlita, la microdureza y el tamaño de grano. Se encontró que a medida que se incrementa la rapidez de enfriamiento en cada una de las condiciones analizadas, se disminuyen las temperaturas de transformación, lo que genera un menor espaciado interlaminar de la perlita. Esto a su vez, incrementa los valores del límite de cedencia y el esfuerzo a la rotura, así como los valores de microdureza.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han realizado diferentes trabajos [1-2], con la finalidad de mejorar las propiedades mecánicas en los aceros predominantemente perlíticos, ya que este tipo de aceros son utilizados para la producción de hilos que se emplean en la construcción de grandes puentes, edificios, presas, entre otros. Esta variedad de aplicaciones se debe a las características principales que lo definen, las cuales son su alta resistencia combinada con una adecuada ductilidad [3]. Estas propiedades mecánicas están íntimamente ligadas a parámetros microestructurales como el espaciado interlaminar entre la ferrita y la cementita, que componen al microconstituyente perlita. A medida que este parámetro disminuye, el límite plástico y límite máximo de rotura incrementan [4-7].

Este trabajo tiene como objetivo de evaluar el efecto de la rapidez de enfriamiento en el espaciado interlaminar de aceros predominante perlíticos, así como propiedades mecánicas como la microdureza, utilizando diferentes velocidades de aire por convección forzada, una condición de frontera similar a la que se presenta en el transportador de espiras Morgan Stelmor® en escala industrial.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

La composición química (% en peso) del acero utilizado en este trabajo se muestra en la Tabla 1. La composición fue determinada por el equipo SPECTROMAX LMM14. Tres probetas de este acero fueron maquinadas para obtener especímenes cilíndricos de 0.015 m de diámetro, con una longitud de 0.060 m, con el objetivo de mantener la relación longitud/diámetro igual a cuatro y asegurarse que la transferencia de calor se realice sólo en dirección radial. Los especímenes se instrumentaron con termopares tipo K de 1/16" de diámetro para realizar el registro de temperaturas durante el tratamiento térmico con el equipo de adquisición de datos TempScan/1100.

Tabla 1. Composición química del acero bajo estudio, % peso.

C	Si	Mn	P	S
0.61	0.38	0.78	0.01	0.01

Se realizó un tratamiento térmico que nos permitió obtener condiciones de frontera cercanas a las utilizadas en escala industrial. Las probetas instrumentadas fueron calentadas en un horno tipo libro hasta una temperatura de austenización de 900°C, una vez alcanzada esta temperatura se mantuvo

un tiempo de homogenización térmica de 10 min y se procedió a abrir el horno, activando un flujo de aire a temperatura ambiente perpendicular al centro geométrico de la probeta, con una velocidad de 9.5, 14.7 y 17.5 m/s. la velocidad del aire fue medida con el equipo HER-440.

Las probetas enfriadas con aire se cortaron en el centro geométrico para realizar la preparación metalográfica, que consistió en montar las piezas en baquelita y realizar el desbaste con lijas de SiC con diferente tamaño de grano, pulir las muestras con una suspensión abrasiva de alúmina 0,3 μ m y atacar la superficie previamente pulida y así revelar su microestructura utilizando una solución de Nital al 3% preparada con ácido nítrico y alcohol.

Se analizaron las muestras con un microscopio óptico Axio Observer ZEISS, a distintos aumentos para identificar microestructura y fases presentes en el acero. Se observaron las muestras a través de Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) con el equipo JSM-5900LV para determinar el espaciado interlaminar de la perlita. Los ensayos de microdurezas se realizaron con un durómetro WILSON HARDNESS – TUKON 2500 con 1.0 mm de distancia entre indentaciones, y una carga de 500 gf por 10 segundos, registrando los resultados en escala Vickers.

RESULTADOS

En la Figura 1 se muestran las historias térmicas obtenidas para las probetas de 15mm, enfriadas con aire por convección forzada. A medida que se incrementó la velocidad del aire, se aumentó la rapidez de enfriamiento para cada una de las probetas analizadas.

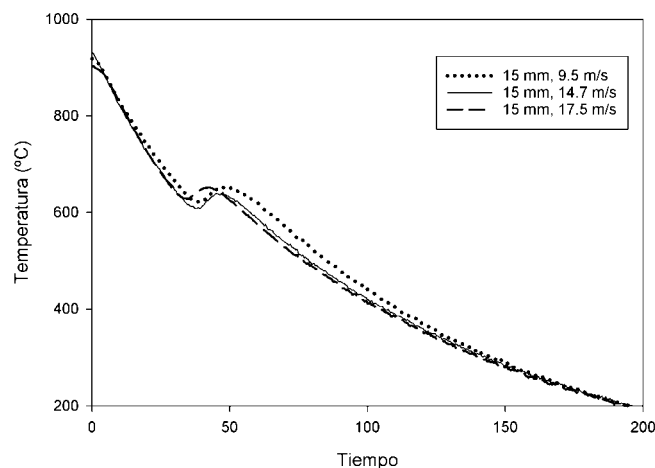


Figura 1. Historias térmicas experimentales obtenidas a partir del enfriamiento con aire por convección forzada en las probetas de 15mm.

En las Figuras 2(a), 2(b) y 2(c), se muestran las micrografías obtenidas por microscopía óptica de las probetas analizadas, donde se observa una estructura predominantemente perlítica en cada una de ellas. En la probeta enfriada con aire a 17.5 m/s, se observaron colonias de la perlita con menos espaciado entre láminas como resultado de un incremento en la rapidez de enfriamiento, como se ilustra en la Figura 2(c). De forma contraria, en la probeta enfriada con una menor rapidez de enfriamiento, Figura 2(a), los granos observados son más grandes y las láminas observadas tienen un mayor espacio entre sí. Los granos blancos observados son característicos de la fase ferrita, mientras que las zonas oscuras se consideran como perlita.

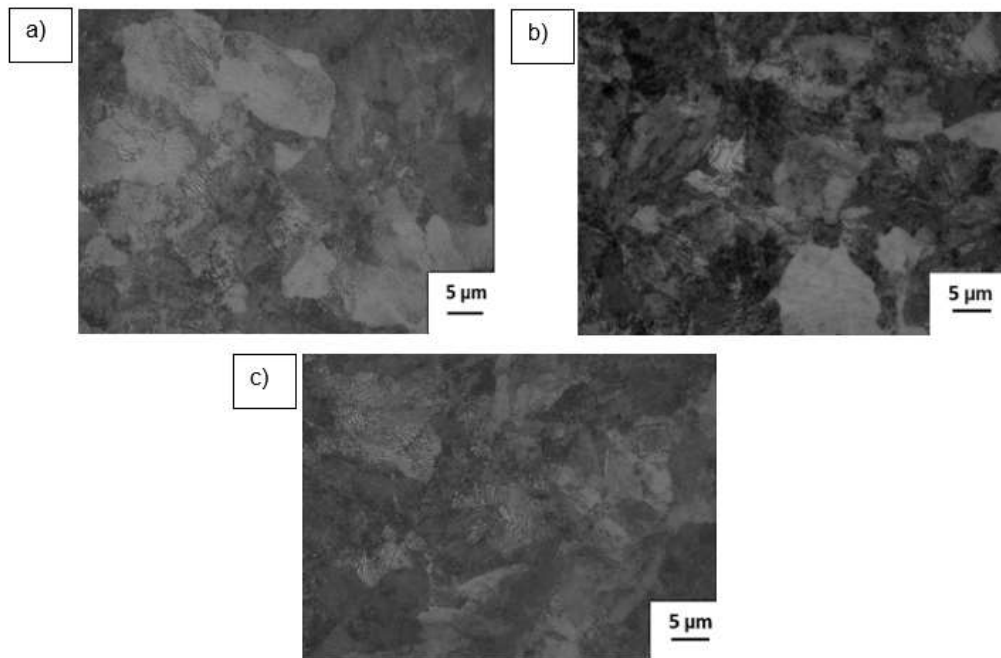


Fig. 2 Micrográficas obtenidas a través de Microscopía Óptica a 1000X para: (a) probeta enfriada con aire a 9.5 m/s, (b) probeta enfriada con aire a 14.7 m/s y (c) probeta enfriada con aire a 17.5 m/s.

En las Figuras 3 (a), 3 (b) y 3(c) se muestran las micrográficas obtenidas a través de SEM para las probetas analizadas. Con esta técnica se realizaron mediciones del espaciado interlaminar de la perlita en el centro geométrico de cada una de las probetas. En estas micrográficas se analizaron las colonias de perlita observadas previamente a través de microscopía óptica. En las zonas donde las láminas de ferrita y cementita tienen un menor espaciado entre ellas, se consideran como zonas de perlita fina; mientras que las zonas donde dicho espaciado es mayor, son identificadas como de perlita gruesa. Para la probeta enfriada con aire a 9.5 m/s (Figura 3a), se obtuvo un espaciado interlaminar de la perlita promedio de 290 ± 11 nm, para la probeta enfriada con aire a 14.7 m/s (Figura 3b) se determinó un promedio de 270 ± 15 nm y para la probeta enfriada a 17.5 m/s, se obtuvo una medición promedio de este parámetro de 290 ± 20 nm. Las durezas medidas para cada probeta, se relacionan con el espaciado interlaminar de la perlita observado en cada condición, ya que a medida que se disminuye el espaciado interlaminar, la dureza promedio es mayor. Para la probeta de la Figura 3(c), enfriada con una velocidad de aire mayor, la dureza promedio medida fue en el orden de 360 ± 17 HV, mientras que, una probeta enfriada con aire a 9.5 m/s que se ilustra en la Figura 3(a), se midió un promedio de 340 ± 14 HV. Este comportamiento es determinado por la rapidez de enfriamiento, parámetro gobernado por la velocidad de aire. A medida que esta última se incrementa, se incrementa el subenfriamiento que conlleva a un menor espaciado interlaminar [8]. En la literatura [9] se puede determinar de forma indirecta propiedades mecánicas como el esfuerzo a la rotura a través de los resultados de dureza. Para una dureza promedio de 340 HV se calcula un esfuerzo máximo de cedencia de 1082 MPa aproximadamente, mientras que para una dureza promedio de 360 HV, se predice un valor de 1158 MPa. Con ello se puede concluir que la dureza tiene una relación lineal con no sólo la rapidez de enfriamiento, sino el esfuerzo máximo de rotura. Asimismo, a medida que se disminuye el espaciado interlaminar de la perlita, se incrementa el valor de dicha propiedad mecánica.

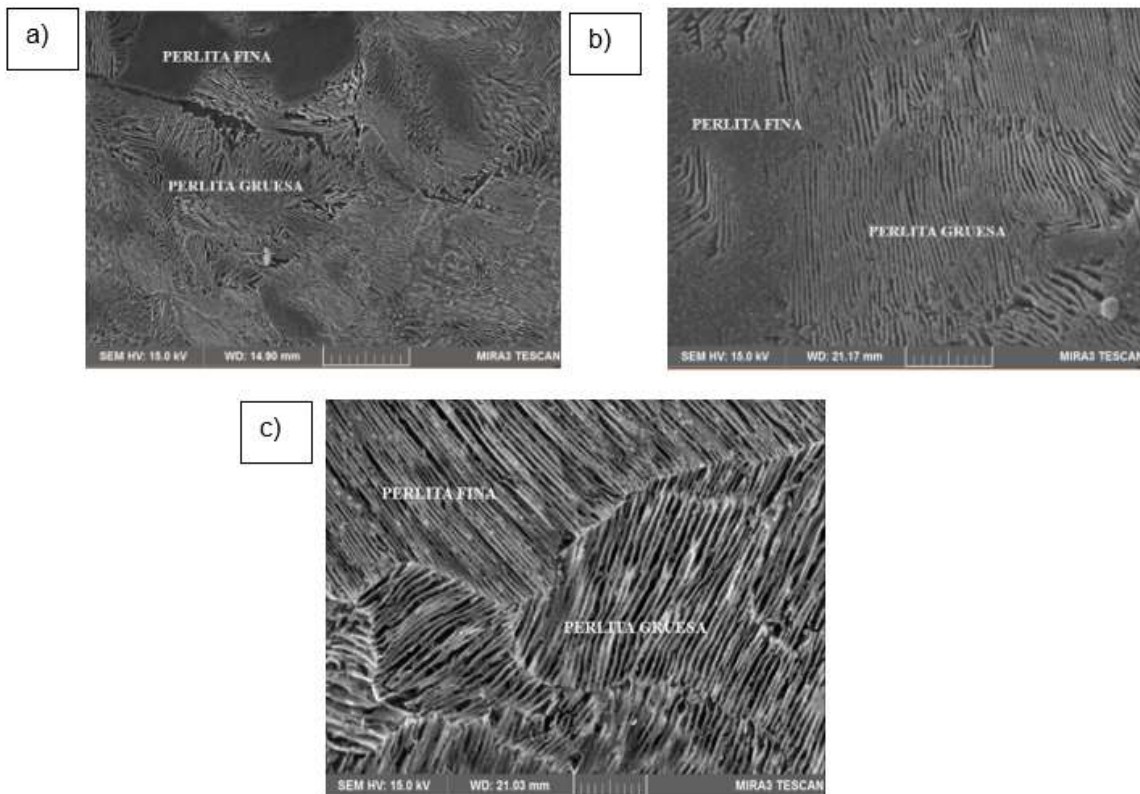


Fig. 3. Micrografías obtenidas a través de MEB para: (a) probeta enfriada con aire a 9.5 m/s, (b) probeta enfriada con aire a 14.7 m/s y (c) probeta enfriada con aire a 17.5 m/s.

CONCLUSIONES

Las diferentes velocidades de aire utilizadas en este trabajo permitieron obtener una microestructura predominantemente perlítica en especímenes de 0.015 m de diámetro. El efecto de la rapidez de enfriamiento fue relacionado con la dureza y el espaciado interlaminar de la perlita; a medida que la rapidez de enfriamiento incrementa, el espaciado interlaminar es menor y la dureza mayor. Los valores de dureza obtenidos fueron correlacionados con valores reportados en la literatura, encontrando que la relación entre esta propiedad mecánica y el esfuerzo máximo de rotura es lineal; a medida que se incrementa la dureza debido a un incremento en la rapidez de enfriamiento, se incrementa el valor del esfuerzo máximo de rotura.

AGRADECIMIENTOS

Paulina Gutiérrez González agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca No.763307 recibida para realizar sus estudios de Maestría. Los autores agradecen al CONACYT por el uso del equipo adquirido a través del soporte a los proyectos No. 235780, 271878 y 282357 del Laboratorio Nacional SEDEAM.

REFERENCIAS

1. E. M. Taleff, J. J. Lewandowski, and B. Pouladian, "Microstructure-property relationships in pearlitic eutectoid and hypereutectoid carbon steels," *JOM*, vol. 54, no. 7, pp. 25–30, 2002, doi: 10.1007/BF02700982.
2. M. Wang, F. Zhang, and Z. Yang, "Effects of alloying elements and cooling rates on the high-strength pearlite steels," *Mater. Sci. Technol. (United Kingdom)*, vol. 33, no. 14, pp. 1673–1680, 2017, doi: 10.1080/02670836.2017.1312209.

3. W. H. Yu, S. H. Chen, Y. H. Kuang, and K. C. Cao, "Development and application of online Stelmor Controlled Cooling System," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 29, no. 14–15, pp. 2949–2953, 2009, doi: 10.1016/j.applthermaleng.2009.03.012.
4. J. M. Hyzak and I. M. Bernstein, "The role of microstructure on the strength and toughness of fully pearlitic steels," *Metall. Trans. A*, vol. 7, no. 7, pp. 1217–1224, 1976, doi: 10.1007/BF02656606.
5. H.K.D.H Bhadeshia; R.W.K Honeycombe, *Steels. Microstructure and Properties*, vol. 3, no. September. 1981.
6. H. Rastegari, A. Kermanpur, and A. Najafizadeh, "Investigating the effects of short time austenitizing and cooling rate on pearlitic microstructure and mechanical properties of a hot rolled plain eutectoid carbon steel," *J. Mater.*, vol. 67, pp. 217–223, 2015, doi: 10.1016/j.matdes.2014.11.038.
7. J. Toribio, B. González, J.-C. Matos, and F.-J. Ayaso, "Influence of Microstructure on Strength and Ductility in Fully Pearlitic Steels," *Metals (Basel)*, vol. 6, no. 12, p. 318, 2016, doi: 10.3390/met6120318.
8. C. Zener, "Kinetics of the Decomposition of Austenite," *Met. Technol.*, no. January, pp. 550–595, 1945, doi: 10.1016/0026-0657(94)92088-5.
9. J. D. Verhoeven, *Steel Metallurgy for the Non-Metallurgist*. ASM International, 2007.

CÁLCULO DE LA FÓRMULA APROXIMADA DE LA ESTRUCTURA CRISTALINA DE JAROSITA DE MERCURIO SINTETIZADA

Sayra Ordoñez Hernández¹, Pedro Vera Serna¹, Iván Ricardo Barajas Rosales¹, Roberto Luis Palomino Resendiz¹, Felipe Nerhi Tenorio González¹, Elia Guadalupe Palacios Beas²

¹Universidad Politécnica de Tecámac, ²Universidad Politécnica Nacional.
sayraoh@hotmail.com

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se desarrolla la obtención de la fórmula aproximada de la estructura de jarosita de mercurio sintetizada con base a la fórmula de jarosita de mercurio denotada por J. E. Dutrizac y S. Kaiman¹ como $Hg_{0.5}Fe(SO_4)_2(OH)_6$ determinando la composición porcentual en peso para obtener el porcentaje en masa de cada constituyente presente en la estructura cristalina de jarosita de mercurio, conjuntando la composición porcentual obtenida de Fe^{3+} , SO_4^{2-} , Hg^{2+} por distintas técnicas de análisis como Dicromatometría, Gravimetría y Espectrofotometría de absorción atómica (EAA) respectivamente, determinando la fórmula aproximada de la estructura cristalina sintetizada de jarosita de mercurio $Hg_{0.39}(H_3O)_{0.22}Fe_{2.71}(SO_4)_{2.17}(OH)_{4.79}(H_2O)_{2.09}$ cuyo peso molecular es de $561.33 \text{ g mol}^{-1}$.

INTRODUCCIÓN

Uno de los elementos altamente tóxicos como el mercurio (Hg) se encuentra ubicuo en el medio ambiente en diversas formas químicas tales como orgánico, inorgánico y elemental^{2,3,4}, teniendo una amplia variedad de aplicaciones⁵, sin embargo, causa riesgos deletéreos en la salud del ser humano⁶, una forma para mitigar este elemento es mediante los compuestos tipo jarosita son minerales de sulfato de hierro pertenecientes al grupo alunita⁷, representado por la fórmula general $MFe_3(SO_4)_2(OH)_6$ donde el sitio M puede ser ocupado por Na^+ , K^+ , Rb^+ , Ag^+ , Tl^+ , H_3O^+ , NH_4^+ , $\frac{1}{2}Pb^{2+}$ y $\frac{1}{2}Hg^{2+}$, la particularidad de estos compuestos es que pueden tener distintas sustituciones en la estructura de la jarosita como un medio de inertización incorporando elemento de importancia ambiental como Tl^+ , $Cr(VI)$, $As(V)$, $\frac{1}{2}Pb^{2+}$, $\frac{1}{2}Cd^{2+}$ y $\frac{1}{2}Hg^{2+}$ reduciendo su impacto en el medio ambiente^{8,9}, uno de los compuestos escasamente estudiados es la jarosita de mercurio se tiene precedente acerca de la síntesis y caracterización^{10,11} e inclusive su descomposición en medio hidróxido de sodio ($NaOH$)⁹, sin embargo, no se tiene referencia acerca del cálculo de la fórmula aproximada de la jarosita de mercurio sintetizada, el presente proyecto muestra como se obtiene el cálculo de la fórmula aproximada y el peso molecular, mediante relaciones molares y con el empleo de datos referentes al contenido de hierro (Fe^{3+}), sulfato (SO_4^{2-}), y mercurio (Hg^{2+}) obtenidos por medio de técnicas de análisis como dicromatometría, gravimetría y Espectrofotometría de absorción atómica (EAA) respectivamente.

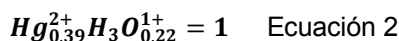
PARTE EXPERIMENTAL

La fórmula aproximada del producto sintetizado fue determinada de acuerdo a la fórmula de jarosita de mercurio enunciada por J. E. Dutrizac y S. Kaiman¹ como $Hg_{0.5}Fe(SO_4)_2(OH)_6$ cuyo peso molecular es de $562.00342 \text{ g mol}^{-1}$ el cual fue calculado mediante la multiplicación de la masa atómica correspondiente al elemento mercurio, hierro, azufre, oxígeno e hidrógeno por el número de átomos presentes en la molécula, posteriormente fue realizada la sumatoria de todos los elementos, continuando con la determinación de la composición porcentual en peso para obtener el porcentaje en masa de cada constituyente presente en el compuesto de jarosita de mercurio empleando la ecuación 1 donde n es el número de moles del elemento:

$$\text{Composición porcentual en masa} = \frac{\sum \text{Peso atómico del elemento} \times n}{\text{Peso molecular de jarosita de mercurio}} \times 100 \quad \text{Ecuación 1}$$

Obteniendo la composición porcentual en masa para el hierro de 29.81 %, sulfato de 34.18 % y mercurio de 17.84 %. Posteriormente fue obtenido el porcentaje de hidrógeno y oxígeno mediante la diferencia de la sumatoria de acuerdo a la composición porcentual obtenida por distintas técnicas de análisis de los constituyentes ($100 \% - (26.27 \% + 37.05 \% + 14.05 \%) = 21.93 \%$), como hierro Fe^{3+}

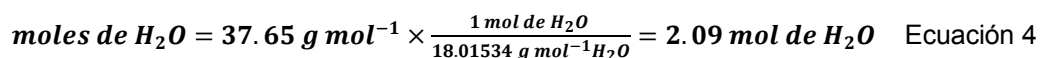
determinado por Dicromatometría de 26.27%, sulfato SO_4^{2-} cuya composición porcentual fue obtenida por Gravimetría de 37.05 % y mediante EAA 14.05 % de mercurio Hg^{2+} , por la caracterización de jarosita de mercurio destacada por las investigaciones previas por Ordoñez et al. (2015, 2017). Una vez calculada cada composición porcentual en peso de acuerdo a la ecuación 1 y las composiciones porcentuales de los constituyentes de la jarosita de mercurio por diferentes técnicas de análisis y a través de la diferencia, fueron obtenidos los moles del compuesto tipo jarosita ($\text{Hg}_{0.5}\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$) considerando que el $\text{Fe}^{3+} = 3$, $\text{SO}_4^{2-} = 2$ y $\text{Hg}^{2+} = 0.5$ mediante relaciones molares obteniendo 2.71 mol de Fe, 2.17 mol de $(\text{SO}_4)_2$ y 0.39 mol de Hg. Posteriormente fueron obtenidos los moles correspondientes para el ion H_3O^+ que parcialmente sustituye al sitio catiónico M ocupado por el Hg^{2+} debido a que es una propiedad inherente de los compuestos tipo jarosita^{12,13}, es decir la fórmula de jarosita de mercurio enunciada por J. E. Dutrizac y T. T. Chen es la siguiente $\text{Hg}_{0.5-x}(\text{H}_3\text{O})_{2x}\text{Fe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$, donde $2x$ es la cantidad del ion hidronio cargado individualmente sustituyendo el ion mercúrico doblemente cargado¹² de acuerdo a este precedente considerando que la sumatoria de ambos iones es igual a uno fue calculado ($\text{H}_3\text{O}^+ = 2(0.5 - (0.39 \times 2)) = 0.22$) el número de moles para el ion H_3O^+ obtenido de 0.22 se denota como se observa en la ecuación 2.



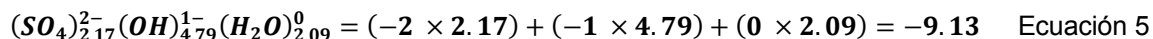
En la igualación de 1 fueron restados 0.39 moles del ion Hg^{2+} multiplicados por el número de cargas en este caso de 2 obteniendo 0.78 determinando 0.22 moles para el ion H_3O^+ . De acuerdo con los cálculos realizados fue expresado el segmento de la fórmula que contienen iones con cargas positivas ($\text{Hg}_{0.39}(\text{H}_3\text{O})_{0.22}\text{Fe}_{2.71}$) determinadas como se observa en la ecuación 3.



Obteniendo los moles de $\text{OH}^- = 4.79$ a través de la resta de la cantidad de cargas positivas y el contenido de cargas negativas del sulfato ($9.13 - (2.17 \times 2) = 4.79$), posteriormente fueron calculadas las composiciones porcentuales en peso de H_3O^+ de 0.74 % y OH^- de 14.49 %. Finalmente fue obtenido el contenido de H_2O restando el porcentaje de oxígeno e hidrógeno determinado de 21.93 %, a la sumatoria de la composición porcentual en peso de H_3O^+ y OH^- , correspondiente a 15.23 % determinando un porcentaje de agua igual a 6.7 %, para convertirlo en moles fue dividido entre 100 y multiplicado por el peso molecular de jarosita de mercurio ($562.00342 \text{ g mol}^{-1}$) obteniendo un valor de 37.65 g mol^{-1} , posteriormente fue realizada la siguiente relación molar considerando que el peso molecular del agua es igual a $18.01534 \text{ g mol}^{-1}$ ($(1.00797 \times 2) + 15.9994 = 18.01534 \text{ g mol}^{-1}$) obteniendo los moles de agua con la ecuación 4.



Por consiguiente, con los cálculos previamente realizados fue expresado el segmento de la fórmula cuyos iones poseen cargas negativas ($(\text{SO}_4)_{2.17}(\text{OH})_{4.79}(\text{H}_2\text{O})_{2.09}$) determinando la cantidad de estas adjuntando el agua como se denota a continuación en la ecuación 5.



Obteniendo el balance de cargas mediante la diferencia de cargas positivas y negativas correspondientes a 9.13 y -9.13 fue determinado que se iguala a cero. De acuerdo con los cálculos realizados fue determinada la fórmula aproximada del compuesto sintetizado de jarosita de mercurio $\text{Hg}_{0.39}(\text{H}_3\text{O})_{0.22}\text{Fe}_{2.71}(\text{SO}_4)_{2.17}(\text{OH})_{4.79}(\text{H}_2\text{O})_{2.09}$, cuyo peso molecular es de $561.33 \text{ g mol}^{-1}$ calculado mediante la multiplicación de la masa atómica correspondiente a cada elemento por el número de átomos presentes en la molécula y posteriormente fue realizada la sumatoria de todos los elementos¹⁴.

RESULTADOS

De acuerdo al análisis químico se determinó la siguiente composición: 26.97 % de Fe^{3+} por dicromatometría, 37.05 % de SO_4^{2-} a través de gravimetría, 14.05 % de Hg^{2+} por EAA y 21.93 % de $\text{OH}^- + \text{H}_3\text{O}^+ + \text{H}_2\text{O}$ obteniendo por diferencia con referencia a estos datos y la fórmula teórica indicada por J. E. Dutrizac y S. Kaiman de jarosita de mercurio ($\text{Hg}_{0.5}\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$)¹ fue calculada la composición porcentual de Hg^{2+} , Fe^{3+} , SO_4^{2-} , OH^- , H_3O^+ , asimismo, fueron realizadas las relaciones molares para obtener el número de moles considerando que el sitio M ocupado por el Hg^{2+} puede ser parcialmente sustituido por el ion H_3O^+ debido a que es una propiedad inherente de los compuestos tipo jarosita^{12,13}, además, es estimado que las fórmulas aproximadas se basan en la suposición de que existen dos grupos sulfato por fórmula, asimismo la presencia de $\text{Fe}^{3+} = 3$ y la suficiente agua para compensar los iones hidronio y oxidrilo¹, por los moles H_2O fueron obtenidos mediante la resta del porcentaje obtenido por diferencia y la sumatoria de la composición porcentual de H_3O^+ y OH^- realizando una relación molar para convertir el porcentaje de H_2O en moles fue realizado el cálculo para determinar la fórmula aproximada del compuesto sintetizado $\text{Hg}_{0.39}(\text{H}_3\text{O})_{0.22}\text{Fe}_{2.71}(\text{SO}_4)_{2.17}(\text{OH})_{4.79}(\text{H}_2\text{O})_{2.09}$ y el peso molecular de jarosita de mercurio sintetizada es de $561.33 \text{ g mol}^{-1}$.

CONCLUSIONES

Los resultados demuestran que para la obtención de la fórmula aproximada de jarosita de mercurio sintetizada $\text{Hg}_{0.39}(\text{H}_3\text{O})_{0.22}\text{Fe}_{2.71}(\text{SO}_4)_{2.17}(\text{OH})_{4.79}(\text{H}_2\text{O})_{2.09}$ cuyo peso molecular es de $561.33 \text{ g mol}^{-1}$ se determinó con el indicio de la fórmula de jarosita de mercurio denotada por J. E. Dutrizac y S. Kaiman¹ como $\text{Hg}_{0.5}\text{Fe}(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ obteniendo la composición porcentual en peso y en masa de cada constituyente presente en la estructura de jarosita de mercurio.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. E. Dutrizac y S. Kaiman, "Synthesis and properties of jarosite-type compounds", *Canadian Mineralogist.*, Vol. 14, 1976, pp.151–158.
2. J. Huber y K. Leopold, "Nanomaterial-based strategies for enhanced mercury trace analysis in environmental and drinking waters", *Trends in Analytical Chemistry.*, Vol. 80, 2016, pp. 280–292.
3. J. Loredó, R. Álvarez y A. Ordóñez, "Release of toxic metals and metalloids from Los Ruedos mercury mine (Austrias, Spain)", *Science of the Total Environment.*, Vol. 340, 2005, pp. 247–260.
4. C. S. Oliveira, V. A. Oliveira, L. M. Costa, T. F. Pedroso, M. M. Fonseca, J. S. Bernardí y otros, "Inorganic mercury exposure in drinking water alters essential metal homeostasis in pregnant rats without altering rat pup behavior", *Reproductive Toxicology.*, Vol. 65, 2016, pp. 18–23.
5. M. J. Assari, A. Rezaee y H. Rangkooy, "Bone char surface modification by nano-gold coating for elemental mercury vapor removal", *Applied Surface Science.*, Vol. 342, 2015, pp. 106–111.
6. M. Knandaker Rayhan, K. Kannan, N. Ravi, A. Stuart y M. Mallavarapu, "Mercury toxicity to terrestrial biota", *Ecological Indicators.*, Vol. 74, 2017, pp. 451–462.
7. X. Yang, M. Zhu, F. Kang, S. Cao, R. Chen, H. Liu y otros, "Formation mechanism of a series of trigonal antiprismatic jarosite-type compounds", *Journal of Crystal Growth.*, Vol. 429, 2015, pp. 49–55.
8. J. E. Dutrizac, "The behaviour of the rare earths during the precipitation of sodium, potassium and lead jarosites", *Hydrometallurgy.*, Vol. 73, 2004, pp. 11–30.
9. S. Ordoñez, M. U. Flores, F. Patiño, I. A. Reyes, H. Islas, M. Reyes y otros, "Kinetic Analysis of the Decomposition Reaction of the Mercury Jarosite in NaOH Medium", *International Journal of Chemical Kinetics.*, Vol. 49, 2017, pp. 798–809.
10. S. Ordoñez, F. Patiño, I. A. Reyes, M. U. Flores, V. H. Flores, E. G. Palacios y otros, "Synthesis and topology of the reaction of mercury jarosite in NaOH medium", *European Metallurgical Conference.*, 2015, Vol. 1, pp. 537–552.

11. S. Ordoñez, F. Patiño, M. U. Flores, I. A. Reyes, E. G. Palacios, V. H Flores y otros, "Characterization of Mercury Jarosite", *Characterization of Minerals, Metals, and Materials.*, 2017, pp. 585–592.
12. J. E. Dutrizac y T. T. Chen, "The synthesis of mercury jarosite and the mercury concentration in jarosite–family minerals", *Canadian Mineralogist.*, Vol. 19, 1981, pp. 559–569.
13. E. N. Malenga, A. F. Mulaba–Bafudiadi y W. Nheta, "Alkaline leaching of nickel bearing ammonium jarosite precipitate using KOH, NaOH and NH₄OH in the presence of EDTA and Na₂S", *Hydrometallurgy.*, Vol. 155, 2015, pp. 69–78.
14. R. Chang, (2007), *Química* (novena ed.) México, D. F., McGraw–Hill Interamericana.

ANÁLISIS DEL MODELO DE GESTIÓN DEL AGUA EN UNA EMPRESA DEL SECTOR AGROALIMENTARIO

Ángel Cruz Cortez, Lorena Escalera Hernández

Instituto Tecnológico Superior de Irapuato

LIS17110377@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

La situación actual del agua, su manejo, uso y distribución son un tema en donde se ha hecho hincapié desde hace varios años, pues en menos de 100 años el consumo de agua se a multiplicado por 6 a un rito de 1% anual y del cual estima que por lo menos el 30% de este consumo corresponde a la industria, mientras que, en México, el porcentaje del uso del agua asciende apenas al 22% del total extraído en el país, sin embargo, el problema radica en que por lo menos el 42% de las extracciones son enteramente potables, lo que a mediano plazo puede ocasionar que exista escases de agua, siendo que además, uno de los problemas más grandes actuales es el nivel de desechos que se arrojan al agua y lo que eventualmente genera una pregunta ¿Cómo las empresas gestionan el uso interno del agua?

En este sentido, una de las industrias más interesantes en este ámbito es la agroalimentaria, pues, componen una de las industrias que más consume agua y en virtud de esto se ha planteado lo siguiente: es posible secuenciar el proceso de mejora al sistema de gestión de agua para la optimización en el uso del agua empresa del sector agroindustrial en el municipio de Irapuato.

Así pues, para el esto se contó con la participación de una empresa del sector ya mencionado el cual se encuentra ubicado dentro del municipio de Irapuato y que comprende una muestra por conveniencia; el estudio que se realizó se trata de uno cualitativo, descriptivo y exploratorio, pues comprende una primera fase del proyecto. El instrumento usado fue una matriz que revisa elementos de la gestión del agua interna con base en el modelo de la gestión integrada de los recursos hídricos y los principios de gestión ambiental de la ISO 14001-2015, siendo un instrumento de elaboración propia, siendo una aplicación directa y cuyos resultados se analizan de forma descriptiva por medio de gráficos que ponderan el nivel en el que se está gestionando el agua en la empresa en donde se identificaron múltiples áreas donde la empresa apenas ha podido establecer algunas acciones de gestión del agua, por lo que se es necesario establecer un estudio nuevo donde se plantee una revisión de los sistemas de gestión de agua de la empresa de forma estadística a fin de encontrar variables medibles que afecten al rendimiento de este sistema.

Palabras clave: Gestión del agua, uso del agua, modelo de gestión, uso del agua en empresas.

INTRODUCCIÓN

Durante las últimas dos décadas, el agua se convirtió en uno de los temas más importantes y delicados en cuando a mecanismos de uso eficiente, pese a que no es el único, es de los principales a tratar en las discusiones entre mandatarios de diferentes países y es justo que sea así, puesto que en los últimos 5 años muchos países del mundo han enfrentado sequias sin precedentes, así como bajas en el nivel de lluvias, las causas de este cambio climático desigual son diversas y entre ellas se señalan como principales las conductas de contaminación generadas por los seres humanos.

Enfatizando en el cambio climático, uno de los principales causantes del mismo es sin duda la actividad industrial, pues se ven afectados a una gran cantidad de ecosistemas con los desechos que se generan a diario, identificando a la industria como una de las actividades humanas más contaminantes (más específicamente la industria agroalimentaria), en la cual se hace uso de material biológico, químico y sintético mismo que por lo regular se encuentra en el agua, la cual es el recurso más contaminado dentro de esta industria.

Así pues, la estructura motivacional de esta investigación es el de observar cómo es que una empresa maneja el uso del agua de manera interna, es decir, como es la gestión del agua, así mismo, se extiende hasta el hecho de poder identificar las áreas que podrían ser de interés para realizar mejoras sustanciales y fundamentadas en los resultados del estudio.

Así pues, el trabajo se divide en un planteamiento principal con base a la información histórica del uso del agua atendiendo algunas aseveraciones que se encuentran dentro de diversas publicaciones que han realizado algunos organismos internacionales sobre el uso del agua y el impacto a largo

plazo que tendría su uso excesivo; también, se explican las partes que consta el instrumento bajo el cual se trabajó el cual parte de los fundamentos del modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos (GIRH) y de la ISO 14001-2015 enfocada a la gestión ambiental, lo cual permite emitir un primer juicio sobre el manejo del agua dentro de la empresa de estudio.

Por último, se presentan los resultados los cuales permiten tener una perspectiva de lo que se ha logrado en la presente intervención lo que propone una perspectiva desde la cual la gestión del agua pueda también debe considerarse dentro de la misma administración de recursos y no solo como un elemento de gestión ambiental lo que permite proponer un paradigma en el cual la empresa y sobre todo la industria pueda ser un participante activo del cuidado ambiental, aunque en este sentido, aún queda mucho que hacer, pero para lo cual investigaciones como esta intentan abonar conciencia de lo que se puede tomar en cuenta para la mejor gestión de las organizaciones.

ANTECEDENTES

Uno de los recursos más importantes para el ser humano es el agua, el cual, permite la realización de una gran cantidad de actividades, además de ser un elemento sustancialmente necesario en las actividades metabólicas humanas además de actuar en varios procesos a la vez una vez ingerido.

Así pues, el agua se ha ido adaptando a una cantidad de actividades diferentes, siendo un recurso usado en diversos procesos tanto manufactureros como de la vida cotidiana, estando presente en cada etapa de la gran mayoría de los procesos productivos actuales y escalando en importancia y valorización hasta nuestros días, por lo que es necesario primero entender cómo es que se comporta su uso actualmente.

DEMANDA DEL AGUA

Durante los últimos 100 años el consumo global del agua ha incrementado por seis a un ritmo de 1% anual, aproximadamente, y se prevé que lo siga haciendo en función del crecimiento de la población, desarrollo económico y patrones de consumo.

Para 2017 se calculó que en el mundo habitaban cerca de 7.700 millones de personas y se cree que para 2050 esta cifra rondará de los 9.400 millones a los 10.200 millones, esto significa que no solo la población crecerá, sino que también, aumentará la demanda de producción agrícola y energética, las cuales requieren una gran cantidad de agua para sus procesos.

Esto significa que la demanda de agua seguirá creciendo durante las dos décadas siguientes (WWDR, 2018), la producción de alimentos y de energías crecerán en demanda de agua al menos en un 60% a 80%.

La demanda de agua mundial se estima en $4.600 \frac{\text{km}^3}{\text{año}}$ la cual para el 2050 aumentará entre 20% y 30% para el 2050 (Burek et al., 2016) *“las estimaciones a escala global son complicadas debido a los pocos datos de observación disponibles y las interacciones de una combinación de importantes factores políticos, económicos, sociales y ambientales, como el cambio climático global, el crecimiento demográfico, el cambio de uso del suelo, la globalización y el desarrollo económico, las innovaciones tecnológicas, la estabilidad política y el alcance de la cooperación internacional. Debido a estas interconexiones, la gestión local del agua tiene impactos a escala mundial, y los acontecimientos globales tienen impactos locales”*. (Wada et al., 2016, pág. 176).

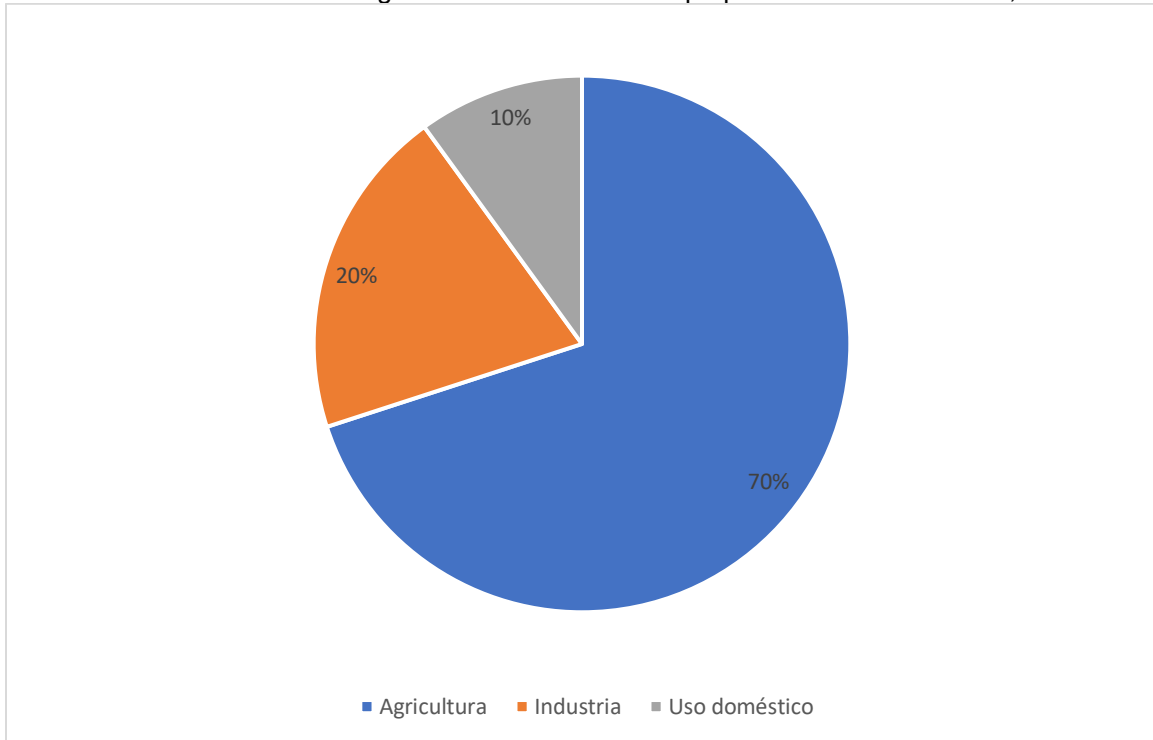
Ante la falta de información de la demanda de agua, aunque se estima que cerca del 70% del agua del mundo se utiliza para riego de cultivos y un inminente crecimiento poblacional, es inherente pensar en la expansión de las tierras cultivables, lo que, con los modelos de gestión actuales, implicaría perturbar los ecosistemas y por lo tanto dañarlos.

Por otro lado, la industria solo representa el 20% de las extracciones del agua del mundo, donde, el 75% es utilizado en el sector energético y el 25% restante se utiliza en actividades de producción. Así mismo para 2050 se estima que la demanda de agua aumente hasta un 400% en la industria manufacturera, donde el 85% de esta agua se redirigirá a las plantas energéticas más eficientes.

Por último, el 10% de agua restante, se usa para consumo doméstico, el cual, crecerá en todas las regiones del mundo, en función de la población, la cual se prevé que se concentrará, al menos dos tercios de esta, en las zonas urbanas.

En resumen, el consumo de agua seguirá creciendo de forma significativa por las siguientes dos décadas. La demanda del agua para uso industrial y doméstico posiblemente crecerá mucho más rápido que para uso agrícola, aunque esta será la actividad que demande más agua (WWDR, 2018).

Gráfica 9. Consumo de agua mundial. Elaboración propia con base en WWDR, 2018



ESCASEZ DEL AGUA

Muchos países ya están experimentando condiciones generalizadas de escasez de agua y probablemente tendrán que hacer frente a una siempre menor disponibilidad de agua superficial en la década de 2050 (WWDR, 2018).

Para el 2050, se prevé que la extracción de aguas subterráneas ascenderá a $1.100 \frac{Km^3}{año}$, es decir, la extracción subterránea de agua aumentará al menos un 39% (Burek et al., 2016), esto supone que también se extraigan grandes cantidades de agua fósil las cuales no son renovables, por lo que no sería un medio sustentable.

Ilustración 14. Escasez del agua 2010. (WWDR, 2018)

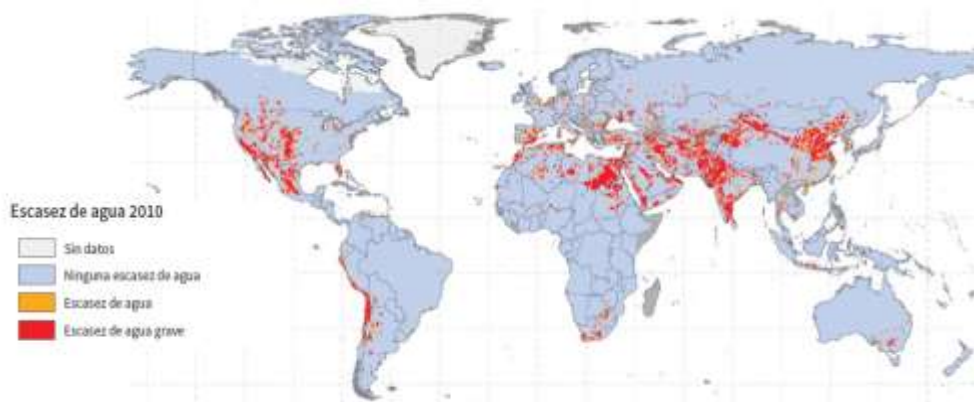
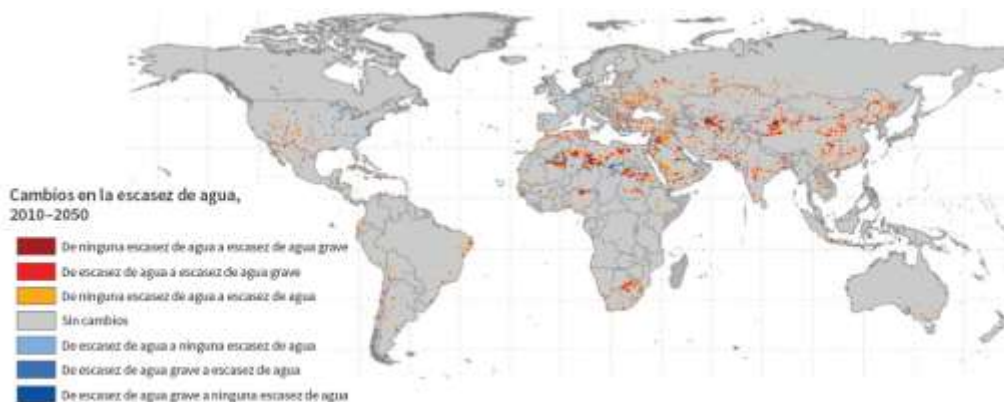


Ilustración 15. Cambios en la escasez de agua, 2010-2050. (WWDR,2018)



Se estima que el 80% del total de las aguas residuales industriales y municipales se liberan en el medioambiente sin ningún tratamiento previo, lo cual da como resultado un deterioro creciente de la calidad general del agua con impactos perjudiciales en la salud humana y los ecosistemas (WWAP, 2017).

A pesar de décadas de regulación y grandes inversiones para reducir la contaminación puntual del agua en los países desarrollados, los desafíos de la calidad del agua perduran como resultado de fuentes difusas de contaminación insuficientemente reguladas (WWDR, 2018).

EL AGUA EN MÉXICO

En México, durante el 2018, la CONAGUA, reveló que el solo cerca del 42% del agua, tanto de tomas superficiales como subterráneas, tiene las características óptimas para el uso y consumo humano, es decir, ni el 50% de las tomas de agua existentes en el país son óptimas para el consumo humano. Según el Fondo para la Comunicación y Educación Ambiental, a través de su portal conocido como Agua.org.mx, *“México recibe alrededor de 1,489 mil millones de metros cúbicos al año de agua en forma de precipitación, de los cuales el 67% cae entre junio y septiembre, sobre todo en la región sursureste (Chiapas, Oaxaca, Campeche, Quintana Roo, Yucatán, Veracruz y Tabasco), donde se recibe 49.6% de la lluvia.”*

Así mismo, igual que a nivel mundial, México espera un incremento considerable de su población, pues según el último censo poblacional realizado en 2015, en México habitaban cerca de 119 millones de personas de las cuales 51.4% eran mujeres y 48.6% hombres, para el 2030 la CONAPO prevé que la población aumente hasta en 20.4 millones, de las cuales al menos el 75% se encontrará residiendo en zonas urbanas; mientras que para 2020, la población mexicana se estimó en 126,014,024 habitantes, compuesto por un 51.2% de hombres (64,519,181 hombres) y 48.8% por mujeres (61,494,843 mujeres).

Por otro lado, en 2012 se calculó que una persona gastaba cerca de 208 litros de agua diarios, sin embargo, el uso doméstico (al que corresponde el cálculo anterior), no representa más que el 10% del consumo total del país, mientras la agricultura representa el 76% y la industria el 22%, mientras el 2% restante se encuentra distribuido entre otras actividades.

Así entonces se concluye que la situación que enfrente el agua y por lo tanto su gestión ha ido empeorando progresivamente, muchas investigaciones advierten de un día cero, en el cual el agua del mundo comenzará a escasear. La industria acapara el 30% de las extracciones del mundo, en México representa el 22%.

EL USO DEL AGUA A NIVEL LOCAL

Así como se vio en los casos anteriores, a nivel local el agua se comporta de forma similar, sin embargo, los organismos locales no liberan datos del consumo del agua de forma pública y en muchas ocasiones, los datos obtenidos provienen de fuentes poco confiables que basan sus estudios en deducciones a partir de estimaciones hechas con base en fuentes como las expuestas

anteriormente. Sin embargo, algunas empresas muestran resultados estimatorios de su propio uso a fin de poder estimar el costo del agua dentro del proceso productivo; el cual es el caso particular. Así pues, la empresa sobre la que se realiza el estudio estima empíricamente sus gastos semanales de agua en por lo menos 10m^3 por cada tonelada de producto, lo que significa que el gasto de agua es alto, pues, el producto que se comercializa (espárragos) debe limpiarse y desinfectarse conforme a las reglas de sanidad impuestas por el estado, a lo cual se responde dando una limpieza detallada de las unidades usadas.

Así pues, la empresa estima que por lo menos por cada mes gasta cerca de 80m^3 de agua, lo que cada año significaría cerca de 960m^3 de agua, aunque, sin tomar en cuenta que el producto que se maneja tiene un periodo de alta producción cerca de los meses de enero a abril y teniendo una bajada importante de producción para las épocas de lluvias, lo que podría significar que el valor anual de agua que se gasta en la empresa es parcialmente incierto, aunque el valor calculado, sirve como un indicio de cual podría ser el consumo total anual de la empresa.

INTERVENCIÓN

Con base en lo anterior revelado por la empresa se entendió que para poder estudiar el modelo de gestión del agua es necesario primero entender que es lo que se realiza día a día, para lo cual se construyó un instrumento de intervención que permitiera entender el contexto de la organización, pues, al ser una empresa familiar que no se ha formalizado administrativamente, implica que no se han tomado mediciones precisas sobre el uso de algunos recursos dentro de la empresa y uno de esos recursos es el agua, que como se comentó, se ha medido de forma empírica, para lo cual, se debe construir un primer instrumento el cual entienda como es que los colaboradores han administrado sus recursos hídricos.

Todo lo anterior para entender de qué forma se podría mejorar la gestión del agua dentro de la empresa, para lo cual se seguirá un proceso que abarca desde la descripción, observación, definición, diseño y experimentación de las variables que influyen en la gestión del agua de la empresa. Así pues, se entiende que para poder llegar al nivel de experimentación es necesario primero describir la situación actual del sistema y de como este se conforma a la vez que se caracteriza en su totalidad para poder evaluar cómo es que este se compone.

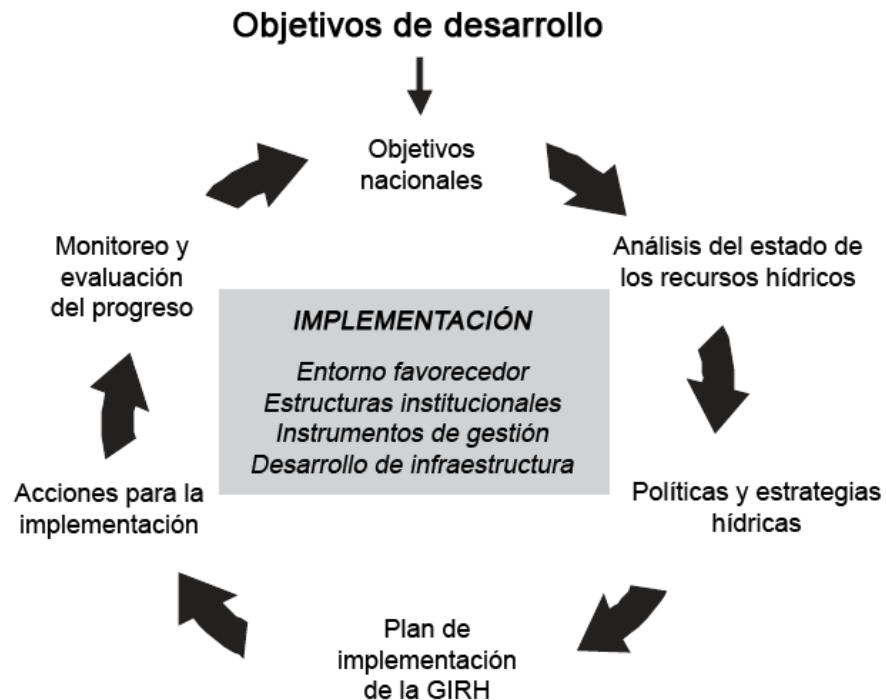
INSTRUMENTO

el instrumento se compone de dos elementos, el primero es el Modelo de Gestión Integrada de los Recursos Hídricos, el cual busca un enfoque que promueve el desarrollo y manejo coordinados del agua, la tierra y otros recursos relacionados, con el fin de maximizar el bienestar económico y social resultante de manera equitativa, sin comprometer la sostenibilidad de los ecosistemas vitales.

El GIRH según las Naciones Unidas, es una idea que se ha estructurado desde la primera conferencia global en Mar del Plata en 1977, pero fue hasta después de la Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible en 1992 en Río cuando el concepto de GIRH fue objeto de profundos debates que incluían sus implicaciones en la práctica.

Actualmente el GIRH se comprende 6 elementos clave para el planteamiento de los objetivos de desarrollo en materia de gestión hídrica, como se muestra en la Ilustración 16.

Ilustración 16. Modelo conceptual de la gestión integrada de los recursos hídrico (UN,2015)



En el modelo se contempla una secuenciación de actividades, pero, en el caso del instrumento, se contemplan estos como áreas de observación interesantes para el desarrollo de las observaciones preliminares. En segundo lugar, de la ISO 14001, 2015, se toman algunos fundamentos de gestión ambiental, siendo el capítulo 4: "contexto de la organización" el que aporta la mayor parte de los elementos a evaluar.

Así mismo el instrumento emplea escalas porcentuales para su evaluación, que de acuerdo al criterio de aplicador, será calificado cada elemento; las escalas porcentuales se distribuyeron en 5 grupos y cada grupo define una calificación específica de acuerdo a los criterios que se muestren por lo que para cada uno de los elementos es posible definir una calificación dentro del rango, siendo que cada rango es independiente y que pueden tenerse múltiples elementos dentro de cada grupo, entendiéndose que la calificación será la composición de lo que se observe dentro de la empresa

RESULTADOS

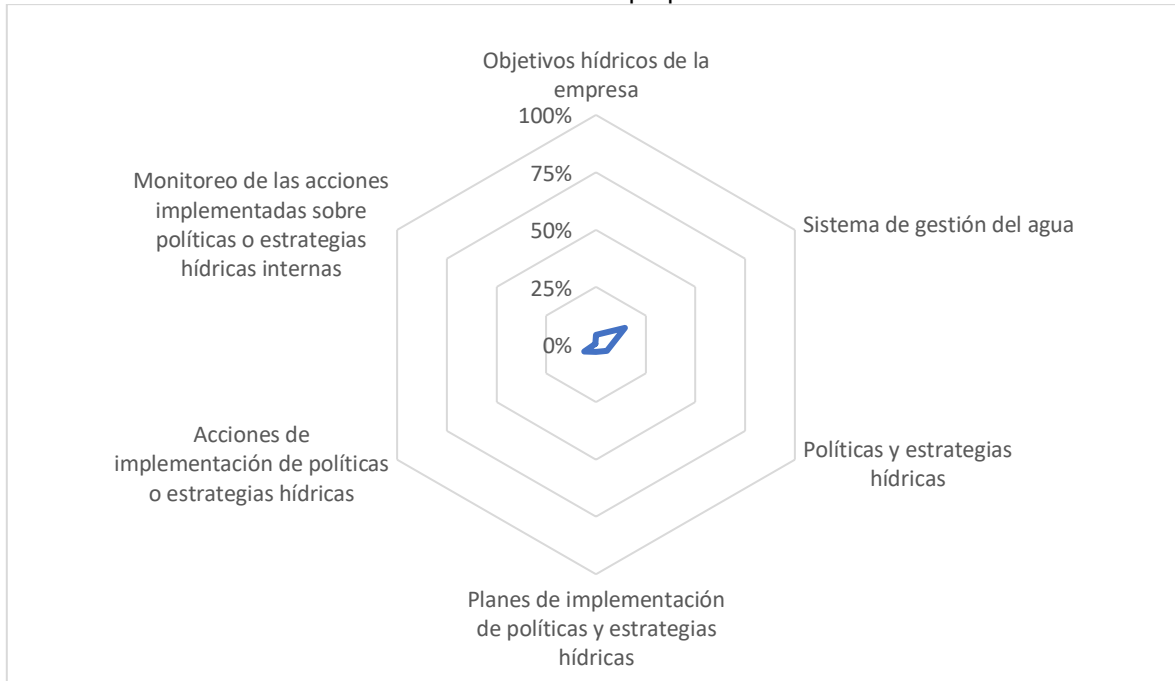
los resultados que se obtuvieron de la aplicación para cada uno de los elementos que componen el instrumento se promediaron y dieron como resultado un puntaje para cada sección el cual se graficó posteriormente en un gráfico de radial o de tela de araña, el cual permite observar cómo los puntajes se comportan de forma comparativa (ver Gráfica 10) así mismo, en la Tabla se muestran tanto los puntajes obtenidos, así como, las observaciones generales que se realizaron con base en las observaciones que se hicieron de manera particular a algunos elementos evaluados en los cuales el aplicador consideró que debían tomarse en consideración.

Gráfica 10) así mismo, en la Tabla se muestran tanto los puntajes obtenidos, así como, las observaciones generales que se realizaron con base en las observaciones que se hicieron de manera particular a algunos elementos evaluados en los cuales el aplicador consideró que debían tomarse en consideración.

Tabla 1. Resultados preliminares. Elaboración propia.

	Promedio	Observaciones
Objetivos hídricos de la empresa	4%	Se requiere que la organización plantee correctamente los objetivos hídricos y que estén relacionados con los objetivos generales. Los objetivos hídricos deberán presentarse a los gerentes y eventualmente a los colaboradores.
Sistema de gestión del agua	15%	El sistema está establecido de forma empírica. No se encuentra documentado, teniendo acciones que son reportadas por el dueño.
Políticas y estrategias hídricas	5%	Las políticas y estrategias hídricas se encuentran ausentes. Se encuentran prácticas sobre el uso del agua orientadas a su reuso, misma que tiene la salvedad de contener tisanópteros. Las prácticas no se encuentran documentadas.
Planes de implementación de políticas y estrategias hídricas	3%	No se cuenta con un plan de implementación de políticas y estrategias sobre el uso del agua.
Acciones de implementación de políticas o estrategias hídricas	6%	Se realizan algunas acciones sobre el uso del agua, tales como, captación de agua desde la toma pública, distribución interna, reúso del agua y liberación al ambiente (calle, drenaje público y aceras cercanas). Las acciones no son planificadas ni ejecutadas con la regularidad suficiente.
Monitoreo de las acciones implementadas sobre políticas o estrategias hídricas internas	0%	Ninguna actividad se monitorea y tampoco se mide el impacto de las mismas.

Gráfica 10. Resultados de la evaluación del sistema de gestión de agua de la empresa.
Elaboración propia.



Como puede observarse en la Gráfica 10 los elementos que componen el instrumento muestran puntajes que apenas son notables y muestran muy poca variación, lo que indica en gran medida que es necesario estudiar a fondo cada uno de los elementos que componen las secciones propuestas y evaluar nuevamente el por qué estos elementos presentan estos puntajes, pero para identificarlo se habrá que diseñar un instrumento con mucho más rigor y que permita correlacionar variables para poder ejecutar acciones de corrección mucho más importantes.

CONCLUSIONES

Los aspectos captados a lo largo del proyecto han demostrado la importancia en el enfoque global que como sociedad debemos tener en la demanda y consumo de agua, se trata de una situación seria ya que la expansión demográfica pronosticada indica un incremento en la demanda de todos los productos y servicios propiciando con ello la escasez, teniendo en cuenta que esta es fomentada también por la gestión ineficiente de las empresas para reutilizar el agua y evitar que se contamine, en México se espera un crecimiento considerable en población y por ende en demanda y consumo de agua

Atendiendo al caso de estudio que es la empresa empacadora de espárragos su gestión del agua esta apegada al modelo de gestión establecido por el gerente de la empresa; no obstante los resultados que se obtuvieron al realizar el análisis no son los más alentadores ya que, los objetivos hídricos de la empresa son ambiguos y con una estructura débil con tan solo un 4% de resultado en la evaluación, en cuanto al indicador (sistema de gestión del agua) fue obtuvo 15% a un que este modelo de gestión está establecido no es posible estudiarlo a consciencia porque no está plasmado de forma oficial, en lo referente a las políticas y estrategias hídricas con 5% se puede observar que básicamente no se tiene ningún mecanismo establecido que favorezca el uso o implementación de estas estrategias ya que si bien se tiene una idea y aplicación del reúso de agua es deficiente y no está controlado de manera que resulta casi inviable y lo mismo ocurre con los planes de implementación que cuentan con un 3% en su evaluación ya que al no haber una estrategia establecida la aplicación puede resultar bastante incierto aplicar las ideas que se tienen de manera que estas terminan siendo llevadas a cabo de una manera poco uniforme y programada, las acciones

de implementación de las estrategias y políticas hídricas así como el monitoreo y seguimiento de las mismas cuentan con una puntuación de cero respectivamente debido a que si bien se llevan a cabo algunas acciones que permiten el reúso del agua; no existe ninguna estrategia que pueda ser seguida y monitorizada.

El uso del método GIRH y la norma ISO 14001 - 2015 permiten la identificación de varias áreas de acción que pueden ser implementadas por la empresa para crear y desarrollar un adecuado manejo y control de gestión del agua sistematizado presentando, al caso particular actual, el panorama general de la empresa y a partir de ella puede ser aplicada y planteado un sistema de gestión del agua, no obstante es necesario analizar más a fondo las ventajas y los contras de este modelo para saber si es posible aplicarse a otros casos.

Así pues el panorama general presentado muestra antecedentes de una ya creciente necesidad de que los recursos hídrico estén adecuadamente gestionados y el hecho de que la escasez es un problema real y es preciso tomarla muy en serio ya que afecta a todos los seres vivos en el planeta, la situación es especialmente crítica para México que no cuenta con mucha agua que pueda ser utilizada y sus sistemas de gestión resultan un tanto deficientes si los comparamos con otros países y a un sin esta comparativa es evidente el inminente agotamiento de este recurso. Como punto final es importante recomendar a todas las empresas principalmente las del sector agroindustrial implementar sistemas de gestión del agua para que esta sea utilizada de manera responsable y con impactos ambientales favorecedores dando una oportunidad al bienestar del planeta.

REFERENCIAS

1. CONAGUA. (2019) Calidad del agua en México. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/articulos/calidad-del-agua>
2. Silva Rodriguez, J. A. (2014). La gestión del agua a través de sus modelos. Obtenido de <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xix/docs/10.06.pdf>
3. World Water Assessment Program. (2018). Soluciones basadas en la naturaleza para la gestión del agua. Brasilia, Brazil: UNESCO.
4. World Wildlife Fund. (2012). Huella Hídrica en México en el contexto de Norteamérica. México: WWF México.
5. Ñaupas, H., Mejía, E., Novoa, E., & Villagomez, A. (2014). Metodología de la investigación. Cuantitativa- Cualitativa y tesis. Bogotá, Colombia: Ediciones de la U.

DISEÑO DE INTERFAZ GRÁFICA EJECUTABLE PARA CÁLCULO Y SELECCIÓN DE TUBERÍA PARA SISTEMAS HIDRÁULICOS DE CLASE III

Dennise Ivonne Gallardo Alvarez, Juan Pablo Razón González, Israel Duran Belman, Juan Antonio Magdaleno Zavala

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.
dennise.ga@irapuato.tecnm.mx, juan.rg@irapuato.tecnm.mx, israel.db@irapuato.tecnm.mx,
juan.mz@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

El sector industrial en la actualidad se encuentra en un punto crítico que exige soluciones que combinen precisión, rapidez y un alto nivel de confiabilidad para todos sus procesos. Estas consideraciones deben contemplarse desde las aulas de las escuelas de ingeniería para abordarse en los contenidos temáticos de las asignaturas pertinentes para lograr el desarrollo de las competencias académicas requeridas por la industria para la resolución de los problemas actuales usando las tecnologías de vanguardia para eficientar el manejo de grandes volúmenes de información que hagan posible avalar las competencias que el sector industrial demanda. Derivado de las tendencias de la Industria 4.0, es que toma una relevancia fundamental el uso de técnicas basadas en el Big Data. En este trabajo se presenta el diseño de un software para cálculo y selección de tuberías, dicho programa se desarrolla como una interfaz gráfica ejecutable basada en el lenguaje de programación de Matlab® y que está enfocado en la resolución de problemas de tubería de clase III, es decir, en determinar el tamaño de tuberías a través de un manejo automatizado y preciso de la información existente en los catálogos comerciales que se encuentran disponibles. Esta aplicación determina el tamaño de la tubería comercial basado en diferencias de presión, elevación, temperatura del fluido y flujo volumétrico como parámetros críticos de diseño. El algoritmo de solución utiliza técnicas de Big Data para manipular de manera precisa grandes volúmenes de información para obtener resultados precisos en tiempos reducidos sin comprometer la confiabilidad del proceso de diseño de sistemas de tuberías; de esta forma se optimiza el proceso de diseño con cálculos precisos y rápidos en comparación a los métodos analíticos tradicionales. Se presentan los resultados comparativos entre los métodos analíticos y la solución basada en la aplicación PAST, observando un incremento en la precisión de la determinación de los parámetros geométricos de la tubería y una reducción del tiempo de cálculo con el uso de la interfaz gráfica desarrollada.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad existen diversas aplicaciones de los sistemas de tuberías en ámbitos tan diferentes que van desde el sector agroindustrial primario hasta los procesos productivos más avanzados, estos involucran tanto diferentes tipos de fluidos, así como diversos materiales de las tuberías que se definen de acuerdo a los rangos de operación definidos desde el diseño de cada proceso. Los tiempos en la industria exigen soluciones que presenten la combinación entre precisión, confiabilidad y rapidez para la implementación de nuevos sistemas que solventen las necesidades de diseño e implementación de los nuevos sistemas de tubería en los diferentes sectores. Dados los tiempos de respuesta requeridos por el sector productivo actual, resulta poco factible el realizar estos cálculos de forma tradicional y normalmente las áreas de diseño y los departamentos de ingeniería optan por aplicaciones computacionales que permitan reducir el tiempo invertido para este fin e incrementar la confiabilidad de los resultados.

Comercialmente existen diversas alternativas que ofrecen soluciones a los requerimientos de los sectores productivos a un costo relativamente elevado. Estos programas de cómputo permiten caracterizar ni parametrizar una aproximación real al comportamiento de los fluidos, a las pérdidas energéticas, a las caídas de presión y a los parámetros de diseño de la tubería comercial adecuada para cada aplicación. En los últimos 70 años los softwares más comunes para cálculo de tubería son el WaterCAD y el WaterGEMS (**Bentley-WaterCAD, 2018**), también el Epanet (**Epanet, 2017**). Estos programas son los que tienen el mayor reconocimiento, pero presentan diferentes limitaciones: no consideran los efectos de las pérdidas energéticas por los accesorios de la tubería y las válvulas; tampoco involucran la fricción de materiales al considerar las tuberías de un material hidráulicamente

liso, alejándose de la caracterización apegada a la realidad del sistema que se pretende diseñar. A partir de estas limitaciones que presentan los softwares comerciales, se desarrolló una aplicación computacional basada en el lenguaje de Matlab® (**Cervantes, 2012**); misma que se presenta como una interface gráfica capaz de determinar el tamaño de la tubería en función de sus requerimientos de diseño y considerando los efectos del factor de rugosidad de cada material de acuerdo a las ecuaciones de Darcy, Hagen-Poiseuille, Moody (**Mataix, 2009**) y el nomograma de Hazen-Williams (**Mott, 2006**) también se incluyen las ecuaciones Chézy, Manning y Darcy- Weisbach para la evaluación de las pérdidas de carga (**Jiménez-Medina, 2015**).

Esta interface gráfica permite calcular el tamaño de tubería comercial adecuado para las características de operación de un sistema propuesto. Esta aplicación permite seleccionar el sistema de unidades, los accesorios, el tipo de salida del fluido desde el tanque a la red de tubería, el caudal y la rugosidad de la tubería que está definida para cada material; en los casos de tuberías no listadas en el catálogo se puede ingresar el parámetro de rugosidad de forma manual. Este trabajo presenta el diseño de una aplicación que emplea técnicas de Big Data para el manejo de grandes conjuntos de datos complejos procedentes de nuevas fuentes. Estos conjuntos de datos son tan voluminosos que un software de procesamiento de datos convencional sencillamente no puede gestionarlos. Sin embargo, estos volúmenes masivos de datos pueden utilizarse para abordar problemas empresariales e ingenieriles que antes no hubiera sido posible solucionar (**Oracle, 2013**).

Para entender qué significa realmente “Big Data”, resulta útil conocer ciertos antecedentes históricos, como la definición de Gartner que lo describe como “datos que contienen una mayor variedad y que se presentan en volúmenes crecientes y a una velocidad superior”. Esto se conoce como “las tres V”: Volumen, Velocidad y Variedad; parámetros a los que se han agregado otras dos “V”: Valor y Veracidad (**Sicular, 2013**). El Volumen en big data hace referencia a la cantidad de datos no estructurados de baja densidad que se procesarán. La Velocidad es el ritmo al que se reciben los datos y al que se le aplica alguna acción. La Variedad hace referencia a los diversos tipos de datos disponibles. Los dos criterios restantes, Valor y Veracidad, agregan un valor intrínseco, sin embargo, no tienen ninguna utilidad hasta que dicho valor se descubre. Resulta igualmente importante determinar la veracidad de los datos y cuánto se puede confiar en ellos (**Oracle, 2013**).

TEORÍA

Para el análisis de sistemas de tuberías de clase III se presentan diferentes esquemas. El más común se define a través de un par de puntos A y B que representan la entrada y salida del sistema. El primer caso es cuando no hay cambios en la elevación, como se muestra en la figura 1. Esto en la aplicación se ingresa como 0 en los puntos 1 y 2.

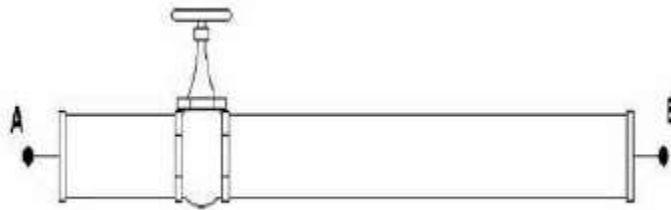


Figura 84 Sistema sin cambio de elevación

Por otra parte, se tiene el caso donde no hay cambios en la presión ya que los dos tanques se encuentran abiertos a la atmósfera y se consideran con una presión manométrica de 0, como se presenta en la figura 2.

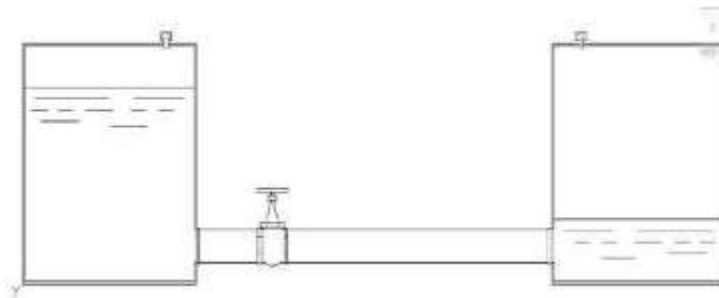


Figura 85 Sistema sin cambios de presión

En otro caso se puede plantear la caída máxima de presión y expresarlo como una diferencia de presiones entre los puntos 1 y 2; esto para que se cumpla con una diferencia de presión en caso de ser requerido. La aplicación permite elegir el sistema de unidades deseado para calcular la tubería de acuerdo a los parámetros de diseño. Al seleccionar el sistema de unidades todos los valores de las tablas se ajustarán a las unidades correspondientes previo a iniciar la simulación. La primera ventana del menú contextual para la elección del sistema de unidades se presenta en la figura 3.

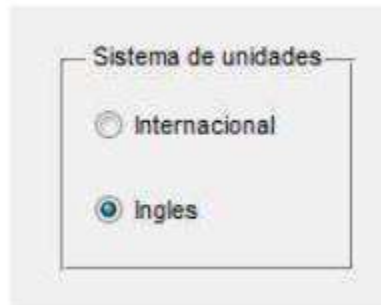


Figura 86 Sistemas de unidades

La aplicación requiere parámetros que deben ser ingresados para que el algoritmo de solución permita entregar resultados, estos datos de entrada son la longitud de la tubería, diferencia de presión, cambio en las elevaciones y temperatura. De acuerdo al sistema de unidades que se elija, la aplicación le indica al usuario las unidades que debe ingresar para mantener la congruencia durante el proceso de cálculo, tal como se muestra en la figura 4.

Longitud:	<input type="text"/>	pies	Longitud:	<input type="text"/>	metros
Presión 1:	<input type="text"/>	psi	Presión 1:	<input type="text"/>	kpa
Presión 2:	<input type="text"/>	psi	Presión 2:	<input type="text"/>	kpa
Altura 1:	<input type="text"/>	pies	Altura 1:	<input type="text"/>	metros
Altura 2:	<input type="text"/>	pies	Altura 2:	<input type="text"/>	metros
Temperatura:	<input type="text"/>	°f	Temperatura:	<input type="text"/>	°c

Figura 87 Sistema inglés y sistema internacional de unidades

Para la selección del material se cuenta con un catálogo de tuberías comerciales entre los que se pueden elegir los más comunes en el mercado actual: vidrio (**Vidrasa, 2017**), plástico (**Charter-plastics, 2018**), (**PPI, 2018**), cobre (**Copper-Alliance, 2018**); (**Nacobre, 2016**), hierro (**DIPRA, 2015**), acero (**TubeNet, 2018**), entre otros; esto se desplegará a través de un menú; tal como se presenta en la figura 5.

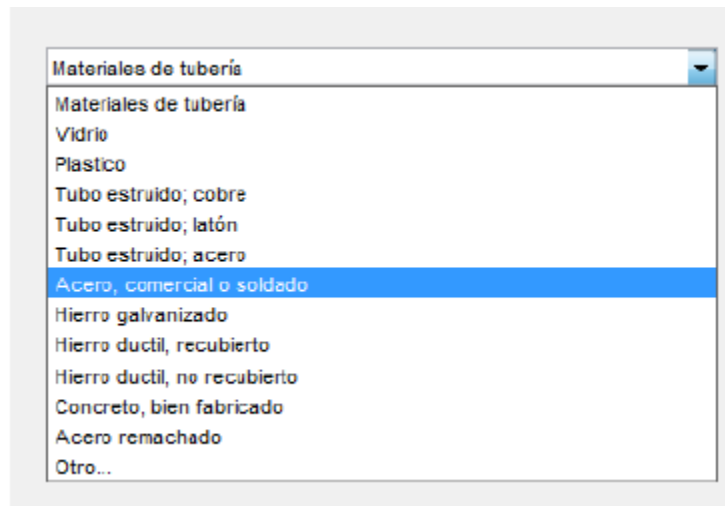


Figura 88 Lista de materiales de tubería disponibles en la aplicación

Para el caso del acero comercial o soldado, al elegir esta opción se desplegará una ventana que ofrece entre dos opciones: cédula 40 y cédula 80, como se puede ver en la figura 6.

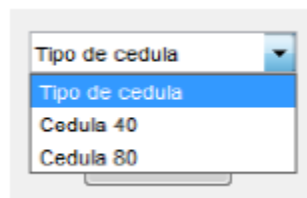


Figura 89 Ventana emergente para el tipo de cédula

Accesorios

Este programa cuenta con una serie de accesorios como son los codos y las válvulas, esto con el fin de aproximar a condiciones reales el análisis del sistema hidráulico, incrementando así la precisión. En el menú de la aplicación se presenta un botón deshabilitado para los accesorios, este se activa a través de un "radio button", ya que son diferentes métodos de solución al considerar un análisis con o sin accesorios, de esta manera se indica al algoritmo el método de solución que será empleado; tal como se muestra en la figura 7.



Figura 90 "Radio button" para selección de método de solución con o sin accesorios.

Cabe mencionar que en esta versión están disponibles únicamente los accesorios para tubería de acero comercial o soldado, esto se ilustra en la figura 8.



Figura 91 Ventana de accesorios

Esta ventana permite elegir entre 10 tipos de accesorios, entre ellos: válvulas de globo, de ángulo, de compuerta, de verificación tipo bola y giratorio, de mariposa, válvula de pie tipo vástago y bisagra, codos roscados y estándar a 45° y 90°, vueltas cerradas en retorno y Te estándar tanto en flujo directo como con flujo en el ramal.

Comparativa entre método analítico tradicional y solución con PAST (con accesorios)

Para calcular el tamaño de la tubería nueva y limpia de cédula 40 que conducirá 0.50 pies³/seg de agua a 60°F, incluye una válvula de mariposa abierta por completo y dos codos de radio largo; restrinja la caída de presión a 2.00psi en una longitud de 100 pies de tubería horizontal. Considerando que para el análisis de sistemas de tubería de clase III con accesorios se toma como base el diámetro nominal del análisis de sistemas de tuberías de clase III sin accesorios (**Mott, 2006**), (**Mataix, 2009**). En primer lugar, se calcula la pérdida de energía limitante, observando que la diferencia de elevación es igual a cero y el cambio de velocidades es tan pequeño que se considera despreciable. Partiendo de estas simplificaciones teóricas se tiene lo siguiente:

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{v_1^2}{2g} - h_L = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (1)$$

$$h_L = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} \quad (2)$$

$$h_L = \frac{2 \text{ lib/pulg}^2}{62.4 \text{ lib/pie}^3} \left[\frac{12 \text{ pulg}}{1 \text{ pie}} \right]^2 \quad (3)$$

$$h_L = 4.62 \text{ pies}$$

La rugosidad relativa del material, viscosidad cinemática y peso específico del agua a 60°F se puede consultar en el apéndice A del libro Mecánica de Fluidos (**Mott, 2006**). Enseguida se introduce el valor de h_L en la expresión del diámetro para encontrar el valor del diámetro calculado

$$D = (0.66) \left[\epsilon^{1.25} \left[\frac{LQ^2}{gh_L} \right]^{4.75} + \nu Q^{9.4} \left[\frac{L}{gh_L} \right]^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = (0.66) \left[(1.5 \times 10^{-4})^{1.25} \left[\frac{(100)(0.5)^2}{(32.2)(4.62)} \right]^{4.75} + (1.21 \times 10^{-5})(0.5)^{9.4} \left[\frac{100}{(32.2)(4.62)} \right]^{5.2} \right]^{0.04}$$

$$D = 0.3089 \text{ pies}$$

Se puede verificar en las tablas de acero comercial o soldado para tuberías de acero cédula 40, apéndice F del libro Mecánica de fluidos (**Mott, 2006**). El diámetro que se estará utilizando será el diámetro calculado sin accesorios de $D = 0.3355$ pies. Para simular una caída de presión deseada de 2.0psi. Después se examinará el valor resultante de la presión en el punto 2 para ver si es mayor o igual a 0psi, como se muestra en la ecuación (5)

$$P_2 = P_1 + \Delta P \quad (5)$$

$$P_2 = 0 \text{ PSI}$$

Para determinar el área se emplea la ecuación (6), para el caudal la ecuación (7) y para la velocidad la ecuación (8)

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \quad (6)$$

$$A = \frac{\pi(0.335 \text{ pies})^2}{4} = 0.0884$$

$$Q = Av \quad (7)$$

$$v = \frac{Q}{A} \quad (8)$$

$$v = \frac{0.5 \text{ pies}^3/\text{seg}}{0.0884 \text{ pies}^2} = 5.55 \text{ pies/seg}$$

Después se determina el Número de Reynolds y la Rugosidad Relativa usando las ecuaciones (9) y (10)

$$N_R = \frac{vD}{\nu} \quad (9)$$

$$N_R = \frac{(5.55 \text{ pies/seg})(0.3355 \text{ pies})}{1.21 \times 10^{-5} \text{ pies}^2/\text{seg}} = 153886.3636$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{\epsilon}{D} \quad (10)$$

$$\text{Rugosidad Relativa} = \frac{1.50 \times 10^{-4} \text{ pies}}{0.3355 \text{ pies}}$$

$$= 0.0000447093$$

Después se determina el factor de fricción a través de la ecuación (11)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{5.74}{N_R^{0.9}} \right) \right]^2} \quad (11)$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1.5 \times 10^{-4} \text{ pies}}{0.3355 \text{ pies}} + \frac{5.74}{(153886.3636)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0191$$

Determinando las pérdidas de energía a través de la ecuación (12)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log_{10} \left(\frac{1.5 \times 10^{-4} \text{ pies}}{0.3355 \text{ pies}} + \frac{5.74}{(153886.3636)^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0191$$

Tomando los valores correspondientes y resolviendo se obtiene la pérdida energética

$$h_L = 3.4994 \text{ pies}$$

Despejando la presión para el punto 2 de la ecuación general de la energía con el valor de las pérdidas de energía calculadas previamente, esto de acuerdo a lo mostrado en la ecuación (13)

$$p_{2real} = p_1 - \gamma \left(z_1 - z_2 + \frac{(v_1)^2 - (v_2)^2}{2g} - h_L \right) \quad (13)$$

Evaluando la expresión con los datos obtenidos de los apéndices del libro de Mecánica de fluidos (Mott, 2006) se obtiene:

$$p_{2real} = 0.48359 \text{ psi}$$

PARTE EXPERIMENTAL

Se acostumbra usar etapas que se pueden identificar con letras como en el ejemplo: Este resultado muestra que la presión en el punto 2, en el extremo del sistema es de 0.4835psi. Siendo el diseño satisfactorio. Las pérdidas provocadas por los codos y válvulas son en verdad pérdidas menores. La dimensión nominal de tubería comercial que cubre estas especificaciones corresponde a la tubería de acero de 4 pulgadas cédula 40, con diámetro interno de $D = 0.3355$ pies. Si se realiza el cálculo usando el software PAST, una vez que se elige el sistema de unidades se debe introducir cada parámetro en el campo correspondiente. Se ingresa la diferencia de presiones, el cambio en la elevación y la temperatura del fluido, como se ilustra en la figura 9.

Longitud:	<input type="text" value="100"/>	pies
Presion 1:	<input type="text" value="2"/>	Psi
Presion 2:	<input type="text" value="0"/>	Psi
Altura 1:	<input type="text" value="0"/>	pies
Altura 2:	<input type="text" value="0"/>	pies
Temperatura :	<input type="text" value="60"/>	°F

Figura 92 Parámetros de diseño de la tubería

Una vez que se elige el material de la tubería, el tipo de cédula y se habilitan los accesorios; aparecerá la ventana que permite seleccionar los accesorios que se indican para cada caso, así como el tipo de salida del depósito a la tubería para incluir el efecto de esa pérdida energética, esta ventana se muestra en la figura 10

Figura 93 Ventana de accesorios

Una vez que todos los parámetros se han ingresado, se seleccionaron los accesorios y el tipo de salida del depósito. En la figura 11 se presenta el botón de calcular y el resultado obtenido.

Figura 94 Botón de calcular y tubería resultante

Se puede observar que el resultado en esencia es el mismo, pero obtenido mediante técnicas de manipulación de grandes volúmenes de datos de forma rápida y confiable como lo indica el Big Data.

RESULTADOS

Para evaluar la funcionalidad de la aplicación PAST (Programa de Análisis de Sistemas de Tubería, nombre asignado a la aplicación), se consideraron diferentes ejercicios tomados del libro Mecánica de Fluidos sexta edición de Robert L. Mott, del capítulo 11 Sistemas de tuberías en serie para los sistemas de clase III; estos ejercicios fueron resueltos por alumnos de la carrera de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, estos estudiantes estaban cursando o habían aprobado la materia de Mecánica de fluidos. Con esta prueba se obtuvo el tiempo que demoraban en resolver los problemas, después se resolvieron los ejercicios usando la aplicación. Los resultados obtenidos en esta etapa se pueden apreciar en la figura 12.

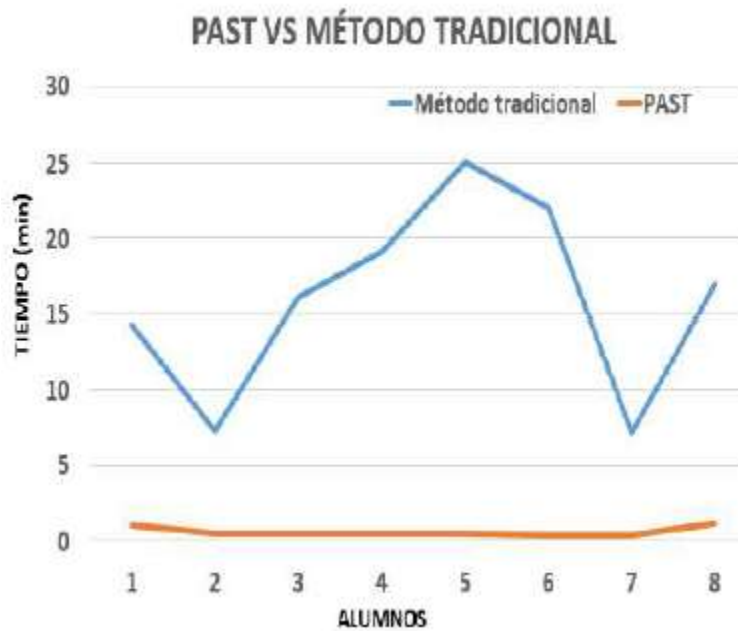


Figura 95 Programa de análisis de Sistemas de Tuberías de Clase III contra el método analítico tradicional

Después de obtener los tiempos de solución entre los métodos usados, se determinaron los promedios que se muestran en la tabla 1.

Tabla 29 Promedios de tiempos de solución

Método empleado	PROMEDIO (min)
METODO TRADICIONAL	16:14
PROGRAMA COMPUTACIONAL	00:49

Como se puede observar, el tiempo de solución se reduce considerablemente para los sistemas de tuberías de clase III, usando el programa computacional PAST, cabe aclarar que los problemas que se tomaron como referencia fueron los primeros del capítulo antes mencionado, si se hubieran propuesto problemas con accesorios el tiempo requerido para el cálculo habría incrementado

drásticamente debido al análisis complejo que se requiere para su solución. El algoritmo de solución del programa PAST es flexible y reconfigurable, permitiendo de esta manera soluciones obtenidas de grandes volúmenes de datos a través del empleo de técnicas de Big Data; esto sin comprometer la confiabilidad de los resultados entre un enorme volumen de datos variables que se seleccionan con velocidad, pero manteniendo la veracidad y el valor de los mismos.

El programa PAST ofrece la posibilidad de seleccionar entre un catálogo para materiales de tubería, incluir entre diferentes accesorios, advertencias cuando se presentan inconsistencias o campos vacíos; además de ser intuitivo y preciso. Una de las grandes ventajas es que el software obtiene prácticamente cualquier propiedad del agua a cualquier temperatura, además de incluir las tablas de los diferentes materiales para tuberías disponibles comercialmente. Para esta versión se considera únicamente el agua como el fluido de trabajo, en versiones posteriores se incluirán diferentes fluidos. Para esta aplicación se incluye un número de accesorios restringido. Otra desventaja es la compatibilidad con el sistema operativo ya sea de 32 o 64 bits.

CONCLUSIONES

El programa PAST, desarrollado como una interfaz gráfica en el lenguaje de programación de Matlab®, ha demostrado ser una herramienta confiable y precisa que emplea técnicas de Big Data para la manipulación de grandes volúmenes de información con rapidez y confiabilidad. Ingresando los parámetros correctos durante la caracterización del sistema de tuberías de clase III, el programa determina el tamaño de tubería comercial requerido para las condiciones de operación además de reducir los tiempos de cálculo sin comprometer la confiabilidad del sistema. El PAST se concibe como una alternativa a los programas comerciales para el cálculo de sistemas residenciales, sistemas de riego, aplicaciones académicas e industriales; además de que el costo de la licencia de Matlab® es más bajo que el de aplicaciones comunes.

Para el caso de materiales de tubería no listados entre los disponibles del catálogo de la aplicación se cuenta con la opción de “otros” en los materiales de las tuberías; esto permite ingresar el valor de la rugosidad a través de una ventana como la que se muestra en la figura 13



Figura 96 Ventana emergente para ingresar la rugosidad de otros materiales

El algoritmo diseñado para esta aplicación es flexible y fácilmente reconfigurable para usar las técnicas del Big Data y se puede emplear para solucionar problemas de diferentes campos ingenieriles tan diversos como sistemas hidráulicos, refrigeración, lubricación, selección de conductores eléctricos y en esencia cualquier problema que involucre la obtención de datos de tablas y catálogos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bentley-WaterCAD. (2018). *Bentley*. Obtenido de <https://www.bentley.com/es/products/product-line/hydraulics-and-hydrology-software/watercad>
2. Cervantes, O. &. (2012). *MATLAB con aplicaciones a la ingeniería, Física y Finanzas*. CDMX: Alfaomega.
3. Charter-plastics. (2018). *Charter-Plastics*. Obtenido de <https://www.charterplastics.com/>
4. Copper-Alliance. (2018). Obtenido de <https://www.copper.org/>
5. DIPRA. (2015). *Ductile Iron Pipe Research Association*. Obtenido de <https://www.dipra.org/>
6. Epanet. (17 de Enero de 2017). *Epanet*. Obtenido de <https://www.epa.gov/water-research/epanet>

7. Jiménez-Medina, M. (2015). Formulas generales para los coeficientes de Chèzy y de Manning. *Tecnología y ciencias del agua*, 33-38.
8. Mataix, C. (2009). *Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas*. Alfaomega.
9. Mott, R. L. (2006). *Mecánica de Fluidos*. México: Prentice-Hall.
10. Nacobre. (2016). *Nacobre*. Obtenido de http://www.nacobre.com.mx/download/ayudas/nuevos/catalogo_nacobre_2016-2017.pdf
11. Oracle. (2013). *Oracle*. Obtenido de <https://www.oracle.com/mx/big-data/guide/what-is-bigdata>.
12. PPI. (2018). *Plastic Pipe Institute*. Obtenido de <https://plasticpipe.org/>
13. Sicular, S. (27 de Marzo de 2013). *Forbes*. Obtenido de <https://www.forbes.com/sites/gartnergroup/2013/03/27/gartners-big-data-definition-consists-of-three-parts-not-to-be-confused-with-three-vs/#5f2ad27542f6>
14. TubeNet. (2018). *TubeNet*. Obtenido de <https://www.tubenet.org.uk/tubes.shtml>
15. Vidrasa. (2017). *VIDRASA*. Obtenido de <http://www.vidrasa.com/esp/productos/duratan/duratan.html>

IMAGEN Y ENTROPÍA PARA ESTUDIAR LA MADUREZ DE FRUTOS

Yunuen Vidal Sánchez¹, Alicia Campos Hernández², Gabriel Arroyo Correa³

¹Instituto Tecnológico Superior P^urhépecha, ²Instituto Tecnológico Superior de Pátzcuaro,

³Facultad de Ciencias Físico-Matemáticas, UMSNH.

¹yunuen.vs@purhepecha.tecnm.mx, ²acampos@itspa.edu.mx, ³garroyo@umich.mx

RESUMEN

La técnica del impacto acústico (IA) es método no invasivo utilizado en la industria frutícola con el propósito de cuantificar la firmeza del fruto como parámetro de calidad. En la técnica IA el fruto analizado es impactado por un objeto sólido esférico pequeño, lo que produce vibraciones que son captadas por sensores de sonido colocados cerca de la superficie del fruto. El espectro de Fourier de la señal acústica permite identificar una frecuencia dominante que depende de la madurez del fruto. Mediante la medición de la masa y frecuencia dominante del fruto se puede cuantificar el llamado índice de firmeza (IF), como un parámetro de calidad para estimar la vida de anaquel del fruto [2]-[5]. En este trabajo aplicamos un nuevo enfoque basado en el análisis en el dominio del tiempo de las señales de impacto detectadas por dos sensores de sonido, uno colocado en la dirección del impacto y otro a 90 grados con respecto a esta dirección. El enfoque consiste en calcular la evolución temporal de dos parámetros: i) la entropía de Shannon [6], construida en el espacio fase definido por las señales acústicas detectadas por los dos sensores y ii) la entropía e intensidad media de la imagen [7]-[8] asociada al patrón de Lissajous de las dos señales de impacto. Los resultados muestran que a medida que el fruto madura se pueden identificar dos cambios esenciales: i) un incremento de la entropía y ii) variaciones en regiones específicas de la imagen propias del proceso de maduración.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la interacción entre radiación y materia ha sido un problema clave tanto en la física básica como aplicada. Los esquemas teóricos y experimentales en las bajas energías son muy amplios y variados, aunque en términos generales se puede hablar de análisis destructivos y no destructivos [1]. En el caso de los métodos acústicos, su aplicación en el control de calidad de productos industriales es ya bien conocida, pero sólo recientemente ha cobrado particular interés su utilidad en procesos de control de calidad de frutos. La técnica de análisis por impacto acústico (IA) está basada en la dinámica de la colisión elástica entre dos cuerpos y ha sido aplicada en estudios para determinar la firmeza de frutos. En esta clase de mediciones la respuesta dinámica de la fruta se detecta con sensores de vibraciones colocados sobre diferentes puntos de la fruta, y por medio de una tarjeta de adquisición de datos se transfiere la información para ser procesadas posteriormente [2]-[5]. En este trabajo aplicamos el método IA y el método del patrón de Lissajous para determinar la evolución temporal de dos parámetros: i) la entropía de Shannon (Es) construida en el espacio fase definido por las señales acústicas detectadas por los dos sensores [6] y ii) la entropía e intensidad media de la imagen asociada al patrón de Lissajous de las dos señales de impacto [7]-[8].

TEORÍA

La técnica del impacto acústico (IA) es método no invasivo utilizado en la industria frutícola con el propósito de cuantificar la firmeza del fruto como parámetro de calidad. La técnica IA permite calcular el índice de firmeza del fruto (IF), éste se toma como parámetro de calidad, mediante la medición de la masa y frecuencia dominante del fruto. También nos permite realizar un análisis en el dominio del tiempo de las señales de impacto detectadas por unos sensores de sonido. En la técnica IA el fruto analizado es impactado por un objeto sólido esférico pequeño. El impacto sobre el fruto produce vibraciones que son captadas por sensores de sonido colocados cerca de la superficie del fruto. La entropía de Shannon (Es) construida en el espacio fase definido por las señales acústicas detectadas por los dos sensores y la imagen asociada al patrón de Lissajous de las dos señales de impacto son tomados como parámetros en la evolución temporal. Los patrones de Lissajous han sido una herramienta muy importante de la física e ingeniería, estas permiten de forma gráfica analizar e

interpretar la interacción sobre una partícula de dos movimientos perpendiculares, descritos por movimientos armónicos simples cada uno, proceso que de otra forma sería más complejo de comprender. Al analizar los impactos a las manzanas usando el sensor S1 ubicado en la dirección frontal del impacto y el sensor S2 perpendicular, podemos utilizar el método del patrón de Lissajous para determinar su evolución temporal. Al ser detectada la señal, ésta es procesada, generando un mado en el plano S1-S2, como se muestra en la Fig1.

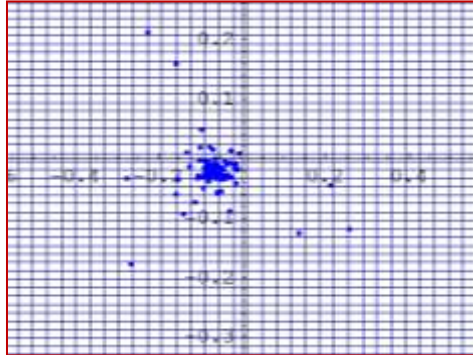


Figura 1. Mado para el cálculo de la entropía de Shannon E_s .

La malla se divide en N celdas rectangulares idénticas. El número de puntos en una celda dividido entre el número total de puntos da la probabilidad de ocupación p_i de la celda, esto permite obtener los datos para calcular la entropía asociada que está dada por $-p_i \ln(p_i)$, donde \ln es el logaritmo natural. Permitiendo así calcular la entropía de Shannon, definida como:

$$E_s = -\sum_{i=1}^N p_i \ln(p_i) \quad (1)$$

La entropía global de una imagen (E_g) es una medida estadística de aleatoriedad que se puede utilizar para caracterizar la textura de la imagen de entrada. Para el cálculo de esta medida se utilizó el paquete comercial Wolfram Mathematica, versión 12 [7]. El algoritmo estándar consiste en convertir la imagen en píxeles de tonos grises. A cada píxel se le asigna un valor referente al tono de gris (siendo 0 si el píxel es completamente negro y 1 si es completamente blanco), lo que proporciona un valor de probabilidad. El total de píxeles que conforman la imagen es equivalente al número de datos que tenemos. En general lo que hace el programa es aplicar la definición de entropía siguiente:

$$E_i = -\sum_k p_k \log_2(p_k) \quad (2)$$

en donde p_k es el valor de probabilidad asociada al nivel en la escala de grises del k -ésimo píxel de la imagen. Nótese la diferencia de logaritmos en las Ecs. (1) y (2).

De igual manera, para la intensidad media de la imagen (I_m), lo que hace el software es tomar uno por uno cada píxel de la misma y analiza cómo está conformado. Como cada píxel está definido por varios tonos de grises, el software toma un promedio y se le asigna un valor numérico al píxel. Esto se hace para todos los demás píxeles y así se obtiene un promedio general para toda la imagen (los valores de I_m están dados entre 0 y 1):

$$I_m = \sum_k I_k / N \quad (3)$$

en donde I_k es el valor de la intensidad media del k -ésimo píxel y N es el número total de píxeles.

METODOLOGÍA

Se realizó el análisis con 5 manzanas, 4 nacionales y una de importación, durante 5 semanas se registró el peso de cada una de ellas en intervalos de separación de 3 días.

En la Fig. 2 se muestra el equipo utilizado para instrumentar la técnica de impacto acústico. Los sensores, la interfaz y software de adquisición de datos es de la marca pasco. Los dos sensores de sonido se colocaron perpendicularmente entre sí, Fig. 2(a). El impactador consistió de una bola pequeña esférica, Fig. 2(b), La señal fue registrada durante 0.030 segundos con una interfaz 750 a una razón de muestreo de 5000 muestras por segundo.

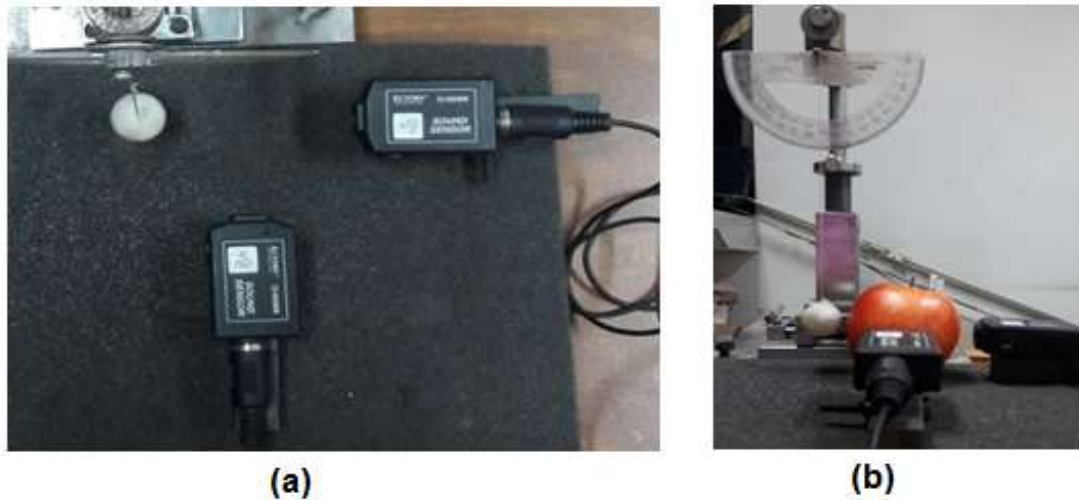


Figura 2. Arreglo experimental: (a) ubicación de los sensores de sonido, (b) colocación de la manzana para el impacto.

Una vez registrados los datos, estos se exportan como archivos en formato ASCII para su posterior procesamiento. Se analizó la evolución temporal de E_s , la entropía global (E_i) e intensidad media (I_m) de la imagen del patrón de Lissajous en el plano S1-S2, de acuerdo a las definiciones dadas en las Ecs. (1)-(3). En esta etapa se utilizó el software Mathematica, versión 12.

RESULTADOS

En la Fig. 3 se muestra señales temporales típicas generadas por la técnica del impacto acústico

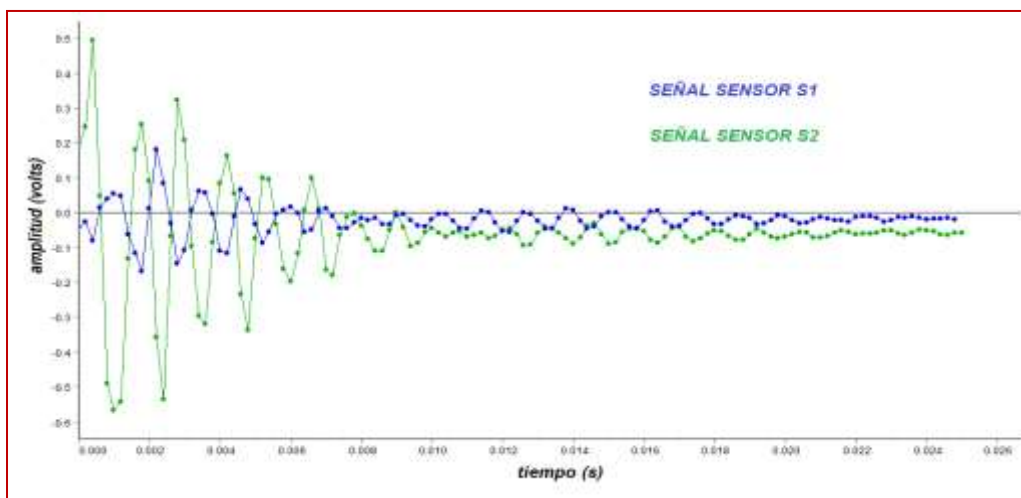


Figura 3. Señales típicas en la técnica IA. El sensor S1 está en la dirección del impacto y S2 se encuentra perpendicular a esta dirección.

En la Fig. 4 se muestra una secuencia de los patrones en el plano S1-S2 para la manzana M1, para los días indicados en cada gráfico. Resultados similares se tienen para el resto de las manzanas.

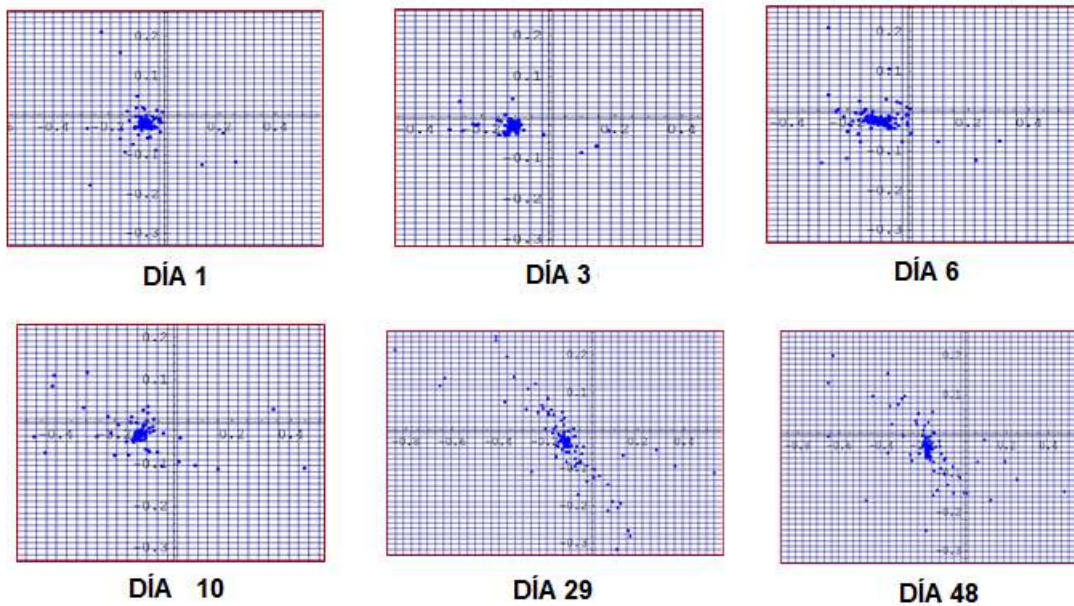


Figura 4. Evolución temporal de los patrones de Lissajous para la manzana M1.

En la Fig. 5 la evolución temporal de la entropía de Shannon E_s . La gráfica muestra un comportamiento no lineal en la evolución temporal de la entropía de Shannon y en donde se observa en promedio que aumenta a medida que el fruto madura. Así como se observa un mínimo en el día 6, posiblemente por cambios fisiológicos de las manzanas.

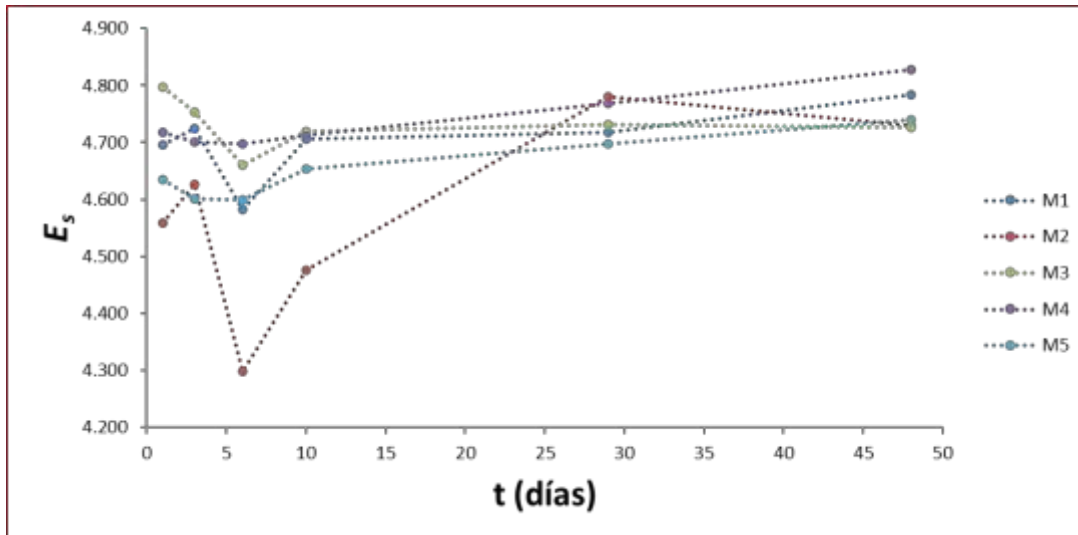


Figura 5. Evolución temporal en la entropía de Shannon.

En la Fig. 6 se presentan las imágenes, en tono de grises, de los patrones de Lissajous para la manzana M1 en los días indicados, en tanto que la Fig 7 presenta la evolución temporal de la entropía de las imágenes para estos mismos días. Los resultados para las intensidades medias se presentan

en la Fig. 8; las gráficas son lineales crecientes en la evolución temporal, donde las manzanas 2 y 4 presentan valores ligeramente mayores.

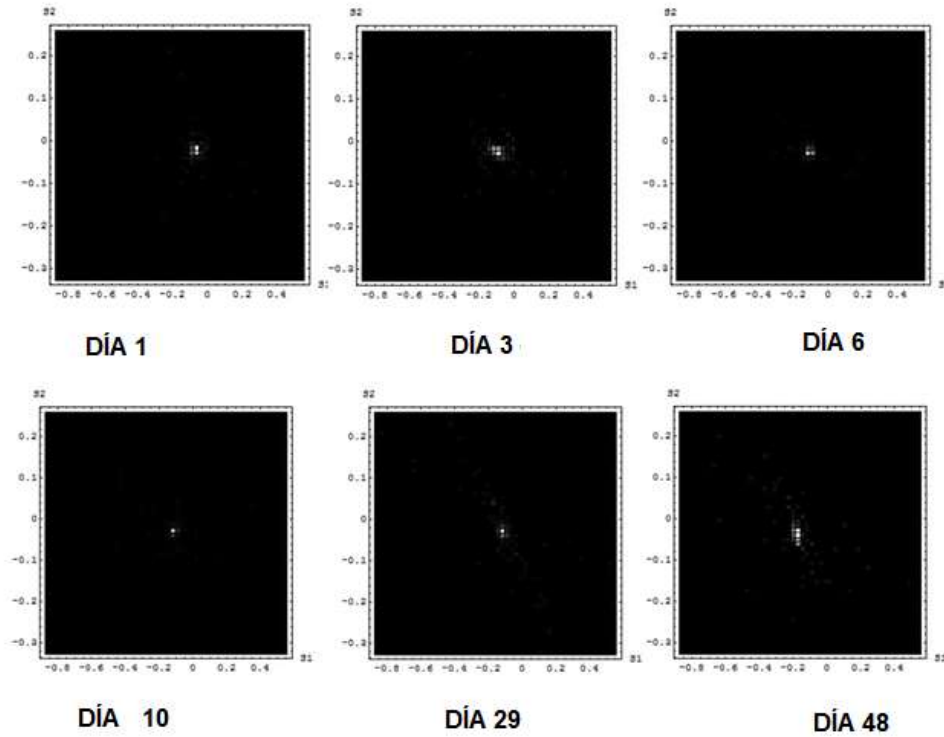


Figura 6. Imágenes en tono de grises en el plano S1-S2 para la manzana M1.

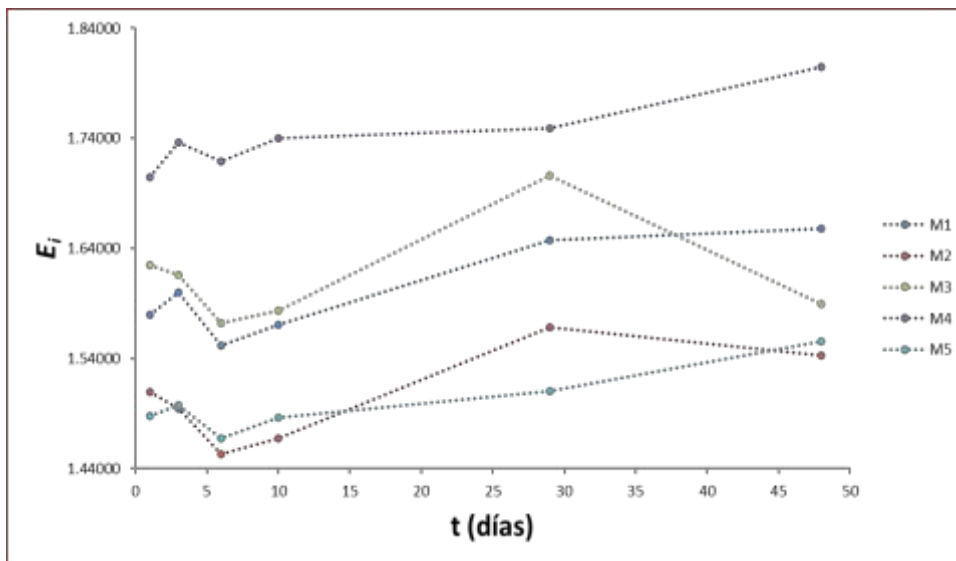


Figura 7. Evolución temporal de la entropía global de la imagen E_i .

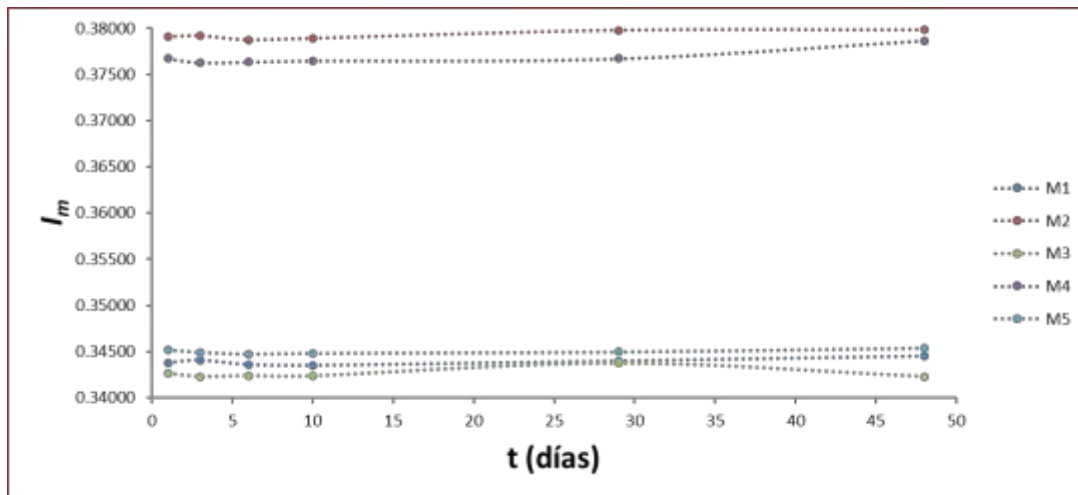


Figura 8. Evolución temporal de la intensidad media de la imagen I_m .

La Fig. 9 presenta la evolución temporal de la masa. Nótese como la masa disminuye conforme pasa el tiempo, es lineal y en el caso de M2 y M4 presentan una mayor pérdida.

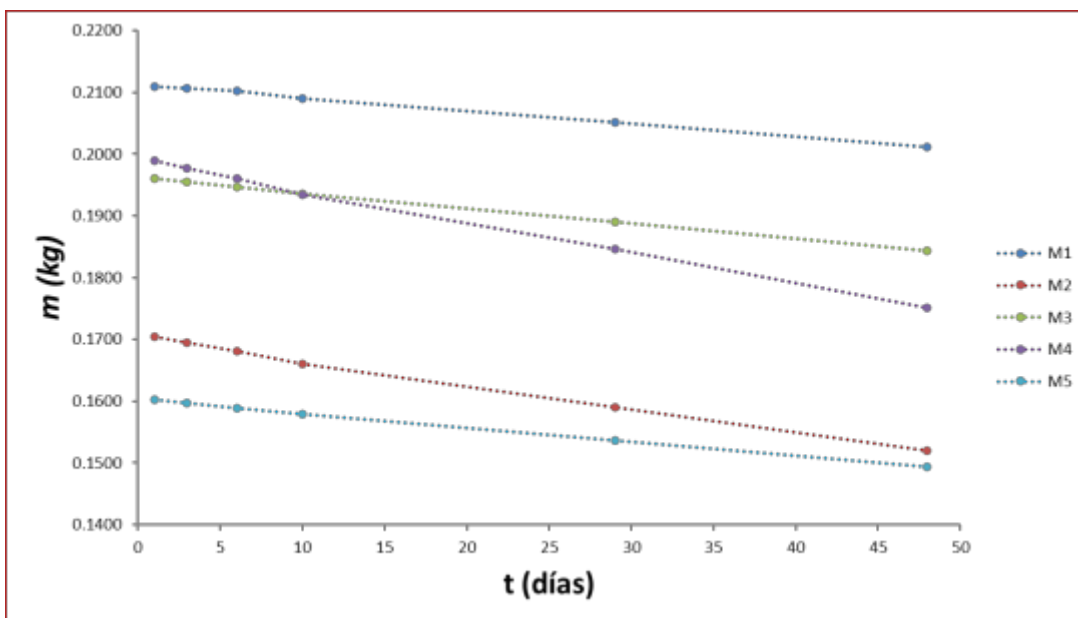


Figura 9. Evolución temporal de la masa.

CONCLUSIONES

En este trabajo se aplicó un nuevo enfoque para analizar el estado de firmeza de frutos de manzana basado en la evolución temporal de la entropía de Shannon (E_s), de la entropía global (E_i) e intensidad media (I_m) de la imagen construida en el espacio de configuración definido por las señales acústicas detectadas. Los resultados muestran un comportamiento no lineal en la evolución temporal de E_s y de E_i para las manzanas: hay un valor mínimo que se presenta en el día 6. En promedio E_s aumenta a medida que el fruto madura. Los resultados muestran un comportamiento lineal creciente en la evolución temporal de I_m para las manzanas, donde las manzanas M2 y M4 presentan valores ligeramente mayores en la intensidad media. Los resultados muestran un comportamiento lineal

decreciente en la evolución temporal de la masade las manzanas, donde las manzanas M2 y M4 presentan una mayor pérdida de masa por día.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aranda, J. I., et al., (2004). Técnicas de control de calidad no destructivas aplicadas a la industria agrícola. *Ciencia Nicolaita*, 39: 217-226.
2. Cooke, J. R., (1972). An interpretation of the resonant behavior of intact fruits and vegetables. *Trans. Amer. Soc. Agr. Eng.*, 15: 1075-1080.
3. F. Duprat, et al., "The acoustic impulse response method for measuring the overall firmness of fruit", *J. Agric. Eng. Res.*, Vol. 66, 1997, pp. 251-259.
4. Gan-Mor, S., and N. Galili, (2000). Rheological model of fruit collision with an elastic plate. *J. Agric. Eng. Res.*, 75: 139-147.
5. Wang J., et al., (2004). Pear dynamic characteristics and firmness detection. *Eur. Food Res. Technol.*, 218: 289-294.
6. C. E. Shannon, "A mathematical theory of communication", *The Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379-423, 623-656.
7. Wolfram Mathematica, versión 12.
8. Y. Concha Sánchez, et. al., "Estudio Experimental de la Rigidez de Bloques de Pavimento Aplicando Métodos Entrópicos y de Procesamiento de Imágenes", 15 Congreso Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, Morelia, Mich., 2020.

XEROGELES DE ÓXIDO DE ITERBIO CODOPADOS CON IONES DE TIERRAS RARAS

Alan Daniel Alcantar Mendoza, Antonieta García Murillo, Felipe de Jesús Carrillo Romo

Centro de Investigación e Innovación Tecnológica Unidad Azcapotzalco del Instituto Politecnico Nacional.

a_daniel_am@outlook.com

RESUMEN

Actualmente las propiedades luminiscentes de materiales sintetizados a partir de elementos de tierras raras, ya se encuentran reportadas sin embargo, existe una limitada investigación de compuestos codopados con estos elementos más aún en sistemas luminiscentes donde puede llevarse a cabo una excitación y emisión no solo en el intervalo del espectro visible sino también en el del infrarrojo. Por lo que realizar el estudio de un sistema tan prometedor como es el Yb_2O_3 , que pueda ser excitado usando una longitud de onda en el rango del espectro infrarrojo, pero que lleve a cabo una conversión de energía al espectro visible gracias a la presencia de un codopante como el ion Eu^{3+} , permitiría expandir el campo de conocimiento sobre este tipo de sistemas, así como sus posibles aplicaciones. En el presente trabajo, se elaboraron xerogeles de óxido de iterbio (Yb_2O_3) codopados con los iones europio (Eu^{3+}) y terbio (Tb^{3+}) siguiendo el método sol-gel. Los materiales obtenidos a distintas relaciones molares ($\text{Yb:Eu;Tb} = 1 : 2, 5, 8, 10, 20, 30, 40, 50 ; 0.1 \% \text{ mol}$) fueron sometidos a un tratamiento térmico para obtener materiales cristalinos y densos. Los polvos obtenidos se caracterizaron por espectroscopía de Infrarrojo (FTIR), espectroscopía de Rayos X de Energía Dispersiva (EDX), Microscopía Electrónica de Barrido (MEB) así como de fluorescencia (FL) para establecer la relación entre sus propiedades químicas, estructurales y luminiscentes. Los productos presentan a 1000°C , reflexiones bien definidas revelando la presencia de una estructura cristalina de tipo cúbica. Por último, de acuerdo con los estudios luminiscentes, los cerámicos densos revelaron la presencia de emisiones situadas entre los 570 y 700 nm, debidas a las transiciones de energía ${}^5\text{D}_0\text{--}{}^7\text{F}_J$ características del ion europio. Los estudios indican que estos materiales podrían presentar características prometedoras para ser empleados dentro del área biomédica.

INTRODUCCIÓN

Con el paso del tiempo, los compuestos de tierras raras (TR) con propiedades luminiscentes que cuentan con picos de emisión nítidos e intensos, amplios tiempos de vida útil y una alta pureza en cuanto color, han tomado una gran importancia debido a sus posibles aplicaciones en el campo óptico como: LED's, láseres, fibras ópticas, métodos de seguridad, aplicaciones biológicas, entre otras. Sin embargo, aún existen complicaciones para lograr adecuadas transferencias de energía entre los elementos así como una buena estabilidad fotónica y térmica, por lo que aún se encuentra amplio campo de oportunidad para poner en práctica diferentes productos de TR [1].

Para esto, actualmente se ha demostrado la capacidad de obtener diversos materiales por medio de la técnica sol-gel (entre ellos los xerogeles) con composiciones químicas y físicas adecuadas, permitiendo llevar a cabo el dopaje de compuestos eficientemente y que pueden superar en demasía los inconvenientes de otros productos finales obtenidos por otro tipo de metodologías [2, 3].

Algunos ejemplos de los avances obtenidos son: por ejemplo, las investigaciones realizadas por autores como Pang y sus colaboradores [4] que sintetizaron xerogeles de elementos de tierras raras (europio y terbio) obteniendo buenos resultados luminiscentes aunque el estudio que llevaron a cabo fue para cada elemento por separado despreciando la opción de obtener resultados aún más prometedores con la interacción en conjunto de estos elementos. Otro ejemplo es lo reportado por Liu y col. [5] que estudiaron las propiedades ópticas de productos derivados de la metodología sol-gel como geles, xerogeles y aerogeles, en los que gracias a las interacciones entre los iones Eu^{3+} y Tb^{3+} obtuvieron emisiones de color rojo dentro del intervalo visible del espectro electromagnético.

Por otra parte, se han realizado muchas investigaciones y esfuerzos para el desarrollo de sensores biológicos para su aprovechamiento en procesos ambientales o biológicos [6]. Sin embargo, sigue siendo un desafío sintetizar y producir este tipo de materiales luminiscentes con composiciones de elementos de tierras raras.

TEORÍA

Luminiscencia

Cuando la radiación electromagnética interactúa con la materia, pueden ocurrir diversos fenómenos asociados a la respuesta atómica y molecular de los elementos en cuestión, estos pueden ser: la reflexión, refracción o la luminiscencia [7]. Esta última, es la propiedad de algunos cuerpos para generar una emisión de luz sin tener que elevar su temperatura [8] o bien, puede comprenderse como el comportamiento óptico de un material cristalino en función de su interacción con un cierto tipo de radiación donde la energía es absorbida y posteriormente emitida en forma de fotones [9, 10]. Lo que sucede con los fotones tras la interacción electromagnética, es que estos se desplazan en forma de ondas con una trayectoria ondulatoria que es clasificada en términos de longitud de onda (λ) y se expresa en nanómetros (nm) o frecuencia (f) [11].

Existen eventos que pueden afectar directamente al proceso de la luminiscencia, estas son; el decaimiento radiativo, no radiativo y dispersiones inelásticas del tipo e^-e^- , que se llevan a cabo en periodos extremadamente cortos de tiempo (10^{-15} y 10^{-13} s). También, existen mecanismos de relajación que suceden tras la excitación electrónica donde se da la formación de huecos o procesos térmicos tras posterior a la excitación del material centelleante. Otro de los términos que acompaña a la luminiscencia es la desexcitación; que se da cuando el sistema atómico vuelve a su estado basal una vez producida la emisión de fotones [12].

Existen múltiples formas posibles por las cuales un sistema puede excitarse, la Tabla 1 enlista algunos tipos de luminiscencia con su respectiva fuente de excitación.

Tabla 1. Tipos de luminiscencias [6, 9, 10].

Nombre	Fuente de excitación
Fotoluminiscencia	Fotones
Termoluminiscencia	Resultado de un calentamiento
Electroluminiscencia	Corriente eléctrica al pasar por una sustancia
Quimioluminiscencia	Resultado de reacciones químicas
Bioluminiscencia	Reacciones producidas por organismos
Mecanoluminiscencia	Acción mecánica aplicada a un sólido

La fotoluminiscencia inicia al irradiarse una superficie con una cierta longitud de onda con lo que ocurre la absorción de fotones (pueden ser de alta o baja energía), esto genera la excitación de un electrón primario logrando su desplazamiento a un nivel superior de energía, debido a esto, se forma un hueco en la banda de valencia o en el estado basal, dependiendo del sistema que se esté visualizando (Figura 1).

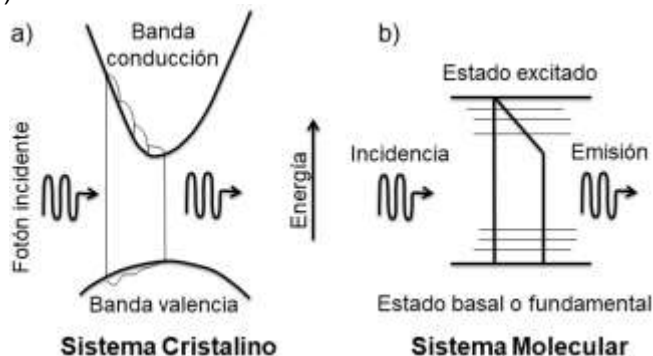


Figura 1.1. Esquema para el proceso de la luminiscencia. Sistema: a) cristalino y b) molecular [13].

Cuando la energía alcanzada por los electrones, que fungen como portadores de carga, es menor a la de ionización (energía mínima requerida para desplazar al e^- de la banda de valencia a la banda de conducción) estos liberan cierta energía en forma de calor o ruido (fonones) a través de los movimientos que se dan entre las bandas atómicas y que debido a la relajación, los electrones se mueven por la banda de conducción mientras que los huecos se recorren a la parte superior en la misma banda [9].

Otro suceso posible con los portadores de carga es, que estos pueden permanecer en bandas difusas (específicamente en semiconductores) donde pueden quedar atrapados durante los procesos de relajación de la red cristalina formando e^- excitados "libres", todo esto en tiempos entre 10^{-12} y 10^{-11} segundos, donde después se excitará a los centros centellantes en tiempos desde 10^{-12} a 10^{-8} segundos. Por último, el electrón excitado regresará a la banda de valencia emitiendo un fotón con una λ dependiente de la diferencia de energía entre los niveles colaboradores y que siempre contará con una energía menor a la de incidencia.

Estos sucesos expresados con anterioridad son aplicables para materiales luminiscentes que cuentan en su composición por ejemplo: elementos de tierras raras sensibilizadores como el iterbio o terbio y iones activadores como el europio [14].

Tierras raras (TR)

Las tierras raras constan de los elementos: escandio, itrio y la serie de elementos de los lantánidos (Figura 1); estos se caracterizan porque conforme su número atómico incrementa, su capa de orbitales 4f va siendo completada, teniendo una similitud con la configuración electrónica del xenón (Xe) que es de tipo: $4f^0 5d^1 6s^2$, yendo para las tierras raras de $n=0$ para el lantano hasta $n=15$ para el lutecio. Estos elementos son comúnmente utilizados y encontrados en la naturaleza en forma de óxidos (TR_2O_3) sin embargo, también son popularmente empleados los cationes trivalentes ($3+$) que suelen coordinarse con átomos de oxígeno dando en la formación de estructuras cúbicas que han despertado un gran interés debido a sus propiedades luminiscentes [1].

TIERRAS RARAS

Sc: Escandio
Y: Itrio

Ln: Lantánidos
(Lantano – Lutecio)

La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

Figura 1. Tierras raras y su lugar en la tabla periódica [15].

Los materiales que se benefician de las propiedades ópticas de las TR dependen justamente de la misma configuración electrónica 4f que se encuentra cubierta o "blindada" parcialmente por las capas 5s y 5p por lo que las respuestas ópticas son muy sensibles a perturbaciones externas. Algunas características que surgen debido a esto son; las transiciones energéticas que se producen en diferentes intervalos del espectro electromagnético; lo que es traducido en señales de excitación y emisión dando como resultado una respuesta luminiscente [1, 9]. La influencia de la matriz o los iones que actúan como sensibilizadores pueden modificar la activación de este fenómeno, en la Figura 2 se muestran los niveles de energía que generan luminiscencia de algunos elementos de tierras raras, entre ellos el iterbio, europio y terbio. Aunque cada uno de los elementos de TR presenta alguna de los dos tipos posibles de conversión de energía; descendente o ascendente. Para la conversión ascendente dos o más fotones de baja energía se requieren para irradiar uno de

alta energía, esto genera la necesidad de necesitar una energía mayor provocando que los elementos que presentan este tipo de conversión trabajen especialmente en el intervalo infrarrojo del espectro electromagnético, siendo este caso el del iterbio [16].

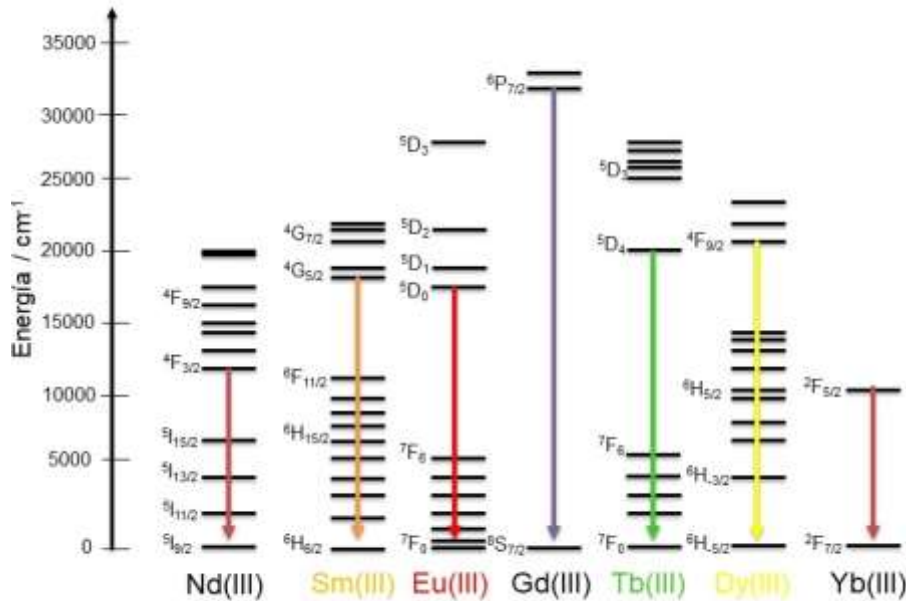


Figura 2. Niveles energéticos de elementos de tierras raras según el diagrama de Dieke [6].

Las transiciones ópticas permitidas por los iones de tierras raras consisten en: transiciones de transferencia de carga ($4F_n-4F_{n-1} L^{-1}$, donde L, es un agente ligando) y transiciones de energía de un nivel electrónico a otro (por ejemplo, $5D$ a $4F_n - 4F_{n-1}$) [17]. Ambas se reflejan en espectrogramas a través de bandas de excitación y emisión con picos situados a diferentes longitudes de onda que, en conjunto, indicarán el intervalo del espectro electromagnético donde se ejercerán las propiedades luminiscentes de cada elemento (Figura 3). La figura se caracteriza por los diferentes picos de emisión a distintas longitudes de onda e intensidades para la gran mayoría de los elementos de TR [12]; siendo el europio, el que generalmente presenta una respuesta más definida tras la transferencia de energía [17].

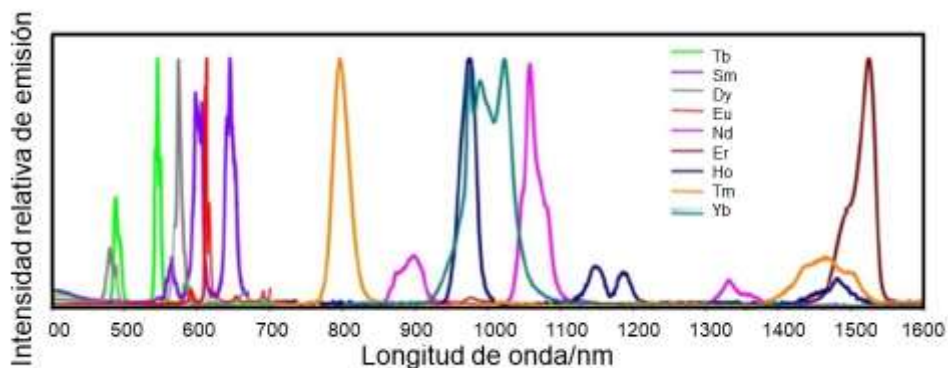


Figura 1.12. Bandas de emisión normalizadas para algunos complejos de lantánidos [15].

Las TR son principalmente extraídas de la naturaleza por países como: China, Australia, Rusia o Brasil y cuentan con una gran variedad de aplicaciones gracias a las diversas propiedades que las caracterizan [18]. Algunas de las áreas donde estas TR tienen grandes aplicaciones son: catálisis, cerámica o metalurgia, lográndose poner en práctica la capacidad de estos elementos como; LED's,

imanes, láseres, fibras ópticas, memorias de computadora, pantallas, baterías, métodos de seguridad, aplicaciones biológicas, entre muchas otras [1, 16].

Proceso Sol-Gel

Existen metodologías que permiten realizar la síntesis de materiales con composiciones de óxidos metálicos (como los TR_2O_3), algunos ejemplos son: co-precipitación, reacciones de estado sólido, hidro o solvo termal [19] o bien; la vía: sol-gel, que provee metodologías que otorgan ventajas sobre el control de la composición y homogeneidad química, microestructura (tamaño y morfología de partículas), porosidad y el área superficial de diversos productos finales con estructuras amorfas o cristalinas [6, 14, 20].

El método “sol-gel”, como su nombre lo indica, parte de alcóxidos metálicos ($M(OR)_x$) para la obtención de un “sol”, por el que se entiende como: una dispersión de partículas en un medio acuoso, que al pasar por reacciones de hidrólisis y condensación, logra su transformación en una red coloidal no fluida que se expande por todo el volumen de un fluido; un “gel” [21, 22].

La Figura 2 muestra el esquema general de las diferentes rutas y productos obtenibles por sol-gel. Entre los productos finales posibles se tienen: geles, recubrimientos o películas delgadas, partículas precipitadas, fibras, monolitos, aerogeles, o xerogeles (cerámicos densos) [23]. Estos se ven influenciados por diversos factores entre los que se incluyen: naturaleza de los solventes, concentraciones y relaciones molares de los precursores, pH, temperatura, presión, agitación y el tipo de agentes químicos adicionales que se agreguen durante las reacciones [24].

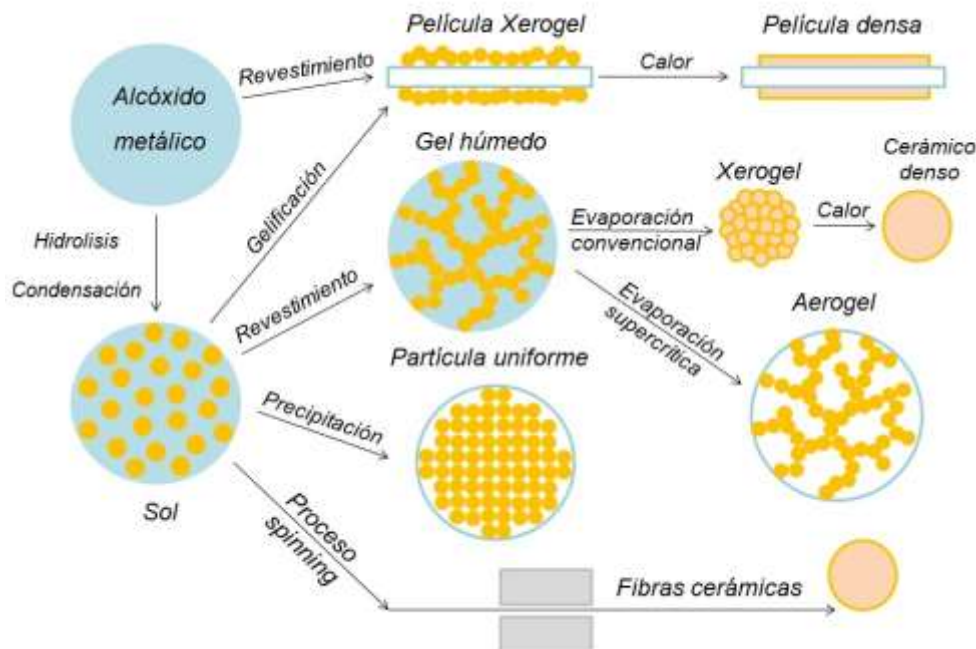
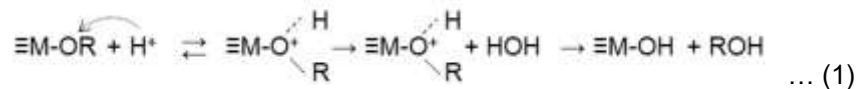


Figura 2. Esquema del proceso sol-gel y sus diferentes variantes. Adaptado de [3].

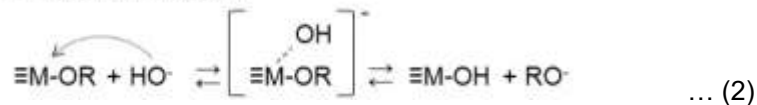
Como se mencionaba, tanto para la obtención del “sol” como del “gel” se requieren reacciones de hidrólisis y condensación para dar lugar a la formación del gel, el mecanismo de reacción para esto es el siguiente:

La hidrólisis radica en una sustitución nucleofílica donde las moléculas de H_2O reaccionan con el $M(OR)_x$ uniéndose los grupos hidroxilo (OH) a los átomos metálicos utilizados (M), provocando el desplazamiento de los radicales alcóxidos (OR). Esta reacción depende de la cantidad de agua así como de los catalizadores presentes en la síntesis donde, si la velocidad de hidrólisis es mayor que la de condensación se requerirá de una catálisis ácida (Reacción 1), en la que por lo general se utilizan catalizadores como el ácido clorhídrico (HCl) o ácidos carboxílicos; si la velocidad se da de forma contraria, se hablaría de una catálisis básica (Reacción 2) donde debido al pH necesario de los catalizadores, el compuesto mayormente empleado es el agua (H_2O) [3, 24].

Hidrólisis – Catálisis ácida

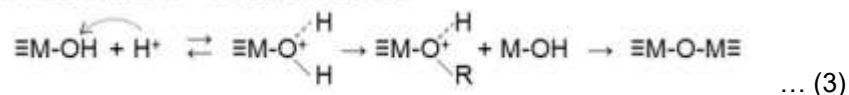


Hidrólisis – Catálisis básica

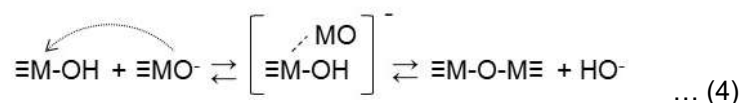


Las reacciones de condensación ya sea en medios ácidos o básicos (reacciones 3 y 4 respectivamente), se efectúan tanto por mecanismos de olación como de oxolación [20, 23, 24]. La reacción de condensación por olación consta de dos etapas: adición nucleofílica y separación del grupo complejo, obteniéndose una molécula de un grupo alcoxi o una molécula de un alcóxido solvatado. Mientras que la condensación por oxolación consta de la transferencia de los átomos de hidrógeno al alcóxido para poder formar los enlaces oxo (–O–) más el radical (R) de alcohol [25].

Condensación – Catálisis ácida

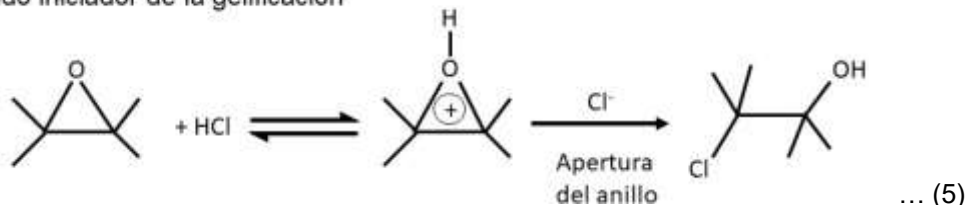


Condensación – Catálisis básica



El uso de catalizadores hoy en día ha incrementado con el propósito de acelerar el tiempo en que las reacciones tardan en alcanzar el punto de gelificación ya que, en ocasiones, este tiempo puede tomarse días, semanas o incluso meses cuando se manejan potenciales de hidrógeno con valores minúsculos. Dado esto, es que ha surgido la alternativa de emplear compuestos epóxidos (de composiciones orgánicas) durante la síntesis sol-gel que promuevan la polimerización de las partículas mediante la eliminación del medio ácido presente en la reacción y que puede tener lugar tanto en medios acuosos como alcohólicos. Esta variante se ha denominado como: *epóxido iniciador de la gelificación*. El cambio de pH inducido por el epóxido secunda a la formación de la red tridimensional de partículas tras la protonación del epóxido que es consumido irreversiblemente por la apertura del anillo como se muestra en la siguiente reacción (ejemplificada con el ácido clorhídrico) [26].

Epóxido iniciador de la gelificación



Una vez que se llevan a cabo estas reacciones, la etapa final de la gelificación se caracteriza por el cambio de un compuesto líquido a una solución de consistencia viscosa que es afectada por el pH, la temperatura a la que es almacenada el gel, las concentraciones químicas, así como la cantidad de epóxido utilizado. Esto da como resultado; la formación de una fase continua, derivada de la

asociación de las partículas dispersas (sol), que contiene al solvente en su interior por medio de fuerzas capilares e interacciones de atracción con el área superficial de la matriz [20, 24].

Una vez que se ha concluido el proceso sol–gel deben adaptarse las condiciones hacia el producto final que se desea obtener, priorizando la adecuada gelación y envejecimiento del gel ya que, las propiedades mecánicas y estabilidad de las partículas interconectadas dependerán en gran medida del apropiado manejo de este.

En los materiales porosos como aerogeles o xerogeles, la técnica posterior de secado es el factor fundamental y decisivo ya que, por medio de la evaporación convencional para xerogeles, puede provocarse la contracción de la estructura hasta en un 30% del volumen inicial, a diferencia de los aerogeles que alcanzan contracciones que no superan el 10%, esto gracias a la distinta técnica de secado que estos requieren [27].

Xerogeles

La IUPAC define a los xerogeles como una red polimérica abierta formada por la eliminación de todos los agentes causantes de la densificación de un gel [22]. Este tipo de materiales que se sintetizan en forma de polvos, pueden clasificarse según los elementos empleados en: orgánicos, inorgánicos o híbridos. Tras llevar a cabo su cristalización, estos son considerados como materiales cristalinos “densos” en los que gran parte de su estructura (interfase líquido-vapor) ha colapsado durante la técnica de secado convencional y el subsecuente tratamiento térmico con lo que se provoca la contracción irreversible de las partículas (Figura 1) [23].

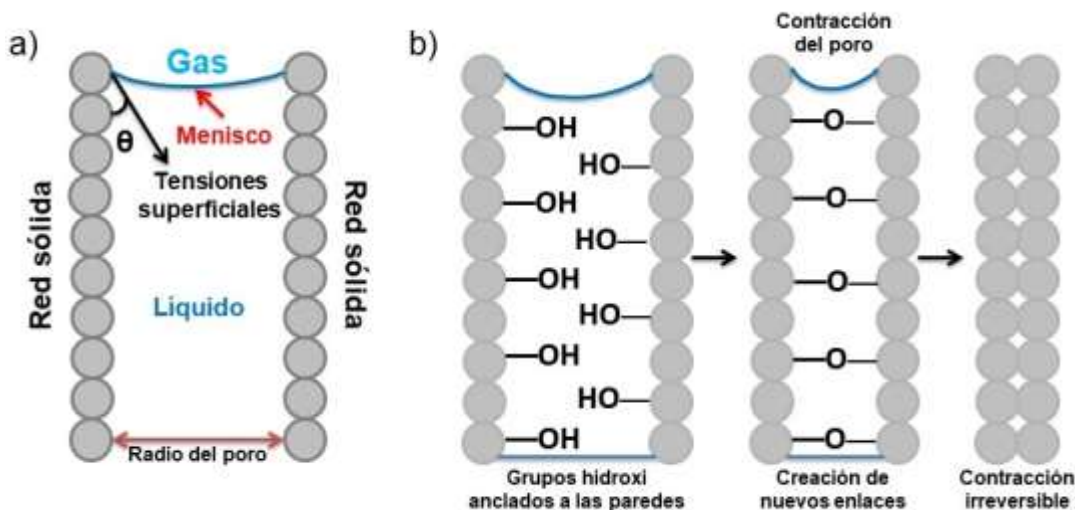


Figura 1. Esquema representativo de la interfase líquido-vapor. Basado de [20].

Este colapso se debe principalmente a que con la formación de: (a) la interfase líquido–vapor en el interior de los poros del gel se generan fuerzas capilares y tensiones superficiales que provocan: (b) la contracción de los poros, con lo que se pierde parte de la microestructura tridimensional y con ello, una disminución de la porosidad, si se logrará mantener la estructura tridimensional intacta, el producto final obtenido serían los conocidos aerogeles [27].

Partiendo de lo antes mencionado, es posible controlar las propiedades de estos productos finales por medio de las condiciones empleadas en el proceso sol–gel y que dependerán en gran medida de la una aplicación a la que se adaptará el material, dependiendo de las propiedades requeridas para cada caso. Sin embargo, el auge de estos se ha dado en películas, recubrimientos o dispersiones, donde se ha aprovechado su elevada porosidad como materiales encapsuladores o aislantes térmicos y acústicos [24].

PARTE EXPERIMENTAL

Para la obtención de la sal metálica en forma de cloruros, los precursores (sales metálicas) fueron sintetizados partiendo de óxidos de tierras raras. La formación del cloruro (TRCl_3) se llevó a cabo

generando la mezcla de 0.55 mmol de óxido de iterbio junto con la cantidades apropiadas del ion europio y terbio (Tabla 2) para la muestra a sintetizar junto con 32.6 mmol de ácido clorhídrico (HCl) [14]. Estas reacciones se realizaron bajo agitación magnética constante y temperatura de 80°C.

Tabla 2. Parámetros para el sistema de xerogeles dopados con europio.

Concentración molar Eu^{3+} ; Tb^{3+}	Clave
2; 0.1%	XC_1
5; 0.1%	XC_2
8; 0.1%	XC_3
10; 0.1%	XC_4
20; 0.1%	XC_5
30; 0.1%	XC_6
40; 0.1%	XC_7
50; 0.1%	XC_8

Transcurrido un cierto tiempo, el cual dependió de cada una de las muestras, los óxidos de tierras raras se disolvieron completamente en presencia del HCl, hasta que la mezcla blanquizca se tornó en una solución translúcida, indicando la formación de la sal metálica. Una vez formado este compuesto, se añadió como solvente 34.6 mmol de etanol manteniendo tanto la temperatura como la agitación magnética dando lugar a las reacciones químicas de hidrólisis y condensación.

Posteriormente se agregó el óxido de propileno el cual, actuó como agente epóxido causante de la iniciación de la gelificación. Este se dejó homogenizar durante un tiempo para enseguida comenzar con la reacción del ácido cítrico monohidratado disuelto en una solución etanólica con relación 1:10. Este actuó como el catalizador con el que se generó la transformación de la solución en una mezcla color blanquizca de consistencia espesa y grumosa correspondiente al alcogel [21].

Por último, el gel formado se trasladó a un recipiente para promover su envejecimiento en el que el tiempo aproximado para el mismo fue de 24 h. Finalmente y una vez que estos se tuvieron parcialmente secos, se obtuvieron los xerogeles que fueron sometidos a un tratamiento térmico para obtener materiales cristalinos y densos.

Tratamiento térmico de xerogeles

Para realizar el tratamiento térmico fue necesario someter a los materiales sintetizados a distintas rampas de temperatura durante un periodo de 24 horas hasta alcanzar los 1000°C, esto para asegurar la cristalización de los materiales. De igual forma esto favoreció en la eliminación de contaminantes orgánicos y restos de solventes anclados a la superficie de los productos finales.

RESULTADOS

Análisis de grupos funcionales mediante espectroscopía infrarroja

Los espectros infrarrojos para las ocho muestras obtenidas para los cerámicos densos codopados se muestran en la Figura 2 así como los grupos funcionales y su posición de estos mismos, en la Tabla 2.

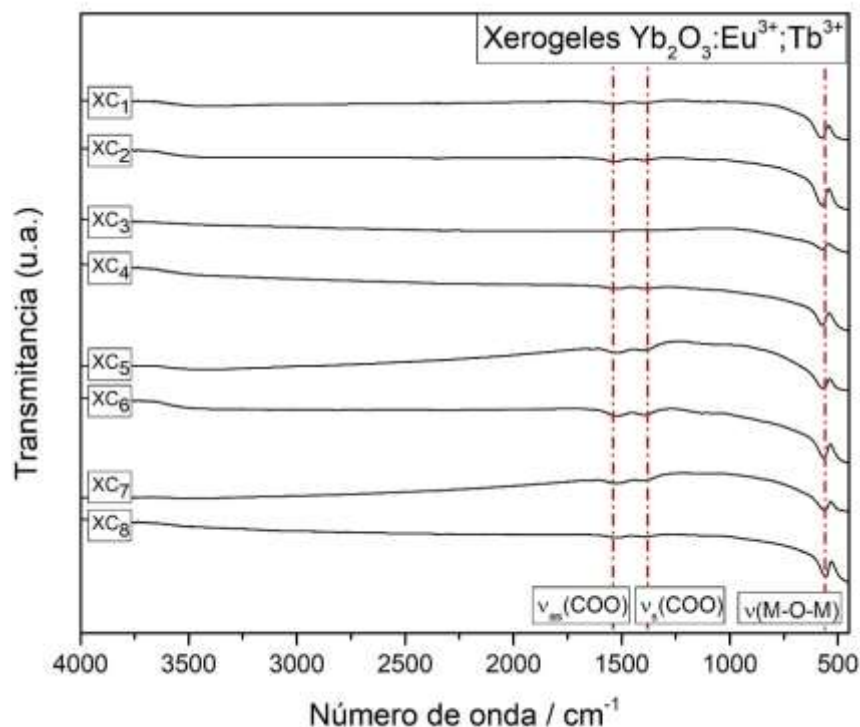


Figura 2. Espectros IR del sistema de xerogeles codopados ($\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+};\text{Tb}^{3+}$).

Estos espectros presentaron bandas para las interacciones asimétricas y simétricas; $\nu(-\text{COO}-)$ situadas alrededor de los 1530 y 1370 cm^{-1} respectivamente, asignadas a la presencia de carbón acarreado durante la preparación de las muestras, mientras que la absorción del enlace principal metal-oxígeno $\nu(\text{M}-\text{O}-\text{M})$ o bien: $\nu(\text{Yb}-\text{O}-\text{Eu}-\text{O}-\text{Tb})$, se hizo presente en la banda ubicada entre los 600 y 500 cm^{-1} .

Tabla 2. Grupos funcionales y su posición para xerogeles codopados con los iones Eu^{3+} y Tb^{3+} .

Enlace – Vibración	Posición (cm^{-1})
$\nu_{\text{asimétrico}}(-\text{COO}-)$	1530
$\nu_{\text{simétrico}}(-\text{COO}-)$	1370
$\nu(\text{M}-\text{O}-\text{M})$	550

La optimización de los parámetros en el método de síntesis favorece la formación de productos con enlaces de TR-Oxígeno. De igual forma, puede apreciarse que para todos los materiales codopados, el ancho de la banda principal no sufre ningún cambio significativo a pesar del cambio de concentración con respecto del Eu^{3+} .

Microestructura y morfología por microscopía electrónica de barrido

Se llevó a cabo el análisis microscópico de uno de los productos finales sintetizados en el que se optó por estudiar la muestra XC_5 al 20% mol por ser la muestra con una proporción representativa del ion europeo.

Las micrografías obtenidas se muestran en la Figura 3, en la que se muestra dos diferentes aumentos de la zona seleccionada siendo la segunda a $8000\times$ el máximo aumento permitido por la

muestra antes de perder resolución debido a la diferencia de alturas causada por los poros del material.

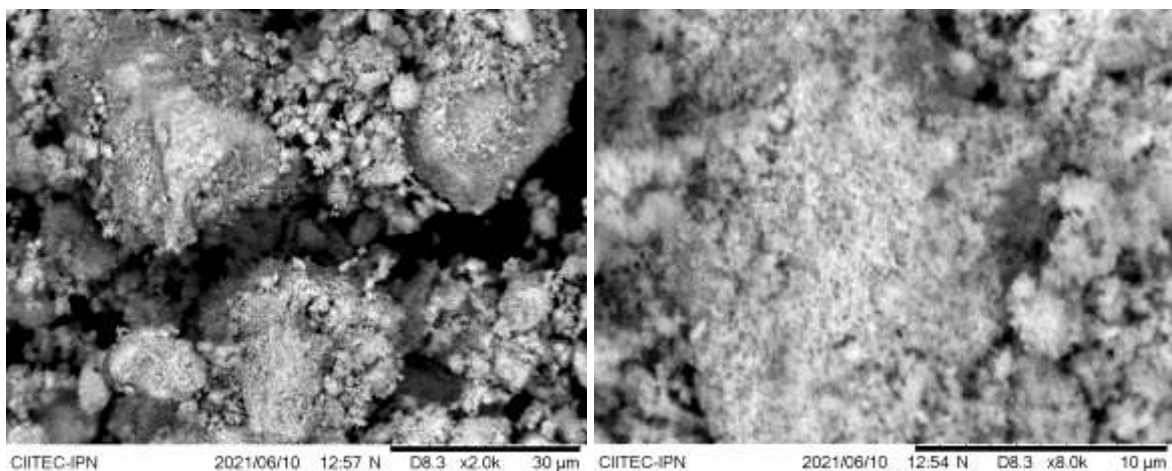


Figura 3. Micrografías de la muestra XC₅ al 20% mol de Eu³⁺ y 0.1% mol de Tb³⁺.

Los resultados obtenidos mediante este análisis permiten notar una gran cantidad de partículas de tamaños y morfologías desiguales pertenecientes a un aglomerado. Se observa la presencia de numerosas zonas oscuras en la superficie de las partículas lo que podría ser un alto indicativo de los poros que conforman a la red abierta de partículas que componen a este material asociada probablemente a la red tridimensional de la cual se constituyen los xerogeles (cerámicos densos).

Análisis químico por energía dispersada de rayos x

Para determinar la composición química de los xerogeles (cerámicos densos) se optó por realizar una espectroscopia de Rayos X por energía dispersada para la misma muestra que en el estudio anterior (XC₅) en la que el espectro obtenido se muestra en la Figura 4.

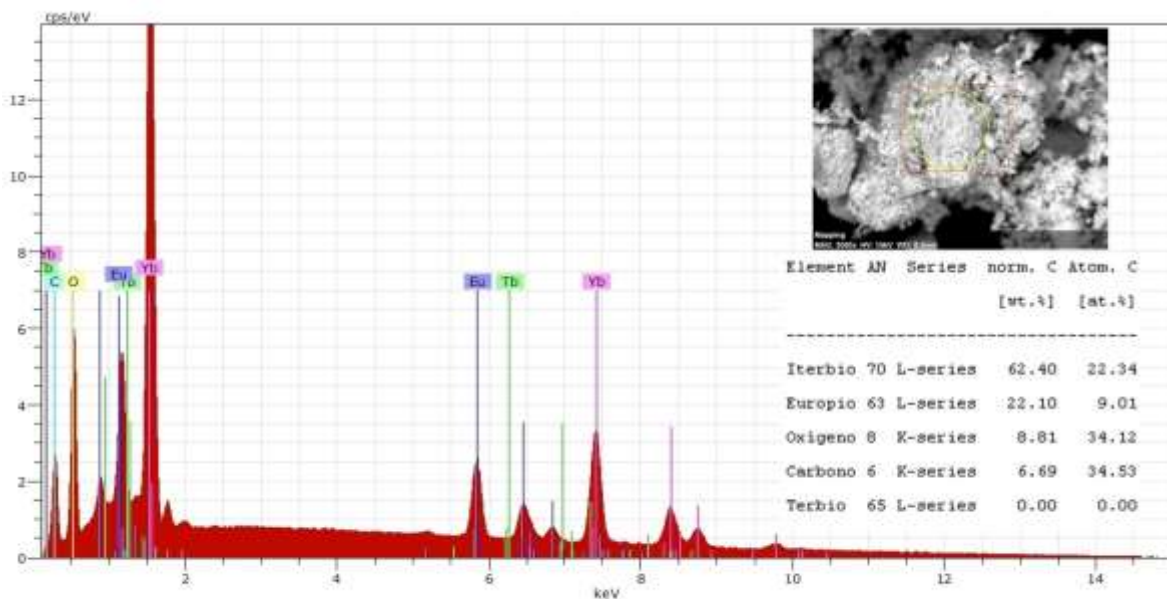


Figura 4. Espectro de energía de Rayos X dispersa para la muestra XC₅ al 20% mol de Eu³⁺ y 0.1% mol de Tb³⁺.

En este pueden apreciarse señales con relaciones químicas adecuadas según las concentraciones de los elementos empleados para la síntesis de este producto final ya que, porcentualmente se aprecia en mayoría al iterbio seguido del europio y del oxígeno, notando una ausencia para el terbio lo cual puede ser un comportamiento natural dado que la probabilidad de encontrar a este elemento en un área tan pequeña es bastante escasa por la concentración tan baja empleada de este. Por último, acorde a los resultados en la espectroscopia IR se encontraron señales correspondientes al carbono acarreado durante la manipulación de la muestra para llevar a cabo su estudio.

Análisis fotoluminiscente

El diagrama de Jablonski teórico para el sistema codopado con europio y terbio se muestra en la Figura 5. Dentro de este se esperaría alcanzar los niveles excitados no solo del europio sino también del terbio para que la transferencia de energía entre los niveles energéticos de estos iones se vea favorecida [19, 28]. En este diagrama, el fenómeno de la conversión ascendente del iterbio implicaría llevar al estado excitado a un par de iones de iterbio por uno de terbio o europio. Lo anterior propiciaría la necesidad de requerir una mayor concentración de europio para generar una transferencia adecuada [12, 29].

Sin embargo, para estudiar primordialmente el comportamiento del ion europio, fue que se emplearon las longitudes de onda características de este mismo (λ emisión; 613 nm y λ excitación; 364 nm) esperando, que la transferencia entre el nivel energético 5D_4 del Tb^{3+} y 5D_0 del Eu^{3+} favorezca a la adecuada emisión luminiscente (color roja) de este elemento (Eu) en un intervalo entre los 570 y los 700 nm.

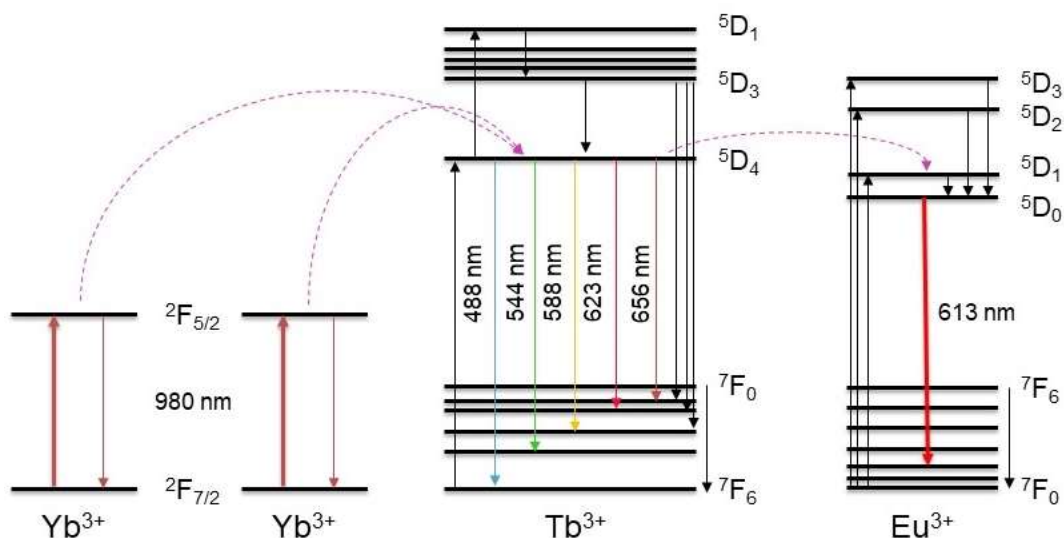


Figura 5. Mecanismo de transferencia de energía Iterbio–Terbio–Europio [30].

La Figura 6 muestra las curvas de excitación para los cerámicos densos donde algunas muestras presentaron resultados favorables con respecto a su luminiscencia. La muestra XC₇ mostró una mejor transición de energía para la excitación del material seguida de la muestra XC₈ posteriormente XC₄ y XC₆, mientras que el resto de las muestras tuvieron una excitación nula. Por otro lado, en la Figura 7, las muestras XC₄ y XC₆ únicamente presentaron las transiciones $^5D_0-^7F_1$ y $^5D_0-^7F_2$ a los 590 y 613 nm respectivamente. Las muestras XC₇ y XC₈ presentaron una luminiscencia más definida ya que, además de presentar las transiciones ya mencionadas, se tiene la presencia de la transición $^5D_0-^7F_0$ a 580 nm.

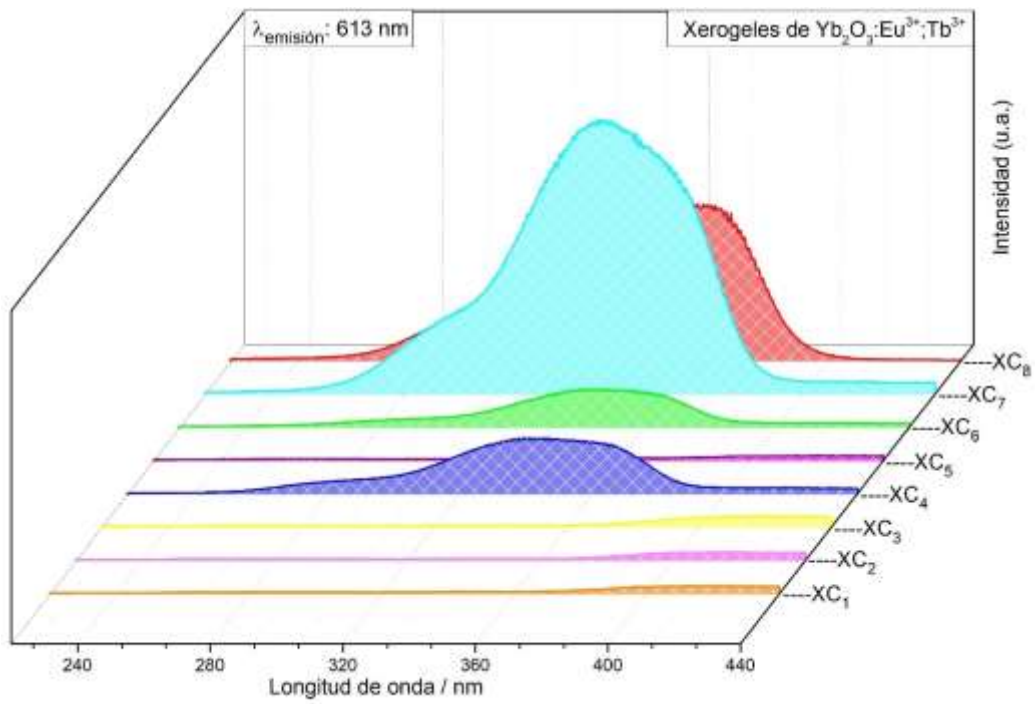


Figura 6. Espectros de excitación del sistema de xerogeles de $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+};\text{Tb}^{3+}$.

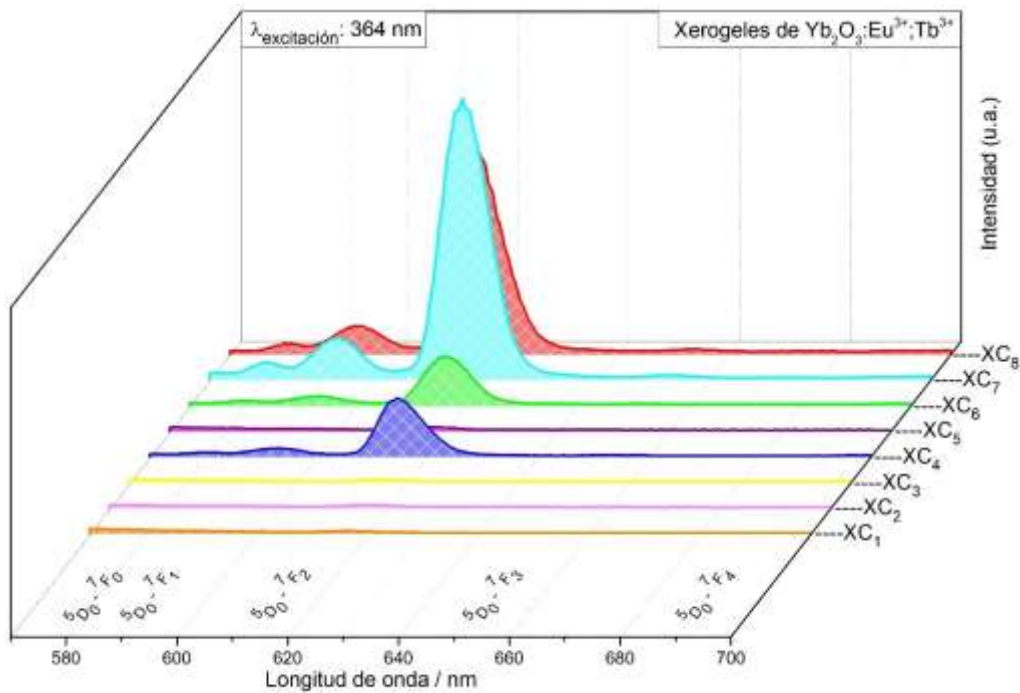


Figura 7. Espectros de emisión del sistema de xerogeles de $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+};\text{Tb}^{3+}$.

Los resultados obtenidos por estos materiales codopados, permiten describir a algunos de estos mismos como materiales luminiscentes que presentaron una congruencia a lo planteado por el

diagrama en la Figura 4. Esto debido a la interacción para la transferencia de energía entre el terbio y el europio y que permitió despreciar para algunas de las muestras el fenómeno de la conversión ascendente del elemento iterbio, principalmente cuando el europio trivalente se encuentra a una mayor concentración molar.

CONCLUSIONES

Los xerogeles (cerámicos densos) $\text{Yb}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+},\text{Tb}^{3+}$ fueron obtenidos exitosamente mediante la metodología sol-gel. El tratamiento de secado y el tratamiento térmico realizado permitieron la obtención de morfologías asociadas de materiales porosos. La composición química de óxidos de tierras raras adecuada se confirmó mediante los estudios de Rayos X de energía dispersiva. Los resultados de la luminiscencia de los cerámicos se vio influenciada por la inclusión del terbio y su interacción con las diferentes concentraciones del ion Eu^{3+} en especial cuando esta última era elevada ya que los materiales con mayor concentración fueron los que exhibieron una mejor respuesta al ser excitados. Esta última propiedad adicionada a los productos porosos (cerámicos densos) puede ser aprovechable en el área biomédica.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. B. Meshkova and P. G. Doga, "Increasing Sensitivity of the Luminescence Determination of Lanthanides Using Their Complexes", *Journal of Analytical Chemistry*, Vol. 75, No. 3, 2020, pp. 286-303.
2. M. A. Aegerter, N. Leventis and M. M. Koebel, "Aerogels Handbook", *Advances in Sol-Gel Derived Materials and Technologies*, 2009, pp. 932.
3. A. Kumar, N. Yadav, M. Bhatt, N. K. Mishra, P. Chaudhary and R. Singh, "Sol-Gel Derived Nanomaterials and It's Applications: A Review", *Research Journal of Chemical Sciences*, Vol. 5, 12, 2015, pp. 1-8.
4. X. Pang, T. Yu, F. Shen X. Yu and Y. Li, "Fluorescence sensing of fluoride ions and N, N-dimethylformamide by novel luminescent lanthanide (III) xerogels", *Journal of Luminescence*, 204, 2018, pp. 169-175.
5. F. Liu, L. D. Carlos, R. A. S. Ferreira, J. Rocha, M. C. Gaudino, M. Robitzer and F. Quignard, "Photoluminescent Porous Alginate Hybrid Materials Containing Lanthanide Ions", *Biomacromolecules*, 9, 2008, pp. 1945-1950.
6. K. Binnemans, (2009). "Lanthanide-Based Luminescent Hybrid Materials". *Chemical Reviews*, Vol. 109, No. 9, pp. 4283-4374. DOI:10.1021/cr8003983
7. W. T. Hill, "Electromagnetic radiation", in *Encyclopedia Of Applied Spectroscopy* (D. L. Andrews, Wiley, John & Sons), 2009, pp. 1-26.
8. I. Norrbo, I. Hyppänen, & M. Lastusaari, "Up-conversion luminescence – A new property in tenebrescent and persistent luminescent hackmanites", *Journal of Luminescence*, 191, 2017, pp. 28-34.
9. C. R. Cornejo, "Luminescence in Rare Earth Ion-Doped Oxide Compounds", in *Luminescence - An Outlook on the Phenomena and Their Applications*, 2016, pp. 33-63.
10. J. W. Verhoeven, "GLOSSARY OF TERMS USED IN PHOTOCHEMISTRY", IUPAC Recommendations 1996, *Pure & Applied Chemistry*, Vol. 68, No. 12, 1996, pp 2223-2286.
11. "Electromagnetic radiation and the electromagnetic spectrum". in *Modern Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (A. A. Christy, Y. Ozaki and V. G. Gregoriou), Elsevier Science, Vol. 35, 2001, pp. 1-9.
12. V. V. Utochnikova, "The use of luminescent spectroscopy to obtain information about the composition and the structure of lanthanide coordination compounds", *Coordination Chemistry Reviews*, 398, 2019, pp. 1-23.
13. C. Colvard, "Photoluminescence", in *Encyclopedia of Materials Characterization* (C. R. Brundle, S. Wihon and C. A. E. Jr, edits, United States of America: Butterworth-Heinemann), 1992, pp. 373-384.
14. N. V. Zolotareva and V. V. Semenov, "β-Diketones and their derivatives in sol – gel processes", *Russian Chemical Reviews*, 2013, pp. 964-987.

15. Y. Ning, M. Zhu & J.-L. Zhang, "Near-infrared (NIR) lanthanide molecular probes for bioimaging and biosensing", *Coordination Chemistry Reviews*, 399, 2019, pp. 1-19.
16. S. Dasari, S. Singh, P. Kumar, S. Sivakumar and A. K. Patra, "Near-infrared excited cooperative upconversion in luminescent Ytterbium(III) bioprobes as light-responsive theranostic agents", *European Journal of Medicinal Chemistry*, 163, 2019, pp.546-559.
17. V. B. Taxak, R. Kumar, J. K. Makrandi and S. P. Khatkar, "Luminescent properties of europium and terbium complexes with 2'-hydroxy-4',6'-dimethoxyacetophenone", *Displays*, 31, 2010, pp. 116-121.
18. C. Xu, J. Kynický, M. P. Smith, A. Kopriva, M. Brtnický, T. Urubek, Y. Yang, Z. Zhao, C. He & W. Song, "Origin of heavy rare earth mineralization in South China", *Nature communications*, 2017, pp. 1-7.
19. W. Zhang, Y. Liu, H. Yu & X. Dong, "Eu and Tb co-doped porous SiO₂ aerogel composite and its luminescent properties", *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 379, 2019, pp. 47-53.
20. S. Montes and H. Maleki, "Aerogels and their applications", in *Colloidal Metal Oxide Nanoparticles Synthesis, Characterization and Applications* (S. Thomas, A. T. Sunny and P. Velayudhan), Elsevier, 2020, pp. 337-399.
21. A. C. Pierre and G. M. Pajonk, "Chemistry of Aerogels and Their Applications", *Chemical Reviews*, Vol. 102, 11, 2002, pp. 4243-4265.
22. R. G. Jones, "DEFINITIONS OF TERMS RELATING TO THE STRUCTURE AND PROCESSING OF SOLS, GELS, NETWORKS, AND INORGANIC-ORGANIC HYBRID MATERIALS", *IUPAC Recommendations 2007, Pure Applied Chemistry*, Vol. 79, No. 10, 2007, pp. 1801-1829.
23. J.-M. Nedelec, "Sol-Gel Processing of Nanostructured Inorganic Scintillating Materials", *Journal of Nanomaterials*, 2007, pp. 1-8.
24. U. Schubert, "Chemistry and Fundamentals of the Sol-Gel Process", in *Part One Sol-Gel Chemistry Methods*, Pp. 1-27.
25. J. Livage, "Sol-gel synthesis of heterogeneous catalysts from aqueous solutions", *Catalysis Today*, 1998, 41, pp. 3-19.
26. Z. Zhang, D. Guo, X. Yang and J. Zhang, "Calcination of ytterbia aerogels leads to ferromagnetic nanoporous ytterbium oxide networks", *Materials Letters*, 261, 2020, pp. 1-4.
27. C. A. García-González, M. C. Camino-Rey, M. Alnaief, C. Zetzl & I. Smirnova, "Supercritical drying of aerogels using CO₂: Effect of extraction time on the end material textural properties", *The Journal of Supercritical Fluids*, 66, 2012, pp. 297-306.
28. J. Yao, Y.-W. Zhao and X.-M. Zhang, "Breathing Europium-Terbium Co-doped Luminescent MOF as a Broad-Range Ratiometric Thermometer with a Contrasting Temperature-Intensity Relationship", *ACS OMEGA*, 3, 2018, pp. 5754-5760.
29. H. Ye, V. Bogdanov, S. Liu, S. Vajandar, T. Osipowicz, I. Hernández & Q. Xiong, "Bright Photon Upconversion on Composite Organic Lanthanide Molecules through Localized Thermal Radiation", *The Journal of Physical Chemistry Letters*, 8, 2017, pp. 5695-5699.
30. Z. Sun, Z. Fu and G. Liu, "Designing down- and up-conversion dual-mode luminescence of lanthanide doped phosphors for temperature sensing", *Journal of Luminescence*, 206, 2019, pp. 176-184.

GENERACIÓN DE ENERGÍA LIMPIA CON MICROTURBINA HIDRÁULICA

Roxana García Andrade, Armando Martínez Reyes , Arnoldo Fernández Ramirez , Isaac Aguirre Valenzuela y Mario Tamez Alvarez

Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Nuevo León.
roxanaitnl@gmail.com

RESUMEN

Las fuentes renovables de energía son una alternativa oportuna para sostener el desarrollo social y mitigar las consecuencias del uso de combustibles fósiles. Las energías renovables se encuentran en un nivel de desarrollo adecuado para su explotación comercial, una de ellas es la energía hidráulica. Esta fuente de energía es poco utilizada en el ámbito de casa habitación es necesario hacer conciencia de la necesidad de generar energías limpias. La generación que más se emplea en los hogares es las celdas solares, que solo pueden pagar una pequeña parte de la población por su alto costo de instalación. Esta investigación se basa en la recopilación de información literaria de las microturbinas hidráulicas y su implementación en una casa habitación por motivos de la pandemia empezamos con un diseño en CAD-CAM y su simulación para posteriormente realizar un prototipo si la investigación demuestra que si es factible la implementación de esta microturbina hidráulica. De acuerdo a Jhon Flores (2015) una micro turbina es “Una turbina hidráulica, es una máquina que transforma la energía de un caudal de agua en energía mecánica por medio de un sistema de cuchillas giratorias. Esta energía mecánica se puede utilizar para alimentar otra máquina o un generador eléctrico.” La turbina hidroeléctrica es un dispositivo capaz de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica. Es un elemento esencial de las centrales hidroeléctricas y muestra un rendimiento altísimo: se estima que las turbinas son capaces de convertir más del 90 % de la energía cinética del agua que captan en energía mecánica. Esta es una de las razones por la cual pensamos en este tipo de generación y además su costo que no es tan excesivo. La generación de energía con una micro turbina hidráulica es sencilla como instalar en la tubería la mini-turbina hidráulica con un generador eléctrico incorporado, que aprovecha el flujo y presión del agua para producir energía eléctrica. Se pueden insertar fácilmente en las tuberías como cualquier válvula o llave de paso, y actúan como válvulas reductoras de presión. La corriente eléctrica generada por esta mini turbina innovadora, permite ser utilizada directamente en la propia instalación, acumularla en baterías o venderla volcándola en la red. Si el caudal que pasa por la tubería es continuo, la producción eléctrica es constante: 24h al día, los 365 días del año. Hay tres tipos principales de turbina, dependiendo del caudal de agua y de la diferencia de altura son la turbina Francis, la turbina Pelton y la turbina Kaplan. Se utilizó la Francis. Es una turbina de flujo centrípeto. Se utiliza para saltos de altura media (de 10 a 300/400 metros) y caudales de agua de 2 a 100 metros cúbicos por segundo.

Palabras claves: Generación, micro turbina hidráulica, energía renovable.

INTRODUCCIÓN

La necesidad de generar con urgencia energías renovables nos lleva a buscar alternativas, pero... Que son energías renovables? según José Carlos (2016) “Las energías renovables son fuentes de energía limpias, inagotables y crecientemente competitivas. Se diferencian de los combustibles fósiles principalmente en su diversidad, abundancia y potencial de aprovechamiento en cualquier parte del planeta, pero sobre todo en que no producen gases de efecto invernadero –causantes del cambio climático- ni emisiones contaminantes. Además, sus costes evolucionan a la baja de forma sostenida, mientras que la tendencia general de costes de los combustibles fósiles es la opuesta, al margen de su volatilidad coyuntural.”

Esta investigación tiene como objetivo realizar un estudio para saber qué tan eficiente y que tan conveniente o que tan factible es su implementación, estas nuevas tecnologías, en específico la energía hidráulica, generando energía eléctrica con una micro turbina, que funciona con presión hidráulica, es decir con un fluido, y este no necesariamente tiene que ser por aceite o algún líquido con mayor grado de viscosidad o características más complejas como lo son estos líquidos, hablamos de que funcionen y generen energía eléctrica con algo tan sencillo, que tenemos en

nuestras casas, en nuestro hogar, y es con presión de agua que nos llega de nuestro emisor de agua que en este caso es agua y drenaje, tan sencillo como esto podríamos generar energía no en cantidades como para levantar una industria si no solo la casa habitación donde cada uno de nosotros vivimos podemos generar la cantidad necesaria de tal manera que sea redituable con el paso del tiempo y con esto también ayudamos y aportamos con nuestro granito de arena al mejoramiento del medio ambiente y a su vez contribuimos con las energías renovables que se siga incrementando su uso.

Entonces es tan sencillo como instalar en las tuberías las mini-turbinas hidráulicas con un generador eléctrico incorporado, que aprovechan el flujo y presión del agua para producir energía eléctrica. Se pueden insertar fácilmente en las tuberías como cualquier válvula o llave de paso, y actúan como válvulas reductoras de presión. La corriente eléctrica generada por esta mini turbina innovadora, permite ser utilizada directamente en la propia instalación, acumularla en baterías o venderla volcándola en la red. Si el caudal que pasa por la tubería es continuo, la producción eléctrica es constante: 24h al día, los 365 días del año. Y puede trabajar indistintamente con cualquier fluido, ya sea líquido o gaseoso.

Se realizó un diseño, ya que es mucho más fácil y sencillo poder realizar proyectos con estas herramientas como lo es el CAD (Diseño asistido por computadora) se permite conocer el enfoque del diseño de las estructuras inteligentes o que tienen autonomía en cuestión de movimientos, esto refuerza mucho la parte mecánica.

ANTECEDENTES

La turbina hidroeléctrica es un dispositivo capaz de transformar la energía cinética del agua en energía mecánica. Es un elemento esencial de las centrales hidroeléctricas y muestra un rendimiento altísimo: se estima que las turbinas son capaces de convertir más del 90 % de la energía cinética del agua que captan en energía mecánica.

Una turbina hidroeléctrica está formada por una parte fija, llamada estator, y por la rueda o rotor. El primero sirve para dirigir y regular el caudal de agua y el segundo transfiere la energía cinética del agua al eje en el que está montado.

Una máquina hidráulica es un dispositivo capaz de convertir energía hidráulica en energía mecánica; pueden ser motrices (turbinas), o generatrices (bombas), modificando la energía total de la vena fluida que las atraviesa. En el estudio de las turbomáquinas hidráulicas no se tienen en cuenta efectos de tipo térmico, aunque a veces habrá necesidad de recurrir a determinados conceptos termodinámicos; todos los fenómenos que se estudian serán en régimen permanente, caracterizados por una velocidad de rotación de la máquina y un caudal, constantes.

En una máquina hidráulica, el agua intercambia energía con un dispositivo mecánico de revolución que gira alrededor de su eje de simetría; este mecanismo lleva una o varias ruedas, (rodetes o rotores), provistas de álabes, de forma que entre ellos existen unos espacios libres o canales, por los que circula el agua. Los métodos utilizados para su estudio son, el analítico, el experimental y el análisis dimensional.

El método analítico se fundamenta en el estudio del movimiento del fluido a través de los álabes, según los principios de la Mecánica de Fluidos. El método experimental, se fundamenta en la formulación empírica de la Hidráulica, y la experimentación. El análisis dimensional ofrece grupos de relaciones entre las variables que intervienen en el proceso, confirmando los coeficientes de funcionamiento de las turbomáquinas, al igual que los diversos números adimensionales que proporcionan información sobre la influencia de las propiedades del fluido en movimiento a través de los órganos que las componen.

Tipos de turbinas

Las turbinas se distinguen en primer lugar por sus rangos de operación, ya que cada una es especialista en ciertas relaciones salto caudal: algunos son especialistas de mucha altura y poca agua y otras de poca altura y mucha agua y otras en los rangos medios. Como se fabrican a medida en cada caso, hay que saber evaluar la situación específica de cada lugar para poder elegir con criterios adecuados, no solo hidrológicos, sino también a nivel de condiciones de operación, accesos, calidad de agua etc., cual es la turbina más óptima, sobre todo en rangos donde dos o tres tipos de turbinas son aptas.

En segundo lugar, las turbinas se dividen en turbinas de acción (Pelton, Crossflow) y reacción (Francis, Kaplan), es decir que unas reciben su principal empuje de la presión desde arriba, y otras por la succión en su tubo de aspiración en la salida al agua inferior.

Turbina Pelton

Esta turbina fue inventada por Lester Allan Pelton, un ingeniero minero de la segunda parte del siglo 19, quien, trabajando varios años en el desarrollo de rodetes hidroeléctricos, descubrió que el chorro, en vez de dejarlo golpear en el centro de las paletas, lo hacía en su borde, el flujo de agua salía de nuevo en dirección inversa. Con esta configuración hidráulica el rodete Pelton adquiere mayor velocidad, por lo cual toda la energía cinética producida por el chorro se conserva para la generación de electricidad.



Figura 1 Turbina Pelton fuente: <https://www.enelgreenpower.com/es>

Esta turbina es especialista en grandes saltos, de entre 100 y 600m aproximadamente, con poco caudal en comparación (aprox. 50-3.000 l/seg en los rangos de potencia de Mini hidráulica), ya que en la fórmula la altura/presión es la presión que “da” la potencia.

Turbina Francis

Las turbinas Francis son seguramente las más conocidas y muy eficientes, ya que su rodete es fijo y solo unas alabes guías en la entrada permiten cierta variación de caudal. James B. Francis en 1848 mejoró los diseños de Benoit Fourneyron y Jean-Victor Poncelet de turbinas con flujo tangencial hacia un rodete y logró esta turbina con un 90% de eficiencia (hoy hasta 92% en rangos de Mini hidráulica). La alta eficiencia, es hasta el día de hoy el punto clave para su éxito, pero solo la consigue en un rango de caudales muy limitado del 70 al 100% del caudal de diseño. Después la eficiencia cae rápidamente y a partir del 40% es aconsejable parar su operación para evitar la cavitación del rodete.

Las turbinas Francis se aplican idealmente en saltos de 30 hasta 300 m y hasta muy altas potencias por turbina, y son ideales en caudales estables y aguas perfectamente limpias, ya que en su versión pequeña se pueden atascar con facilidad si el agua cuenta con mucho arrastre, y la abrasividad es alta por su alta velocidades del agua dentro de su tubo de aspiración.

Turbina Crossflow o Flujo Cruzado

La turbina de flujo cruzado fue desarrollada por el australiano Anthony Michell (1903), el húngaro Donát Bánki y el alemán Fritz Ossberger al principio del siglo pasado, con la idea de un sistema sencillo para la producción de energía eléctrica en zonas rurales con un mínimo de mantención y obra civil. Más tarde el Sr. Ossberger desarrolló el sistema de las dos cámaras que le da esta importante capacidad de adaptarse a flujos y saltos variables, y optimizó su eficiencia en general llegando a un 87%. Con ello tiene una eficiencia ligeramente menor que las demás turbinas, pero una curva de eficiencias prácticamente plana para caudales parciales, comenzando su operación con solamente 6%.

Turbina Kaplan

Las turbinas Kaplan son turbinas de reacción de flujo axial muy eficientes, con un rodete que funciona de manera semejante a la hélice del motor de un barco, y debe su nombre a su inventor, el austriaco Víctor Kaplan. Son especialistas en saltos bajos de 2 a 30m con caudales abundantes, a partir de 2000l/s en su versión más pequeña y hasta varios miles de litros en sus versiones grandes.



Figura 2. Turbina Kaplan fuente. <https://www.enelgreenpower.com/es>

PARTE EXPERIMENTAL

El primer problema que se encuentra el diseñador a la hora de dimensionar una turbina es que, en función del salto y el caudal, ya sabe más o menos el tipo de turbina que necesita. Sin embargo, no conoce las dimensiones de la misma. Tomando como fundamento la hélice, que inventó el sueco John Ericson en 1836, inicialmente para aplicarla en la propulsión de buques, y una vez que se generalizó la utilización de las turbinas para la generación de energía eléctrica, se usaron las hélices de paso fijo en la construcción de turbinas para saltos bajos, que presentaban muchas limitaciones. En 1915 el austriaco Victor Kaplan desarrolló, a partir de las turbinas hélice, una regulación de las palas del rodete que significó una revolución para la explotación de los saltos de poca altura. Lo primero es encontrar el número específico de revoluciones, aplicando la fórmula:

$$Ns = \frac{n}{H} \sqrt{\frac{P}{\sqrt{H}}}$$

Dónde:

Ns= número específico de revoluciones (adimensional).

n= revoluciones de la turbina (r.p.m.).

P= potencia de la turbina.

H= altura del salto.

Tabla 1. Tipo de turbina más adecuado en función del número específico de revoluciones.

VELOCIDAD ESPECIFICA Ns	TIPO DE TURBINA	ALTURA DE SALTO METROS
Hasta 18	Pelton con un inyector	800
De 18 a 25	1 inyector	De 800 a 400
De 26 a 35	1 inyector	De 400 a 100
De 26 a 35	2 inyectores	De 800 a 400
De 36 a 50	2 inyectores	De 400 a 100
De 51 a 72	4 inyectores	De 400 a 100
De 55 a 70	Francis lentísima	De 400 a 200
De 70 a 120	Francis lenta	De 200 a 100
De 110 a 200	Francis media	De 100 a 50
De 200 a 300	Francis veloz	De 50 a 25
De 300 a 450	Francis ultra velocísima	De 25 a 15
De 400 a 500	Hélice velocísima	Hasta 15
De 270 a 500	Kaplan lenta	De 50 a 15
De 500 a 800	Kaplan Veloz	De 15 a 5
De 800 a 1100	Kaplan velocísima	5

Para determinar la potencia y RPM se hicieron los siguientes cálculos, por lo tanto, posteriormente nos proporcionara cuantos Volts generara la microturbina.

- Velocidad Tangencial = $U1 = 2.94\sqrt{h}$
- Succión de aspiración = $A = \frac{Q}{v}$
- Sección tubo de aspiración = S.T.A = $\frac{\sqrt{4} \times A}{\pi}$
- Calculo RPM = $\frac{60 \times U1}{D \times \pi}$
- Potencia = $\frac{\gamma Q H n}{76}$
- No especifico de revoluciones en caudal = $\frac{N \times \sqrt{P}}{H \times \frac{5}{4}}$

Ya teniendo estos datos, pasamos a mostrar los datos del motor adaptado al estator de la turbina para que a la inversa funcione como un generador, todo esto en la siguiente tabla la cual nos muestra el voltaje que debería de salir directamente proporcional al número de vueltas del estator conocido como RPM y todas las especificaciones del mismo, aclarando que este pequeño motor es de uso comercial.

Tabla 2 Relación de Voltaje-RPM

Voltaje DC (v)	Corriente (A)	RPM
12	0.14	3500
18	0.15	4500
24	0.16	7000
30	0.17	8100
36	0.20	9000

Por lo tanto, podemos observar que con los RPM que obtenemos de nuestra microturbina no es suficiente por lo que habrá necesidad de utilizar un sistema de engranajes para poder potenciar estos mismos. Con base a lo antes visto y antes estudiado, vemos que existen algunos ya diseños y prototipos ya en el mercado con precios no muy accesibles y que aseguran que funcionan como el nuestro, la gran finalidad de este proyecto es poder realizarlo tanto como en CAD como en la realidad.

Desarrollo del diseño

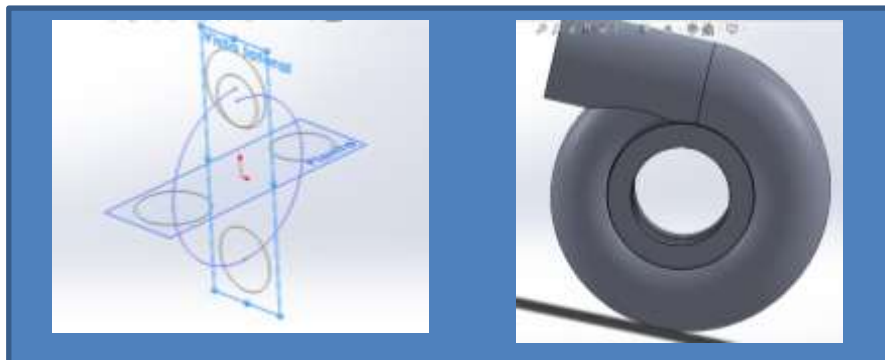


Figura 3. Trazado y diseño de turbina

A continuación, seleccionaremos la cara interior de la última sección armada, una vez seleccionada la utilizaremos para hacer un nuevo croquis en ella. En este realizaremos las siguientes figuras.

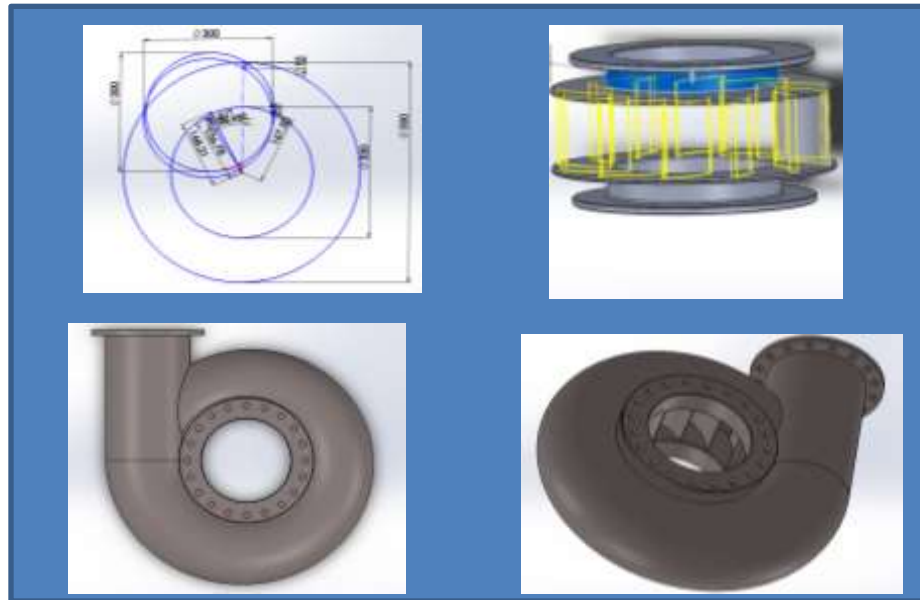


Figura 4 Diseño de Entrada de Caudal

Ensamble del Motor y la turbina



Figura 5. Ensamble terminado del motor y la turbina incluye salida de Caudal

RESULTADOS

Para la parte de la simulación primeramente tenemos que detallar el hecho de que se debe cortar el sólido a la mitad para poder llevar a cabo el estudio correspondiente que en este caso se llama FloXpress para poder llevar a cabo el estudio.

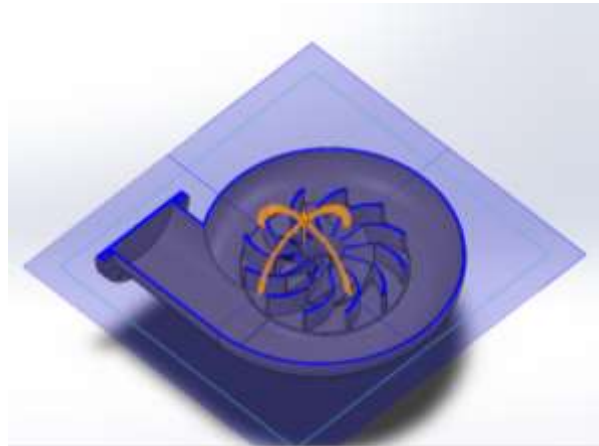


Figura 6. Simulación del flujo de agua en la turbina

Para el desarrollo de la simulación del líquido tenemos que seleccionar la sección “Herramientas” después vamos a la selección “Productos Xpress” y procedemos a seleccionar “FloXpress” para el desarrollo de la simulación.

Se debe especificar qué nuestro estudio es de “índice de flujo de volumen” por qué vamos a simular un fluido, nos va a pedir que seleccionemos una cara que es donde entrada el flujo y en qué dirección con flechas rojas, nos pedirá un caudal “Q” y una temperatura en Kelvin, el caudal que se propuso es de “ $0.8\text{m}^3/\text{s}$ ” que este es el promedio para una casa habitación y la temperatura ambiente que son “ 293.2K ”.

Por último, nos mostrara las trayectorias de entrada y de salida en color rojo tenemos las presiones más altas y en color azul las presiones más bajas.

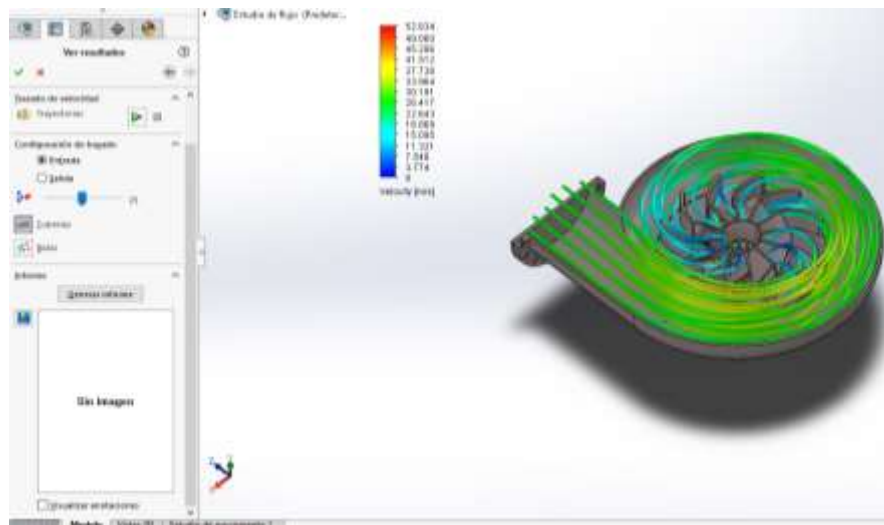


Figura 7 Velocidades máximas y mínimas de salida en la turbina

CONCLUSIONES

La energía limpia es una energía en pleno desarrollo en vista de nuestra preocupación actual por la preservación del medio ambiente y por la crisis de energías agotables como el gas o el petróleo. Entonces como ya sabemos, hoy en día es muy necesario tener más posibilidades de energías limpias, mismas que deberían contar con el potencial suficiente para sostener ciertos sectores que son indispensables para nosotros, las cuales deberían proporcionar un sinnúmero de ventajas, entre ellas la más importante, reducir el efecto invernadero y proteger nuestro planeta. Por eso mismo al término de este proyecto, donde se estudió, analizó, diseñó, modeló y simuló esta alternativa, nos dimos

cuenta que en condiciones especiales y esperando que sean las óptimas e ideales, nuestra microturbina debería y podría ser una de esas alternativas, que dejando muy en claro sería para una pequeña parte de una casa hogar, debido a que con los análisis hechos pudimos observar que no cuenta con la potencia necesaria para sostener aparatos eléctricos que exijan mucho consumo de esta misma, pero estamos seguros que este prototipo sería el salto a algo más grande, por lo tanto llegamos a la conclusión de que esta tiene el potencial para mejorar y así poder abastecer un muy buen porcentaje de una casa hogar, si no es que en su totalidad.

La energía generada por este generador hidráulico es buena, pero no la suficiente para poder mantener a flote una casa por ejemplo en un apagón, o algo así por el estilo, se recomienda un banco de baterías para poder almacenar esta energía generada.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Brizuela, G. Zanella, "Diseño y Construcción de una Microturbina tipo Kaplan para banco de ensayos" Memorias del IX Encuentro Latinoamericano y del Caribe Sobre Pequeños Aprovechamientos Hidroenergéticos. 2001
2. Segura. "Optimización Y Estudio Hidrodinámico De Una Microturbina Hidráulica Para El Aprovechamiento Energético De Pequeños Saltos De Agua", Universitat Jaume I, 2016, Castellón de la Plana, pp 1-161
3. N. Cotella, P. Varela, O. Villagra, R. Kohl "Diseño Y Construcción De Una Microturbina Hidráulica De 1 KW", Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente, Argentina, 2002, Vol. 6, Nº 1, pp 11-15
4. M. Polo, "Turbomaquinas Hidráulicas", 1ra. Ed., Editorial Limusa.
5. T. Reyna, M. Lábaque, B. Irazusta, S. Reyna, C. Riha, "Microturbinas Hidráulicas. Diseño, Adaptaciones Para Enseñanza de Microgeneración", XXVIII Congreso latinoamericano de hidráulica, Argentina. 2018, pp. 1-12
6. Góngora, "Micro Turbinas para pequeños aprovechamientos hidroeléctricos. Turbina Michell-Banki", Tesis de Maestría. Maestría en Ciencias de la Ingeniería – Mención en Recursos Hídricos. Universidad Nacional de Córdoba. Argentina 2012.

MAQUETA DE PRÁCTICAS DE REDES INDUSTRIALES

Armando Martinez, Roxana Garcia Andrade, Arnoldo Fernández Ramírez y David Francisco Ocaña Díaz

TECNOLOGICO NACIONAL DE MEXICO/INSTITUTO TECNOLOGICO DE NUEVO LEON.

armando2k@hotmail.com

RESUMEN

En esta época de pandemia, no es posible asistir a los laboratorios y considerando que esta será la nueva normalidad de los países, se planea elaborar un prototipo para que el alumnado o personal, bajo capacitación de redes industriales, instrumentación y control, logren realizar una serie de prácticas físicas y lograr así una capacitación integral. Se determinó un equipo de bajo costo que permita la capacitación práctica de protocolos de red industrial, integrando una pantalla HMI (interface hombre maquina), creando un entorno similar a la industria para lo cual se propone elaborar una maqueta que contenga 3 Microcontroladores del tipo Arduino con interfase RS-485 y una Laptop con interfase USB-RS485 para integrarla a una pantalla LCD touch Nextion modelo NX4827K043 o similar, que funcione como interface HMI, logrando así, elaborar prácticas en un entorno similar a la industria. Esta solución incluye parte de hardware - una serie de placas TFT y parte de software - Editor de Nextion. La placa TFT Nextion utiliza sólo un puerto serie para hacer comunicación. Deja que te deshagas del problema de cableado. Notamos que la mayoría de los ingenieros pasan mucho tiempo en el desarrollo de aplicaciones, pero obtienen resultados desagradables. En esta situación, el editor de Nextion tiene componentes de masa tales como botón, texto, barra de progreso, deslizador, panel de instrumentos, etc. para enriquecer su diseño de interfaz. Y la función de arrastrar y soltar garantiza que pases menos tiempo en la programación, lo que reducirá tus cargas de trabajo de desarrollo del 99%. Con la ayuda de este editor WYSIWYG, el diseño de GUI es de fácil uso. Con el desarrollo de este proyecto se busca contribuir a mejorar la eficacia y eficiencia del programa de educación remota haciendo más comprensible la complejidad de las actividades que integran estos procesos y de esta manera ayudar a facilitar su aprendizaje. La placa Arduino UNO es una placa basada en el microcontrolador ATmega328P, es la mejor placa para iniciar con la programación y la electrónica. Si es tu primera experiencia con la plataforma Arduino, la Arduino UNO es la opción más robusta, más usada y con mayor cantidad de documentación de toda la familia Arduino. El RS485 es un estándar de comunicaciones ampliamente empleado en industria que podemos emplear en procesadores como Arduino para leer o escribir en otros dispositivos. El RS485 es sencillo, robusto y, a diferencia de otras tecnologías propietarias, su uso es gratuito. Por estos motivos, muchos dispositivos sensores y actuadores lo han adoptado como forma de comunicación, siendo frecuente en el ámbito industrial. Una de las ventajas del RS485 es la larga distancia de transmisión. El alcance depende de la velocidad, siendo posible conseguir 35 Mbps en distancias inferiores a 10 metros, y hasta 100 Kbps en distancias hasta 1200 metros.

INTRODUCCIÓN

Para resolver el problema de prácticas física en la modalidad de educación en línea, se diseñó este modelo de maqueta considerando componentes de bajo costo, el cual contempla implementar prácticas de contenidos en el área de redes industriales logrando interactuar con 4 microcontroladores del tipo Arduino interconectados entre si por medio del interfaz RS-485 y una pantalla tipo nextion como dispositivo HMI (interfase hombre-maquina), implementando de esta manera un entorno industrial, aparte de enfrentar retos como estudiante de implementarlo y aplicarlo logrando una preparación como profesional en la industria y aportar conocimiento de calidad en poco tiempo.

Al final esta maqueta aportara a los estudiantes conocimiento y desarrollo dentro de la materia, ventajas competitivas, adaptación e innovación dentro de la industria.

TEORÍA

El bus RS-485 Es un sistema de interconexión para transmisión de datos a grandes distancias y apto para operar en ámbitos eléctricamente ruidosos. Su conexión es muy sencilla: a partir del puerto

serie (COM1) de cualquier ordenador utilizando tan solo dos circuitos integrados muy económicos y fáciles de obtener: MAX232 Y MAX485.

También es conocido como EIA-485 es un estándar de capa física según el modelo OSI. Es decir, no pone normas ni restricciones sobre el contenido, forma o codificación de los mensajes enviados. Utilizando RS485 como capa física es posible implementar un bus de campo industrial tipo MODBUS para comunicación entre equipos industriales o DMX para el control de luces entre otras aplicaciones. El estándar RS485 es ampliamente utilizado por su robustez, fácil implementación y buenas prestaciones.

La operación de estos dispositivos en red puede realizarse de dos maneras: La denominada Half Duplex como se muestra en la figura 1 la cual permite enviar y recibir comandos en forma secuencial (primero se solicita lectura de sensor y posteriormente se envía comando al actuador). La operación denominada Full Duplex requiere de un par de interfaces RS-485 por cada microcontrolador esto permitirá enviar y recibir simultáneamente comandos de petición de medición y ejecución de actuadores esto se muestra en la figura 2

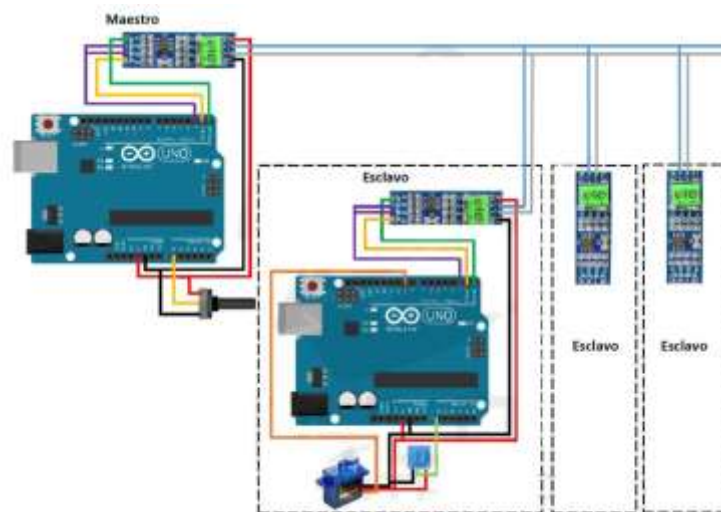


Figura 1. Conexiones básicas Half Dúplex

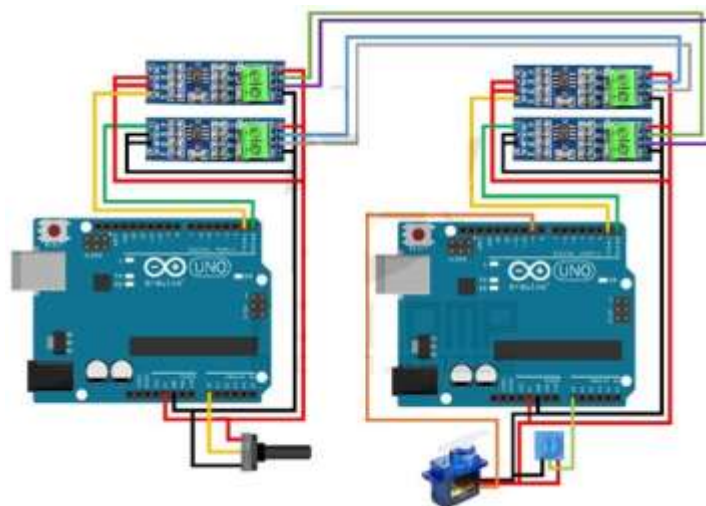


Figura 2 Conexiones básicas de Full Duplex

PARTE EXPERIMENTAL

El protocolo RS485 está definido como un sistema de comunicación en bus diferencial multipunto, es ideal para transmitir a velocidades medianas sobre largas distancias (35 Mbit/s hasta 10 metros y 100 kbit/s en 1200 metros) y a través de canales ruidosos, ya que al emplear voltajes diferenciales reduce los ruidos eléctricos que aparecen en la línea de transmisión. El medio físico de transmisión (cableado) es el cable par trenzado que admite hasta 32 estaciones en 1 solo bus, con una longitud máxima de 1200 metros operando entre 300 y 19200 bit/s bajo comunicación half-duplex (semiduplex).

Equipo y materiales necesarios:

- 4 módulos RS485 a serial TTL.
- 4 Arduinos NANO
- Cables de conexión. .
- 3 servomotores
- 1 fuente de alimentación.
- 1 sensor de temperatura y humedad DTH11.
- 1 Protobard
- Pantalla Nextion

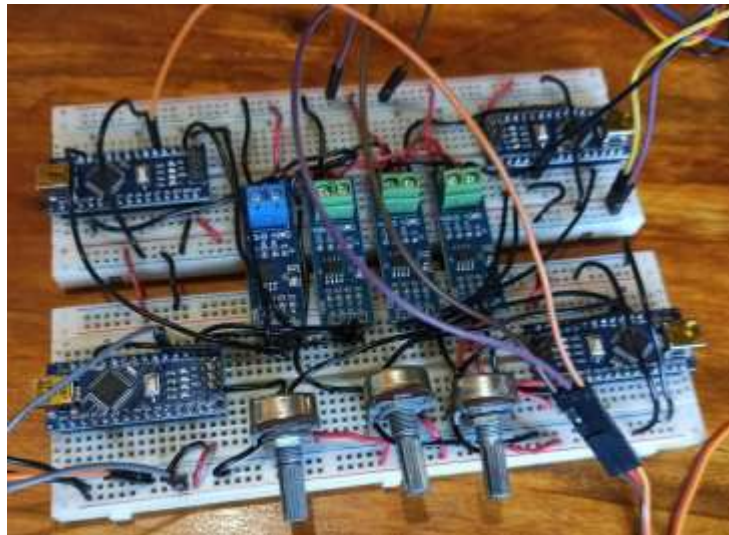


Figura 2 Implementación física

Procedimiento:

Decidimos realizar una comunicación half duplex en el cual utilizamos un solo canal para comunicarnos, en un momento por el canal se transmiten datos y en otro momento se reciben datos, pero no podemos hacer las 2 cosas al mismo tiempo. En futuros trabajos se implementara la versión Full-Duplex.

RESULTADOS

La configuración terminada de microcontroladores en red está constituida por un microcontrolador maestro y tres esclavos. El microcontrolador maestro envía comandos a los esclavos para realizar una petición de medición de sensores o para ejecutar una acción en los actuadores (Servomotores). Posteriormente se ejecutaron pruebas para solicitar mediciones así como para activar los servomotores. Se realizó la comprobación de enviar una indicación con el maestro y que el esclavo la reciba, y devuelva la lectura de la temperatura y la humedad o controle los servomotores, en este caso se dieron las siguientes indicaciones para que fueran ejecutadas por los microcontroladores esclavos:

- Al presionar el carácter “2” se mostrará la temperatura en el monitor serial.
- Al presionar el carácter “3” se mostrará la humedad en el monitor serial.
- Al activar la pantalla Nextion en forma “Touch” se logra posicionar los servomotores

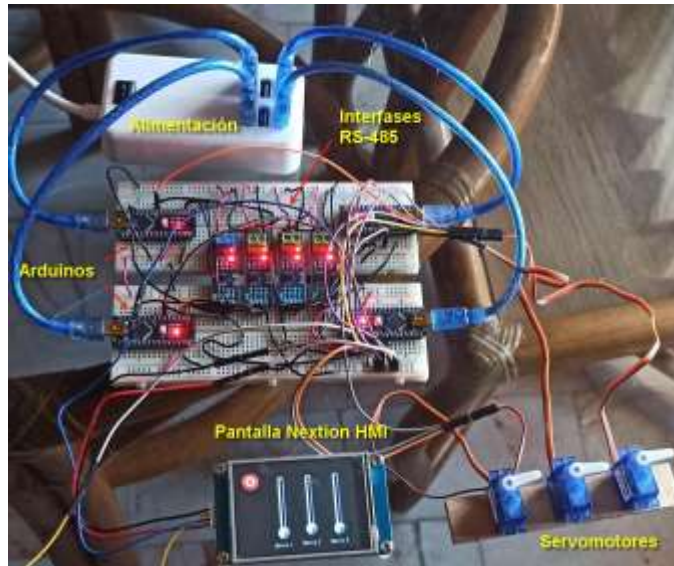


Figura 4 Implementación final

CONCLUSIONES

Durante el desarrollo de este proyecto se utilizaron las interfaces de comunicación RS485 y uso de la pantalla HMI. Este tipo de protocolos son muy utilizados en la industria y este proyecto nos permite adquirir la experiencia en los mismos, lo cual será de utilidad durante el trabajo profesional.

Los principales aprendizajes referentes a la interfaz RS485 es relacionado a los diferentes tipos de comunicación que se puedan emplear dependiendo de lo que se requiera y como llevar a cabo cada uno de ellos. Se tomó la decisión de implementar como primera fase de este proyecto el Half Duplex para reducir costos. El half dúplex nos permite, solo enviar datos a los controladores que tenemos conectados con esta interface.

BIBLIOGRAFÍA

1. E. J. Alzate, J. W. Montes, “Medición de temperatura: sensores termoelectrónicos”, *Scientia et Technica*, Vol. 1, Núm. 37. (2007), Universidad Tecnológica de Pereira, pp. 1-6
2. J. Guerra, *Programa fácil*. Obtenido de <https://programarfácil.com/blog/arduino-blog/rs-485-max485-arduino/>, 2021.
3. N. G. Forero, “Normas de Comunicación en Serie: RS-232, RS-422 y RS-485”, *Ingenio Libre*, 2012, pp. 86-94
4. M. León, K. Alejandro. “Diseño e implementación de un sistema de supervisión, monitoreo y control multiprotocolo en un módulo demostrativo portátil”, Universidad de las fuerzas armadas, Ecuador, 2020.
5. A.J. Garcia, “Comunicación Multimaestro a través de par trenzado RS-485 Half Duplex”, RIUMA, 2016.
6. T. Riihonen, S. Werner y R. Wichman, "Comparación de los modos Full-Duplex y Half-Duplex con un relé fijo de amplificación y avance", *2009 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, 2009, págs. 1-5, doi: 10.1109 / WCNC.2009.4917634.

PERIODOS DE CALIBRACIÓN PARA INSTRUMENTOS QUE MANTIENEN UNA TRAZABILIDAD ESTÁTICA, UNA ARISTA A LA GUÍA ILAC-G24 / OIML D 10

Gabino Estevez Delgado¹, Joaquín Estevez Delgado²

¹Facultad de Químico Farmacobiología, UMSNH, ²Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, UMSNH.
gabino.estevez@umich.mx

RESUMEN

Resulta de interés particular para todas las empresas poder mantener sus sistemas de medición de acuerdo con el sistema de gestión de la calidad con la que se trabaja. Un caso particular es el caso de los laboratorios y empresas que trabajan con la norma ISO 17025, en la que la exigencia de mantener un sistema acreditado contempla tener periodos de calibración de todos los instrumentos y materiales que intervienen en mediciones críticas declaradas dentro del alcance en su sistema. Alrededor de este proceso se dan diversos escenarios, el más vertical es en el que dada una regulación o de acuerdo con las características metrológicas declaradas para el material o instrumento, al pertenecer a una determinada clase de exactitud, deben realizarse los periodos de calibración en determinado mínimo de tiempo; un segundo escenario es cuando no existe una normatividad o consenso que establezca los periodos de calibración, lo que conlleva a un análisis. Es en este segundo escenario donde centraremos la atención de la presente investigación, observando a partir de los certificados o informes de calibración, que en tanto se mantenga la misma trazabilidad al sistema internacional de unidades por un mismo proveedor es factible analizar la tendencia de la incertidumbre a lo largo del tiempo y la tolerancia declarada o medida, si la tendencia se mantiene lineal es factible determinar los periodos de calibración como el cociente de la tolerancia entre la pendiente de las mediciones lineales de los históricos de las incertidumbres.

INTRODUCCIÓN

El proceso de calibración de instrumentos de medición que interviene en servicios de medición para empresas que están acreditadas o certificadas bajo alguna referencia, como son las normas ISO 17025 (Leonov, O., 2020), ISO 15189 (Braga, F., 2021) e ISO 9001 (Varenne, F., 2021), se convierte en una exigencia que no puede omitirse, sin embargo, el uso que se les da es diferente entre una empresa con respecto a otra. En tanto que una empresa hace uso de su equipo un par de veces al mes otras lo pueden utilizar más de 10 veces al día y su periodo de calibración puede ser llevado en un mismo periodo, lo que se convierte en una acción que puede parecer injusta para aquel que no les da un uso excesivo a sus instrumentos. De aquí derivan varias interrogantes, lo cierto es que dependiendo del tipo de instrumento o material utilizado se debe generar acciones. Algunos instrumentos están regulados por normatividades (Soriano, B., 2004), que obedecen a clases de exactitud, como es el caso de pesas que se utilizan comercialmente con la intención de procesos de calibración o servicios complementarios de un proceso aún más complejo, en el que se debe de ajustar al periodo dado en la normatividad (Valcu, A., 2018).

En otras ocasiones se tiene la posibilidad de verificando el comportamiento de los instrumentos y aparatos a fin de determinar alguna desviación, determinada como deriva, que permita la intervención del operador que generalmente se realiza a través de un control de calidad, como lo es el uso de una carta control. Se ha observado la fortaleza de este tipo de metodología como una potencial forma de ahorrar entre un 25% a 40% (Gaber, S., 2021).

Como parte de las actividades realizadas por los laboratorios, empresas o usuarios de instrumentos de medición analítica está la de mantener los instrumentos de medición con las mejores condiciones, de tal manera que aporten información confiable para lo que fueron diseñados. Un instrumento no calibrado o que aun siendo calibrado pero que presenta sesgos, nos alejará de la reproducibilidad de los resultados y con ello de la confiabilidad y calidad de lo medible, por esta razón, los usuarios de un instrumento de medición deben planear a fin de que se mantengan las condiciones metrologías declaradas de acuerdo a la conformidad de las mediciones realizadas, pero a la par estas mediciones deben de disminuir riesgos en la emisión de resultados que se alejan del objetivo previsto (Velychko, O., 2021).

TEORÍA

La Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) ha establecido a través de la norma ILAC – G24 Directrices para la Determinación de los Periodos de Calibración de los Instrumentos de Medición (GUIDANCE ILAC-G24 INTERNATIONAL OIML D 10, 2007), entre los que se destacan el aseguramiento de la calidad de las mediciones, particularmente el aseguramiento de las características metrológicas en función del alcance, por lo menos de la misma característica de lo que requiere medir. Por otro lado, el proceso documental es una herramienta que garantiza el cumplimiento declarado en los alcances de una medición, haciendo énfasis en los registros de todos los instrumentos que intervienen en la medición de tal forma que se apeguen en sentido estricto a determinar, como parte del control de la calidad, que el presupuesto de las contribuciones que pueden afectar una medición inicial se mantengan dentro de un intervalo de confianza, tal como lo sugiere las guías para la expresión de la incertidumbre de las mediciones (GUM, 2008).

Como parte del cumplimiento de la calidad declarada por las empresas o laboratorios, particularmente de los laboratorios acreditados, algunos de ellos deciden realizar evaluaciones de la conformidad, en la búsqueda de pruebas objetivas que permitan garantizar la calidad de sus mediciones. Este proceso de evaluación, la mayoría de las veces recae en los laboratorios de ensayo o calibración como proveedores de este tipo de evaluación quienes aportan información importante para poder proyectar sus necesidades del cumplimiento de alguna regla de decisión, que además puede responder a otras exigencias de la confirmación metrológica (Khatmullina, R., 2021). En nuestro país, recientemente se han actualizado los requisitos en función de una serie de requisitos de evaluación de la conformidad declarada como Ley Infraestructura de la Calidad (Ley de la Infraestructura de la Calidad, 2020), que fomenta el cumplimiento de las regulaciones en todos los sectores productivos y que desde luego al considerar la metrología científica y legal hace hincapié en mantener en las mejores condiciones todo lo que interviene en la productividad de las empresas y laboratorios y de manera natural surge la necesidad de dar trazabilidad a lo medible a través de los instrumentos con los que se realizan dichas mediciones y por ende mantener los propios instrumentos y materiales con calibraciones periódicas que mantengan las mejores condiciones metrológicas.

Como parte de las recomendaciones dadas en la norma ILAC – G24 “Directrices para la Determinación de los Periodos de Calibración de los Instrumentos de Medición”, se observa y se analiza que los periodos de calibración están ligados a la variabilidad que diversas consideraciones, la gran mayoría ligados a controles de calidad que evidencian, en primera instancia mantenimiento en los equipos y en segunda a un proceso necesario de calibración de equipos e instrumentos que participan en el proceso de medición. De manera particular, los laboratorios y empresas realizan diversas verificaciones de sus procesos y producto de ello pueden detectar que sus instrumentos y materiales están sufriendo desviaciones y que pueden aportar cambios. En diversas ocasiones nos vemos influidos por criterios subjetivos que involucran conocimientos empíricos o lo que conocemos como la experiencia empírica, con términos como los criterios llamados “intuición ingenieril”, que aún con todo lo valiosa será una condición informal (Toteva, P., 2017).

Los procesos más formales para poder llegar a los periodos de calibración descansan sobre la variabilidad etiquetada como la incertidumbre de las mediciones, en los que para la evaluación de esta variabilidad se involucra un concepto ligado a la incertidumbre llamada deriva, definida como variación continua o incremental de una indicación a lo largo del tiempo, debida a variaciones de las características metrológicas de un instrumento de medida. Es así que la deriva forma parte de uno de los conceptos centrales para el análisis del periodo de calibración y el elemento base sobre los que se sustentan las recomendaciones de la norma la norma ILAC – G24, con sus cinco recomendaciones:

- 1) Ajuste automático o “Escalera” (tiempo-calendario)
- 2) Gráfico de control (tiempo-calendario)
- 3) Tiempo “en uso”
- 4) Controles en servicio, o ensayo de “caja negra”
- 5) Otros enfoques estadísticos

El primero está basado en la determinación de la tolerancia y deriva en un punto de calibración con la mayor desviación dentro del alcance de medición y requiere la calibración actual y las anteriores definida acotada por la ecuación:

$$\text{Intervalo calibración} \leq \frac{\pm \text{Tolerancia}}{\text{Deriva}} \quad (1)$$

Donde la deriva se calcula como:

$$\text{Deriva} = \frac{\text{Desviación}}{t_2 - t_1} \quad (2)$$

Así mismo, la tolerancia está ligada a la exactitud de medida que puede ser considerada a la variabilidad máxima, dependiendo del tipo de instrumento.

Para el caso de la segunda recomendación, el uso de cartas control, que determinan el intervalo de calibración óptimo de acuerdo a los datos obtenidos de la deriva y la dispersión de los valores, los límites de control están basados sobre los valores de la incertidumbre y el valor esperado en la caracterización de la medición, lo que puede complicar el análisis para instrumentos de baja incertidumbre sensibles a variaciones mínimas y con ello dar criterios difíciles de aplicar.

Para el tercer caso, el punto clave radica en el monitoreo en el que la desviación alcanza el error máximo permisible, ya que es en ese punto en el que se considera el intervalo de calibración. El número de calibraciones realizadas y el costo de las calibraciones, es una función directa del tiempo que se ha utilizado el instrumento (Petró, S., 2021). En este caso, se aplica la primera ecuación, solo que la deriva cambia ligeramente como:

$$\text{Deriva} = \frac{\text{Desviación}}{\text{tiempo en uso(horas)}} \quad (3)$$

En el que el tiempo de horas de uso está determinado en horas.

El cuarto caso, llamado caja negra, es una de las consideraciones más difíciles dado que este se efectúa cuando las condiciones de uso por un aumento en la variabilidad ponen de manifiesto que se requiere de una calibración, a la que se le antecederá un servicio de mantenimiento. Sin embargo, para un laboratorio o empresa que tiene que responder a parámetros que garanticen la calidad, el parámetro sobre el que se puede definir la tolerancia le puede anteceder parámetros con valores inaceptable lo que conllevará a trabajo no conforme y lo más grave valores indetectables a tiempo. Y el último caso, requiere de consideraciones estadísticas que se parten de historiales y modelos predictivos, con software especializado a fin de dar un reconocimiento del comportamiento de los instrumentos, obedeciendo a la ley de grandes números, en el que la predicción de un modelo teórico habrá que aproximarse al comportamiento del instrumento y entre más se tiene información del instrumento más podemos hablar de un valor esperado sobre el mejor periodo de calibración.

PARTE EXPERIMENTAL

Matemáticamente la deriva expresa la razón de cambio de cómo cambian los errores de medición a lo largo del tiempo, es decir, dada una función de los errores de medición, considerando su cambio en el tiempo:

$$\text{Deriva} = \frac{\Delta \varepsilon}{\Delta t} \quad (4)$$

Donde $\Delta \varepsilon = |\varepsilon_i - \varepsilon_{i+1}|$ y $\Delta t = |t_i - t_{i+1}|$, siendo (ε_i, t_i) error de medición y tiempo respectivamente $\forall i = 1, 2, \dots, n$.

Por otro lado, los periodos de calibración se establecen como:

$$\text{Periodo de calibración} = \frac{\text{Tolerancia}}{\text{Deriva}} \quad (5)$$

Lo ideal es que un si $\Delta \varepsilon = 0$ a lo largo del tiempo su deriva no cambia, es decir:

$$\lim_{\text{deriva} \rightarrow 0} \frac{\text{Tolerancia}}{\text{Deriva}} = \text{infinito} \quad (6)$$

Lo que quiere decir que derivas pequeñas permiten extender los tiempos de calibración si las tolerancias se mantienen constantes. Un caso particular se da cuando las tolerancias se mantienen constantes, por declararse características asociadas a las clases de exactitud, en cuyos casos podemos observar que principalmente los periodos de calibración se centran en la deriva instrumental.

Debido a que debemos centrarnos en las condiciones de operación de los equipos, esperaríamos determinar que los casos donde más nos debe interesar como cambia la deriva es aquellos donde las variaciones son las más grandes, donde es de observación particular y es en este mismo sentido que el principio de medición permite considerar que la deriva total de un instrumento con varias escalas o intervalos de trabajo deben considerar los valores máximos para la deriva total, es decir, la deriva total se establece como:

$$\text{Deriva Total para un conjunto de escalas} = |\text{Max}\{\text{Deriva}_{\text{tiempo } ti+1}\} - \text{Max}\{\text{Deriva}_{\text{tiempo } ti}\}| \quad (7)$$

Y será en ese valor donde se debe evaluar el tiempo de calibración.

Un caso particular, es cuando tenemos condiciones lineales para la deriva, es decir, si la deriva es una función de los errores que se pueden presentar a lo largo del tiempo, podemos construir una función interpolada que nos lleve a describir el comportamiento de los instrumentos, lo que requiere que tengamos un comportamiento normal en cada medición y que los calibradores que permitieron su trazabilidad tengan un mismo origen, como puede ser la misma condición de trazabilidad en los servicios de calibración, a fin de tener regularidad en las mediciones, de allí que tendríamos una función $\varepsilon(t)$. Asumiendo este criterio, podríamos determinar que los periodos de calibración serían realmente cortos, lo que daría origen de establecer el comportamiento de la deriva de la ecuación (4), como:

$$\text{Deriva} = \frac{d\varepsilon(t)}{dt} \quad (8)$$

Así podríamos establecer que si el comportamiento de los errores es lineal

$$\varepsilon(t) = mt + b \quad (9)$$

El valor de la deriva sería del tamaño de la pendiente de la curva interpolada lo que permitiría expresar los periodos de calibración directamente como:

$$P(t) = \text{Periodo de calibración} = \frac{\text{Tolerancia}}{m} \quad (10)$$

Lo cual permite de manera inmediata considerar tiempos de calibración fáciles de manejar.

Ejemplo:

Supongamos que se ha realizado calibraciones por tres años consecutivos con el mismo laboratorio, para un material determinado por un periodo de 3 años consecutivos, como los que se muestra en la tabla 1, el cual mantiene sus patrones de referencia certificados trazables al sistema internacional de unidades, con variaciones mínimas en sus patrones y en la que la tolerancia instrumental es de 0.03.

Tabla 1. De errores obtenidos de certificados de calibración por tres años consecutivos.

AÑO	Valor de referencia 0.94
2018	0.05
2019	0.07
2020	0.08

Al realizar al obtener el coeficiente de correlación de Pearson se observa que este es $r=0.9820$, lo que permite considerar que los datos han mantenido una tendencia lineal, cuya pendiente es de 0.015, lo que al sustituir en la ecuación (10) y redondear, nos lleva a considerar un periodo de calibración de 2 años.

CONCLUSIONES

Si bien es cierto que existen diferentes metodologías para poder establecer periodos de calibración, lo cierto es que las alternativas planteadas en las normatividades algunas veces se pueden llegar a consideraciones reales que pueden ofrecer alternativas rentables. En varias ocasiones los laboratorios o empresas que mantienen acreditaciones o certificaciones, contratan servicios de calibración con empresas que les resultan rentables y que inclusive por ser clientes frecuentes mantienen costos preferenciales, lo que conduce a que el servicio se contrate año con año, lo que

permite mantener el historial que en la mayoría de las veces puede dar lugar a eventos lineales, como el caso abordado en la sección anterior, inclusive aun cuando la aproximación fuera de segundo orden la eventualidad podría ajustarse sin mucho esfuerzo en la ecuación (10) y poder ajustar los cálculos no solo para la pendiente sino para los valores de los coeficientes de segundo grado, lo que conduce a tener programas de calibración confiables y poder apoyar en la reducción de costos y en la rentabilidad del proceso, particularmente cuando el uso de los materiales o equipos no incrementan la deriva instrumental, de esta forma el método expuesto puede apoyar notablemente en el objetivo de calidad al disminuir la variabilidad y el costo para las empresas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Braga, F., Pasqualetti, S., Aloisio, E., & Panteghini, M. (2021). The Internal Quality Control in the Traceability Era. *Clinical Chemistry And Laboratory Medicine (CCLM)*, 59(2), 291-300.
2. Benjamín Soriano, Víctor Aranda y Noel Gutiérrez. Determinación de Intervalos de Calibración. Simposio de Metrología 2004. 25 al 27 de octubre 2004. <https://www.cenam.mx/simposio2004/memorias/ta-011.pdf>
3. GUM Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement. JCGM 100:2008
4. INTERNACIONALE, O., & METROLOGY, O. L. GUIDANCE ILAC-G24 INTERNATIONAL OIML D 10.
5. Leonov, O. A., & Shkaruba, N. Z. (2020, April). Development of the management system for metrological assurance of measurements. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1515, No. 3, p. 032010). IOP Publishing.
6. SE Gaber - Water Science, 2021 - Taylor & Francis Adjusting external calibration intervals for auxiliary devices in testing laboratories according to intermediate checks results
7. Khatmullina, R., Shutkova, D., & Vaks, M. (2021). Current State of Standardization in the Field of Metrological Support of Information and Measurement Systems. *Norwegian Journal of Development of the International Science*, (64), 75-77.
8. Ley de la Infraestructura de la Calidad, Nueva Ley DOF 01-07-2020. Diario Oficial de la Federación. http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/LICal_010720.pdf
9. Petrò, S., & Moroni, G. (2021). Statistics-based decision rules for the ISO 10360 series of standard tests. *CIRP Annals*.
10. Toteva, P., Slavov, S., & Vasileva, D. (2017). Comparison of the methods for determination of calibration and verification intervals of measuring devices. In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 94, p. 04012). EDP Sciences.
11. Vâlcu, A., & Călin, A. (2018, agosto). Asegurar la validez de los resultados mediante comprobaciones intermedias en el campo de las mediciones de masa. En *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1065, No. 4, p. 042033). IOP Publishing.
12. Varenne, F., & Vauthier, C. (2021). Practical Guidelines for the Characterization and Quality Control of Nanoparticles in the Pharmaceutical Industry. In *Emerging Technologies for Nanoparticle Manufacturing* (pp. 487-508). Springer, Cham.
13. Velychko, O., Hrabovskiy, O., Gordiyenko, T., & Volkov, S. (2021). Modeling of a System of Quality Assessment Indicators of Measuring Instruments. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2(9), 110.

HOMOCEASTICIDAD DE LAS MEDICIONES, COMPLEMENTO AL USO DEL ERROR NORMALIZADO, EN EL ANÁLISIS DE ENSAYOS DE APTITUD.

Gabino Estevez Delgado¹, Itzia Alejandra Bonilla Paz² y Joaquin Estevez Delgado³

¹Facultad de Químico Farmacobiología, UMSNH, ²Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán A.C., ³Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, UMSNH.
gabino.estevez@umich.mx

RESUMEN

El uso del error normalizado como una herramienta usada en la toma de decisiones en los ensayos de aptitud e inclusive en otro tipo de decisiones estadísticas, como se describe en normas como la ISO 17043 e ISO 13528, como son pruebas de desempeño, verificaciones intermedias, entre otras, le han valido una popularidad entre quienes pretenden tener argumentos para aceptar la validez de los resultados. Su sencillez en el cálculo, al considerar valores patrones reportados por un laboratorio considerado como referencia y los valores medidos o cuestionables, tanto para la incertidumbre y el error de medición nos lleva a ese uso extendido. Sin embargo, su uso extendido conlleva una serie de reflexiones, no solo de sentido matemático sino de carácter ético, al establecer un cociente de valores de medida de tendencia central, entre valores de dispersión, vía la ley de propagación de errores, no es de extrañar que si se incrementa el denominador, es decir, las fuentes de incertidumbre el cociente tiende a disminuir, lo que conlleva a tener valores aprobados bajo esta fórmula. De tal forma que, en el presente trabajo se realiza un análisis que complementan el uso del error normalizado para poder ponderar un aspecto complementario como el análisis de la homocedasticidad mediante un estudio de ANOVA, encontrando la necesidad de explorar la homocedasticidad, cuando no se tiene acceso al presupuesto de la incertidumbre como lo marca la Guía para la Expresión de la Incertidumbre de las Mediciones.

INTRODUCCIÓN

Cuando realizamos mediciones, la gran mayoría de las veces, nos queda la interrogante de que, si lo que medimos es realmente un valor adecuado, si el uso rutinario nos podría llevar a desviaciones, si podremos verificar que mantenemos la competencia técnica, si el desempeño de métodos utilizado cumple con lo que demanda nuestra aplicación, si al reproducir nuestros resultados por un tercero en realidad cumplirán con un grado de reproducibilidad y es que medir en ocasiones se convierte en guardar la observancia de varias variables que condicionan el desempeño de nuestras mediciones. Al respecto de qué nos puede afectar las mediciones se ha escrito formalismos tanto matemáticos e inclusive de carácter ético, el primero descrito por la ley de propagación de errores (Senin, 2021) y el segundo ligado a convencionalismos que se si bien se inspiran en principios canónicos de la ciencia, como la reproducibilidad (Held, 2020), no dejan de ser convenciones sobre una realidad colectiva como es el caso de la generación de patrones de referencia fundamentales, que por mucho que se han afinado los criterios con máximas sobre lo que consideramos valores convencionalmente verdaderos. Sin embargo, mientras todos los países tengamos reglas claras para determinar la trazabilidad de las mediciones podemos medir nuestro grado de reproducibilidad y estimar en cuánto nos alejamos de la verdad, dejando de esta manera solo un pequeño margen cuantificable sobre la medición que otro puede medir al compararse (Velychko, 2019). Es natural que al realizar mediciones, pese a que seguimos protocolos con condiciones de medida y de reproducibilidad, estas condiciones generen sesgos debido a la desviación de alguna de las variables. Esto suele ocurrir en actividades de la vida cotidiana, un ejemplo es el caso de las actividades rutinarias cuando operamos una máquina, manejamos un auto, realizamos un procedimiento de comunicación rutinaria, al inicio leemos o repasamos la secuencia de pasos uno a uno a fin de cumplir con la tarea asignada, después solo las realizamos y probablemente llegamos a realizar las acciones considerando aquellas que para nosotros han resultado funcionales y dejamos pasar otras que probablemente al inicio estaban descritas e inclusive para otra persona le han sido de utilidad. Si una persona ajena a nuestras actividades pondera nuestras actividades, casi es seguro que lo hará siguiendo los protocolos descritos y en base a ello intentará dar una calificación sobre la importancia de seguir los lineamientos, de los posibles desvíos e inclusive sobre las acciones que puedan poner en riesgo la ejecución de las acciones, su nivel de calificación de las acciones dependerá de las herramientas

con las que cuenta, algunas podrían caer dentro de lo subjetivo y el camino hacia la objetividad estará en función de instrumentos para evaluar el desempeño de las acciones. En el caso de las mediciones que realizamos en los laboratorios y empresas que tienen un sistema de calidad implantado o que inclusive responde a certificaciones o acreditaciones la evaluación del cumplimiento, se inicia por lo declarado y por lo establecido en las normatividades (Church, 2019). Sin embargo, de manera particular, cuando se realizan mediciones en las que intervienen instrumentos de medición y materiales de referencia hay argumentos científico técnicos que responden a la trazabilidad de las mediciones y con ello una serie de herramientas estadísticas que se conjuntan para dar paso a normas que sirven de apoyo a la metrología.

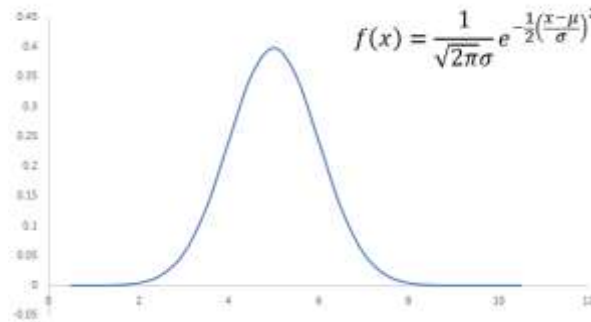
Las herramientas metrológicas de las que se apoyan las normas de calidad, evaluación de la conformidad, evaluación de la eficacia de los sistemas metrológicos, entre otros, obedecen a la normalización no solo de lo descrito en normas sino además de los fundamentos estadísticos sobre la distribución normal o estadística paramétrica, dejando las que no solo son debido al problema de la robustez y la falta de fiabilidad cuando de instrumentos y de mediciones hablamos (Milde, 2021). Las herramientas estadísticas que usamos para evaluar el grado de conformidad, la aceptación de las mediciones, la variabilidad en la reproducibilidad, se llegan a estructurar en la evaluación de las mediciones en medidas de tendencia central y de dispersión o combinación de ambas, cada una con propósitos específicos (Dobbert, 2010). La norma ISO 13528, ofrece una serie de técnicas estadísticas que evalúan condiciones de cumplimiento una vez que realizamos comparaciones con valores definidos como ideales, bien sea por que desde el esquema de la trazabilidad se evalúa o bien sea que por un criterio de consenso al compararse más de un participante obtiene un valor como aceptable o rechazado (Coucke, 2020), como uno de los argumentos para las comparaciones interlaboratorio o un argumento diferente como puede ser un argumento de un resultado dudoso, que puede encontrar una oportunidad de mejora dentro de otros campos (Milinković, 2021). Una de estas técnicas bastante utilizada es el caso de la prueba del error normalizado, ampliamente utilizada por los laboratorios proveedores de los ensayos, en la que la organización como un tercero los llevara a determinar si un determinado laboratorio participante cumple, de acuerdo con una evaluación estadística, con un valor conforme. El error normalizado, mantiene una estructura dentro de su fórmula que evalúa tanto las medidas de tendencia central como las medidas de dispersión, lo que en términos análogos a la metrología evalúa lo reportado dentro de los certificados e informes de calibración como lo es el error de medida y la incertidumbre de medición. Al considerar valores de comparación con la distribución normal se garantiza la robustez pero se construye una relación con la ley de grandes números (Owen, 2021) al atribuirle valores a las incertidumbre que participan en la calibración y que se expresan (Sommer, 2000), en un primer momento a la ley de propagación de errores y en un segundo momento a la incertidumbre de medida que acompaña argumentos de significancia asintótica bilateral, sobre un factor conocido como factor de cobertura y que a través de la estimación de los grados de libertad garantiza que la normalidad se cumple. Sin embargo, al ser una expresión matemática, se puede jugar con los valores que se reportan en la propia fórmula, lo que puede llevar a valores aparentemente aceptables sin que realmente lo sean, si no se revisa de manera exhaustiva el origen de lo que se presenta en la fórmula del error normalizado su valoración puede llevarnos a condiciones inclusive poco éticas, pero que se pueden complementar con una prueba de variabilidad o F, lo que lleva a determinar la ventaja de analizar cómo está organizada la repetibilidad de las mediciones y realmente tomar un sentido de completos con la prueba del error normalizado. En este trabajo se presenta el análisis de un caso a fin de mostrar que debemos de tener cuidado sobre el uso de las técnicas estadísticas para evaluar la competencia de un laboratorio o de un analista.

TEORIA

Las funciones de densidad de probabilidad satisfacen los axiomas de probabilidad de Kolmogorov, mismos que deben de cumplirse ante cualquier evento que involucre espacios de probabilidad, sean de tipo normal o no (Figueroa, 2021). De manera particular, las funciones de probabilidad paramétrica deben de obedecer a las condiciones de robustez, lo que se traduce al cumplimiento de las relaciones del valor promedio y variación poblacional al espacio muestral respectivamente, también interpretado como el teorema de límite central: $E(x) = \mu$; $V(x) = \sigma^2$. Es sobre estos fundamentos de los que nos apoyamos en el campo de la metrología para poder dar sustento a esa

condición paramétrica de las mediciones (Dietrich, 2017), desde luego con las particularidades de la magnitud sobre las que se realizan las mediciones, pero que se sustentan sobre la condición de robustez, es decir, responden a una función como la expresada en la **Figura 1**.

Figura 1. Gráfico de la distribución normal, con media 5 y desviación estándar 1.



Por otro lado, de tener normalidad o cuasi normalidad, idealmente, las medidas de tendencia central son muy similares. De esta forma se sustituye:

$$E(x) = \mu = \text{Valor convencional verdadero}; V(x) = \sigma^2 = U^2 \quad (1)$$

Donde el valor promedio o valor esperado se sustituye por el valor de referencia o designado como valor convencionalmente verdadero, en tanto que la variación se compara con la incertidumbre de medida al cuadrado.

La ecuación para el error normalizado esta descrita como:

$$E_n = \frac{|x_{Lab} - x_{Ref}|}{\sqrt{U_{Lab}^2 + U_{Ref}^2}} \quad (2)$$

Donde (x_{Lab}, U_{Lab}^2) son el valor promedio y la incertidumbre expandida de medida por el laboratorio, en tanto que (x_{Ref}, U_{Ref}^2) son el valor de referencia o convencionalmente verdadero y la incertidumbre expandida asociada por el laboratorio de referencia. Cuando los valores de $E_n < 1$ el valor es aceptable, en tanto que cualquier otro valor es un resultado inaceptable, según la norma ISO 13528 (ISO 13528, 2005). Así mismo esta misma norma es muy puntual con el resultado de aceptación, que además deja ver la importancia del manejo de la incertidumbre.

Un aspecto importante a considerar es el hecho que el valor de la incertidumbre que se introduce en la ecuación (2), tanto para el laboratorio de referencia como para el laboratorio que desea participar en una comparación, dado que si no se pone énfasis en este aspecto nos puede llevar a situaciones delicadas, bien sea por que de manera deliberada se hace más grande la incertidumbre, es decir, se sobre estima, podría conducir a dar un valor que permita que el valor del error normalizado sea inferior a 1 y con ello mantenerlo aceptable o que de manera mal intencionada el valor de la incertidumbre tenga un valor en ese intervalo inferior a la unidad y también sea aceptable. Y finalmente, un caso de atención particular es que tanto el conjunto de valores de referencia e incertidumbre conjunta no estén dentro del alcance de la comparación y por tanto nos lleve a resultados no aceptables, así el elemento clave pareciera ser, solo centrándonos en el denominador, por que tendríamos el mismo resultado en la operación un valor sobre estimado podría conducirnos a algo aceptable en tanto que valores pequeños en el denominador nos podría llevar a valores del error normalizado superior a la unidad y derivado de ello una indicación de la falta adecuada del desempeño.

Veamos que la ecuación normal, con media y variación poblacional (μ, σ^2) , nos puede llevar al cumplimiento tanto del teorema de límite central, como de la ley de grandes números.

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3)$$

Consideremos que la ecuación (3) puede tener otros argumentos que apuntan a la homogeneidad de las muestras, cuando satisface la normalidad, tal como lo describe la propia norma ISO 13528, como son las pruebas z o z-score, ampliamente utilizadas en los ensayos de aptitud por laboratorios acreditados bajo la norma ISO 17043 (Ayub, 2021)

Por otro lado, recordemos que la incertidumbre expandida parte de la ley de propagación de errores que considera todas las fuentes de variabilidad, por lo menos aquellas que se consideran las más significativas, que toman para la incertidumbre combinada:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_i c_j u(x_i) u(x_j) r(x_i, x_j) \quad (4)$$

Donde los c_i son los coeficientes de sensibilidad obtenidos para el modelo físico, químico o biológico. La primera parte, tiene los términos que no contienen correlaciones entre las variables de influencia en tanto que la segunda parte incluye las magnitudes de influencia que mantienen correlaciones $r(x_i, x_j)$. En la gran mayoría de las veces se busca que estas correlaciones no sean significativas y solo se reduzcan a la primera parte, es decir, queda de la forma:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 u^2(x_i) \quad (5)$$

Lo que finalmente, para incertidumbre expandida toma la forma $U = k u_c(y)$, con k el conocido como el factor de cobertura, asociado con el nivel de confianza, que en estadística recibe el nombre de Tchebysheff (Fotowicz, 2004).

La reflexión sobre esta ley de propagación de errores es que cada término puede tener una naturaleza particular sobre la dispersión, algunas de ellas no se pueden modificar por que proviene de propiedades metrológicas de la materia o de los instrumentos, tales como la resolución, la propia trazabilidad medida por un proceso de calibración y que contiene una trazabilidad metrología al Sistema Internacional de Unidades. Sin embargo, hay variaciones que si pueden tener cambios como lo es la repetibilidad y la reproducibilidad, las variaciones de condiciones ambientales, cuando aplique.

En la siguiente sección presentaremos los resultados de un caso perceptible ante cambios por la repetibilidad y cuyo origen nos lleva a repensar el uso complementario de la prueba del error normalizado.

EXPERIMENTO

Un laboratorio de mantiene patrones de medida reporta un valor de referencia de 0.108 con una incertidumbre expandida de 0.01, en tanto que los valores para el laboratorio que se compara de 0.22 y 0.117, en valores de medida e incertidumbre respectivamente. Al sustituir en la ecuación (2), se tiene un valor de 0.9725, lo que apunta que tiene valores aceptables y que en el caso de corresponde a un ensayo de aptitud tendríamos que aceptar que el laboratorio que participa en la comparación interlaboratorio cumple con los estándares. Sin embargo, al indagar sobre que constituye la incertidumbre tanto para el participante y laboratorio se observa la siguiente tabla:

FUENTE DE INCERTIDUMBRE	VALORES DEL LABORATORIO DE REFERENCIA, ESTANDARIZADAS	VALORES DEL LABORATORIO PARTICIPANTE, ESTANDARIZADAS
A1	0.11	0.20
REPETIBILIDAD	0.12	0.42
A2	0.09	0.2
A3	0.11	0.18
A5	0.11	0.11

Sin embargo, al revisar el valor de repetibilidad del participante los valores son: 0.25, 0.38, 0.43, 0.49 y 0.56. Y los valores de repetibilidad para el laboratorio de referencia son en realidad: 0.11, 0.12, 0.09, 0.11 y 0.11. Que al realizar una prueba F, tenemos que su valor F crítico de 5.3177 que contrasta con un valor F experimental de 35.4917, con $p=0.05$, lo que nos lleva a concluir que en realidad, ante semejante error, los valores mantienen la heterocedasticidad. Este contraste nos lleva a reflexionar que en realidad la heterocedasticidad, determinada por la prueba de contraste hipotético puede complementar la prueba del error normalizado.

CONCLUSIONES

Podemos concluir que la prueba del error normalizado para ser eficiente requiere complementarse con dos consideraciones: por un lado, sobre un análisis exhaustivo sobre el origen de las fuentes de incertidumbre que participaran en la formulación de la incertidumbre expandida que interviene en la ecuación (5). Por otro lado, es el uso de una prueba de contraste de hipótesis sobre la variabilidad, como lo es la prueba F, una herramienta útil para poder indagar sobre la homocedasticidad y a partir de allí indagar si los datos de origen son realmente homocedásticos y complementar la prueba del error normalizado (Kumar, 2020). La complementariedad de las pruebas puede apoyar en la toma de decisiones, particularmente cuando se juega con valores puramente matemáticos sin que se considere el origen de las mediciones, la naturaleza de sus variaciones y los aspectos científicos técnicos sobre los propios modelos físicos, químicos y biológicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ayub, Y., Anwar, Z., & Shah, Z. A. (2021). ISO/IEC 17025: 2017 Lab Management System Effectiveness Verification by Using Quantitative Approach. *Gas*, 20(V20), 4.
2. Church, D. L., & Naugler, C. (2019). Benefits and risks of standardization, harmonization and conformity to opinion in clinical laboratories. *Critical reviews in clinical laboratory sciences*, 56(5), 287-306.
3. Coucke, W., & Soumali, M. R. (2020). A critical view at the ISO 13528 and IUPAC's harmonized protocol approach for proficiency testing for homogeneity assessment for quantitative variables. *Analyst*, 145(23), 7630-7635.
4. Dietrich, C. F. (2017). *Uncertainty, Calibration and Probability: The Adam Hilger Series on Measurement Science and Technology: The Statistics of Scientific and Industrial Measurement*. Routledge.
5. Dobbert, M., & Stern, R. (2010). A Pragmatic Method for Pass/Fail Conformance Reporting that Complies with ANSI/NCSL Z540. 3, ISO/IEC17025, and ILAC-G8. *NCSLI Measure*, 5(1), 46-51.
6. Figueroa, C. S., Vázquez, P. C., & MARTÍN, I. (2021). Kolmogorov y sus aportaciones fundamentales. *HISTORIA DE LA PROBABILIDAD Y LA ESTADÍSTICA [IV]*, 131, 257.
7. Fotowicz, P. (2004). A method of approximation of the coverage factor in calibration. *Measurement*, 35(3), 251-256.
8. Held, L., & Schwab, S. (2020). Improving the reproducibility of science. Significance 17(1):10–11. doi:10.1111/j.1740-9713.2020.01351.x

9. International Organization for Standardization. (2005). *ISO 13528: Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparisons*. ISO.
10. Kumar, A., & Misra, D. K. (2020). A review on the statistical methods and implementation to homogeneity assessment of certified reference materials in relation to uncertainty. *MAPAN*, 1-14.
11. Milde, D., Klokočnicková, E., & Nižnanská, A. (2021). Practical guidance for organizing small interlaboratory comparisons. *Accreditation and Quality Assurance*, 26(1), 17-22.
12. Milinković, N., Jovičić, S., & Ignjatović, S. (2021). Measurement uncertainty as a universal concept: can it be universally applicable in routine laboratory practice?. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 58(2), 101-112.
13. Owen, A. B., & Rudolf, D. (2021). A strong law of large numbers for scrambled net integration. *SIAM Review*, 63(2), 360-372.
14. Senin, N., Catalucci, S., Moretti, M., & Leach, R. K. (2021). Statistical point cloud model to investigate measurement uncertainty in coordinate metrology. *Precision Engineering*, 70, 44-62.
15. Sommer, K. D., Kochsiek, M., & Schulz, W. (2000). Error limits and measurement uncertainty in legal metrology. *cal*, 1, 2.
16. Velychko, O., & Gordiyenko, T. (2019). Metrological Traceability at Different Measurement Levels. In *Standards, Methods and Solutions of Metrology*. IntechOpen.

CONSTRUCCIÓN DE INTERVALOS DE SEGURIDAD EN ESTUDIOS DE LA CONFORMIDAD MEDIANTE LA DISTRIBUCIÓN NORMAL INVERSA

Gabino Estevez Delgado¹, Itzia Alejandra Bonilla Paz², Joaquin Estevez Delgado³

¹Facultad de Químico Farmacobiología, UMSNH, ²Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán A.C., ³Facultad de Ciencias Físico Matemáticas, UMSNH.
gabino.estevez@umich.mx

RESUMEN

La evaluación de la conformidad es un tema que ha cobrado una relevancia importante, después de que el año pasado se aprobara la Ley de la Infraestructura de la Calidad en sustitución a la Ley Federal de Metrología y Normalización, dado que pasó a ser una exigencia para los laboratorios atender este aspecto. Si bien es cierto que la evaluación de la conformidad es un aspecto que se había articulado para los laboratorios de ensayo y calibración, acreditados bajo la referencia ISO 17025 en los puntos 7.8.6.1 y 7.8.6.1, dentro de las exigencias de dicha norma es un tema que tiene que ver con el nivel de confianza de bienes y servicios en el que se realizan mediciones cuantitativas. Diversas normas han dado seguimiento para atender las normas de la conformidad, tales como la norma ISO 10576-1, en el que se establece con claridad los aspectos que son indudablemente conformes y los que generar rechazo en las mediciones que no cumplen con la regulación planteada en su momento, pero un asunto delicado es el caso de la construcción de bandas de prevención o zonas de seguridad que permiten mejorar los procesos. La investigación presentada, permite mediante la función normal inversa construir valores de prevención antes de materializar un valor fuera de aceptación y tomar medidas dentro de un escenario de acuerdo con la norma ISO 10556-1.

INTRODUCCIÓN

Dar cumplimiento a los requisitos que son solicitados a través de una norma es una condición que en muchas ocasiones requiere que tengamos en consideración todas aquellas cosas que pueden llevarnos al incumplimiento. Son esos detalles finos los que nos pueden dar ventajas en la planeación adecuada para poder dar un cumplimiento sin tener complicaciones, en ocasiones no tener esta consideración nos lleva a tener problemas para cumplir con un objetivo, particularmente cuando el cumplimiento de un requisito depende de más de una variable (JCGM, 2008). En el campo de la metrología existen funcionales que generalmente depende de condiciones que generan relaciones de dependencia entre las variables y otras que basta controlarlas para dejar de crear dependencia entre ellas (Chaturvedi, P., 2021).

Es importante considerar que en la vida nadie conoce la verdad absoluta, máxima epistémica de la ciencia, en la que la verdad es cierta como la percibimos dada las herramientas científicas y tecnológicas mientras no se demuestre lo contrario. Algunas veces, la verdad es descrita como convencionalmente verdadera por algún consenso que se realiza, tal es el caso de los instrumentos y materiales que utilizamos en las industrias o en los laboratorios (Oleh, V., 2019). Debido a este consenso, existen laboratorios que diseminan la trazabilidad metrológica (ISO/IEC 17025, 2019), desde luego se requiere construir reglas claras para poder hacerlo, siendo el lenguaje estadístico el método más eficaz para medir que tan alejados estamos de la verdad convencional, siendo este uno de los requisitos sobre el que generalmente creamos una especie de conformidad, es decir, creamos criterios para decir que tan alejados estamos de esa verdad y criterios para tomar decisiones sobre si al comparar nuestras mediciones estas se encuentran dentro de los parámetros sobre los que se ha establecido los acuerdos de confianza de la verdad convencional.

Por su propia naturaleza, la metrología se apoya de las herramientas estadísticas para hacer comparaciones de lo aceptable y de los controles de calidad que se realizan, de esta forma el contraste sobre las mediciones parte de comparar la curva normal Gaussiana y todas las funciones de densidad de probabilidad, tales como las distribuciones: rectangular, triangular, la t-student, entre las más usadas. A partir de este formalismo se direccionan criterios de variabilidad, sustentado en algo que conocemos como la incertidumbre de medida; por otra parte, a partir de la ley de grandes números suponemos que de mantener la robustez de lo que se mide podemos realizar mediciones y construir argumentos hipotéticos para compararlas con funciones teóricas. De esta forma el

convencionalismo sobre lo que se considera un valor convencionalmente verdadero, llamado patrón, va a descansar a la par con argumentos estadísticos. Gran parte de las normas sobre la conformidad descansarán sobre el uso de la incertidumbre de medida y sobre el valor medido de referencia, lo que representa una garantía sobre lo que se produce, sea cual sea el ámbito de desarrollo tecnológico o científico.

TEORÍA

En nuestro país recientemente se ha dejado en claro la importancia de la evaluación de la conformidad (FEDERAL, G., 2021), como parte de una política nacional, en la que las empresas y laboratorios deben mantener estándares aceptables, a partir de la construcción de regulaciones nacionales, cuyos referentes responden al escenario internacional, de tal forma que los laboratorios primarios y secundarios dentro de esta estructura son parte de la evaluación de la conformidad y son regulados por las entidades encargadas de velar por garantizar a través del cumplimiento de estándares sobre los que las empresas o laboratorios mantienen sus acreditaciones.

La conformidad sobre un servicios relacionados con procesos de calidad tienen una amplia gama de aplicaciones, las cuales van desde la generación de la competencia del personal, pruebas iniciales de desempeño, equipamiento y pruebas de evaluación metrológica, entre las más comunes (*ISO/IEC GUIDE 43-1:1997*). De manera particular, la evaluación de la conformidad en la gran mayoría de las normas están condicionadas a la evaluación de la incertidumbre (Puydarrieux, S., 2019).

La incertidumbre, según la VIM, es un parámetro que caracteriza la dispersión de los valores que pueden ser atribuidos razonablemente al mensurando. Desde el punto de vista de la estadística, esta característica es asociada a la dispersión, constituye un parámetro que en condiciones de robustez garantiza la normalidad de los datos medidos en conjunto con el valor de referencia que también está descrito como uno de los parámetros metrológicos reportados en toda medición. Tanto la incertidumbre de medición, como el valor de referencia certificado, atribuido al valor convencionalmente verdadero, forma parte de los parámetros reportados dentro de los informes o certificados de calibración, a reserva de reportar otros parámetros complementarios, estos garantizan tanto la evaluación de las medidas de tendencia central como de las medidas de dispersión (Sakai, H., 2021). La información reportada dentro de los certificados garantiza una cadena ininterrumpida de mediciones conocida como trazabilidad, lo que representa la posibilidad de dar seguimiento a la evaluación de la contribución de la incertidumbre en cada proceso de medición. Dentro de esta cadena de mediciones se establece un seguimiento desde el Sistema Internacional de Unidades, la disseminación de la trazabilidad de los laboratorios primarios o de referencias, los laboratorios secundarios y finalmente el uso de la incertidumbre como elemento para poder valorar la confianza de las mediciones (Hall, B., 2021).

El uso de la incertidumbre como un elemento para determinar la naturaleza de los errores de medición no es privativo para determinar la confianza en las mediciones, además permite planificar eventos adversos (Báez, R., 2008), determinar el grado de confianza, así como de los controles de calidad que se realizan para evitar desviaciones. Derivado de ello, en áreas específicas del desarrollo científico (Squirrell, A., 2008), como lo es el campo de las mediciones físicas, químicas o del campo médico, o del área del desarrollo industrial, tal como la petroquímica, la eléctrica, la mecánica, la textil, entre otras, han desarrollado normatividades que les permiten evaluar tanto el desempeño de sus métodos de medición como la calidad de los productos o servicios (ILAC-G8:09/2019).

La toma de decisiones sobre la conformidad a partir de un resultado estará sujeta al grado de confianza que requerimos, de la naturaleza de los datos y de la aplicación. De manera particular, la norma ISO 17025, que es aplicable a los laboratorios de ensayo y calibración hace énfasis en la declaración sobre la conformidad, en la que esta se genera a partir de la solicitud expresa del cliente, quien debe solicitar la normatividad aplicable para la conformidad, generando las reglas de decisión en los propios informes o certificados de ensayos o calibraciones. En ese tipo de reportes, debe incluirse el límite superior del valor de probabilidad asociada a la aceptación o rechazo, por ejemplo, la ILAC G8. Guía para establecer reglas de decisión en la declaración de conformidad (Villete, M., 2012), clarifica un lenguaje basado en la incertidumbre de medida. Invariablemente, en todos los casos se considera importante el reporte del cálculo de la incertidumbre lo que le permitirá al usuario poder corroborar o reproducir sobre las reglas de decisión.

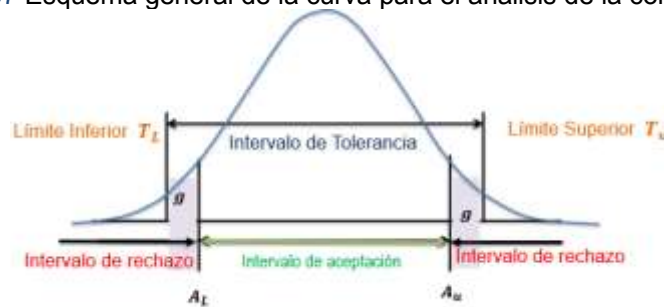
Algunas reglas de decisión que se encuentran en las normas para evaluar la conformidad establecen, en base a parámetros de tolerancia, intervalos de confianza e inclusive valores máximos permisibles que le dan aportación a las decisiones (UNE-EN ISO/IEC 17000:2004). Las limitaciones sobre valores específicos están determinadas como directrices bastante funcionales en algunas normas como lo es la ISO 10576-1(ISO 10576-1:2003), cuyo uso permite la comparación de límites específicos, en la que la comparación de un intervalo de cobertura se compara con otro definido por la tolerancia. De esta forma un solo valor de la tolerancia, en cualquiera de los valores de esta, para el caso bilateral, o uno solo definido por un solo extremo, caso unilateral, dependiente de la aplicación resulta conveniente.

Finalmente, independiente del valor de comparación, las reglas de decisión toman una significancia dependiendo de la probabilidad con la que se define el criterio para la aceptación, lo que se define como la probabilidad de conformidad, dada por la siguiente ecuación:

$$p_c = \int_{T_l}^{T_s} \frac{1}{u\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\eta-y}{u}\right)^2} d\eta \quad (1)$$

Donde T_l y T_s son los valores límites para la tolerancia, u el valor de intervalo de seguridad construido sobre los valores de tolerancia. Como en toda densidad de probabilidad, el área debajo de la curva es igual a uno, por lo que cualquier análisis podrá contemplar valores de aceptación o de rechazo. De manera puntual, los valores de aceptación configurados sobre la distribución normal pueden incluir la tolerancia y el intervalo de seguridad cuando se requiere valorar un intervalo para la conformidad, como los descritos en la Figura 97.

Figura 97 Esquema general de la curva para el análisis de la conformidad.



PARTE EXPERIMENTAL

La determinación del alcance la conformidad puede darse en un momento determinado considerando los valores de incertidumbre y valor de referencias, desde luego tomando en cuenta alguna regla de decisión particular. Sin embargo, al hacer uso de los valores de la incertidumbre reportada a lo largo de los años podemos encontrar tendencias, tales como lo enunciado en la guía ILAC-G24. OIML D10 (INTERNATIONALE, O., & METROLOGY, O. L. GUIDANCE ILAC-G24), para los periodos de calibración como la que se observa en el gráfico de la Figura 97 Esquema general de la curva para el análisis de la conformidad., en el que se analizan los valores tanto de tendencia lineal como exponencial, iniciando por la velocidad de cambio, mismo que podrían ser aprovechados para construir intervalos de seguridad, dada la zona de tolerancia.

Figura 98. Gráfico de tendencia lineal y exponencial.



Un recurso común en varios procesos, como es el caso del tratamiento de materiales que responden a valores sigmoides, comunes en el ámbito biológico (Böken, B., 2021), que el cambio a valores logarítmicos nos sirve para evidenciar tendencias (Razali, N., 2011) que de manera natural no se observan (Kesemen, O., 2021), de tal forma que, considerando este análisis de la conformidad, con los valores directamente, para una $p=0.05$, tenemos:

Año	Incertidumbre (U)	Ln (U)	Análisis lineal		Análisis con aproximación logarítmica	
			Valor de probabilidad	Evaluación de la conformidad	Valor de probabilidad	Evaluación de la conformidad
1998	22.3	1.35	0.8381	NO CONFORME	1	CONFORME
1999	23.4	1.37	0.8264	NO CONFORME	1	CONFORME
2000	23.5	1.37	0.8254	NO CONFORME	1	CONFORME
2001	23.8	1.38	0.8224	NO CONFORME	1	CONFORME
2002	24	1.38	0.8203	NO CONFORME	1	CONFORME

Por lo que se observa que los valores de evaluación de la conformidad, cuando se consideraran valores logarítmicos de la incertidumbre, consideraciones que deben de valorarse dentro de la aplicación y contexto de uso (Scheffer, H., 1973), dado que como se observa los criterios pueden ser extremos, lo que dificultaría construir intervalos de seguridad pese a que, de acuerdo al gráfico de la

CONCLUSIONES

Posterior a la generación de análisis de velocidad de cambio se construyen zonas de seguridad que permiten cuidar la variabilidad a partir de la distribución normal inversa, concluyendo que se pueden tener mayor rango de evaluación si los valores de la incertidumbre son tratados mediante el cálculo de sus logaritmos, pero considerando que debe de actuarse con cautela porque estos valores para la conformidad puede generar riesgos en la valoración de las zonas, debido a que los valores de las incertidumbre se confinan a valores con un intervalo más pequeño. Es de vital importancia considerar el contexto de la naturaleza del mensurando a considerar y de uso particular (Báez, M., 2012), a fin de no sobre estimar criterios sobre la incertidumbre, tal como se describe en la propia GUM, en la que sobre estimar la incertidumbre de medida puede llevar a pasar pruebas que comprometen éticamente su evaluación y generen riesgos sobre los objetivos de calidad (ISO 31000, 2009).

BIBLIOGRAFÍA

1. Báez, R., & Orozco, R. (2008). Uso de ISO 10012 en el Modelo de Integración de ISOIEC 17025 en un Sistema ISO 9001. In *Simposio de metrología*.

2. Báez, M. D. R. R., & Orozco, C. A. R. (2012). PLANIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO DE ISO/IEC 17025 CON UNA ORIENTACIÓN POR ISO 10012. In *Simposio de Metrología* (Vol. 8, No. 12).
3. Böken, B. (2021). On the appropriateness of Platt scaling in classifier calibration. *Information Systems*, 95, 101641
4. Chaturvedi, P., & Landessternwarte, T. (2021). Error Propagation. *RESONANCE*, 853.
5. Federal, G. (2021). *Ley de Infraestructura de la Calidad*. México: Diario Oficial de la Federación
6. Hall, B. D., & White, D. R. (2021). Digital representation of measurement uncertainty for metrological traceability.
7. ILAC-G8:09/2019. Guía para establecer reglas de decisión en la declaración de conformidad.
8. ISO/IEC 17025 CD2 (2016) General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. ISO/CASCO Committee on Conformity Assessment, International Organization for Standardization, Geneva
9. ISO/IEC GUIDE 43-1:1997. Proficiency testing by interlaboratory comparisons — Part 1: Development and operation of proficiency testing schemes
10. ISO 10576-1:2003. Statistical methods — Guidelines for the evaluation of conformity with specified requirements — Part 1: General principles
11. ISO 31000 (2009) Risk management—Principles and guidelines. International Organization for Standardization, Geneva
12. INTERNATIONALE, O., & METROLOGY, O. L. GUIDANCE ILAC-G24 INTERNATIONAL OIML D 10.
13. JCGM. 100:2008(E). Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM) Joint Committee for Guides in Metrology, Bureau
14. International des Poids Mesures (BIPM), Sèvres, France, JCGM 100:2008 GUM 1995 with minor corrections, accessed May 3, 2021, <https://www.bipm.org/en/committees/jc/jcgm/>
15. Kesemen, O., Tiryaki, B. K., Tezel, Ö., & Özkul, E. (2021). A new goodness of fit test for multivariate normality. *Hacettepe Journal of Mathematics and Statistics*, 1-9.
16. Oleh Velychko and Tetyana Gordiyenko (March 10th 2019). Metrological Traceability at Different Measurement Levels, Standards, Methods and Solutions of Metrology, Luigi Cocco, IntechOpen, DOI: 10.5772/intechopen.84853. Available from: <https://www.intechopen.com/chapters/66092>
17. Puydarrieux, S., Pou, J. M., Leblond, L., Fischer, N., Allard, A., Feinberg, M., & El Guennoui, D. (2019). Role of measurement uncertainty in conformity assessment. In *19th International Congress of Metrology (CIM2019)* (p. 16003). EDP Sciences.
18. Razali, N. M., & Wah, Y. B. (2011). Power comparisons of shapiro-wilk, kolmogorov-smirnov, lilliefors and anderson-darling tests. *Journal of statistical modeling and analytics*, 2(1), 21-33.
19. Sakai, H., Yoshii, T., & Kawasaki, S. (2021). Derivation of uncertainty propagation for clearance measurement. *Applied Radiation and Isotopes*, 170, 109630
20. Scheffer, H., 1973, "A Statistical Theory of Calibration," *Ann. Stat.*, 1 (1), pp.1–37.
21. Squirrell, A. (2008). Conformity assessment: providing confidence in testing and calibration. *Accreditation and Quality Assurance*, 13(9), 543-546.
22. UNE-EN ISO/IEC 17000:2004: Evaluación de la conformidad. Vocabulario y principios generales. AENOR, Madrid
23. Villeta, M., Rubio, E. M., Sanz, A., & Sevilla, L. (2012, April). An alternative method to achieve metrological confirmation in measurement process. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1431, No. 1, pp. 181-188). American Institute of Physics.

DISEÑO ÓPTIMO DE UN DISIPADOR DE CALOR PARA DISPOSITIVOS ELECTRÓNICOS MEDIANTE MODELACIÓN COMPUTACIONAL

Jessica Pamela Martínez Vega, Eunice Guadalupe Rodríguez Santoyo, José Luis Luviano Ortiz, Abel Hernández Guerrero

Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca
jessica.martinez@ugto.mx

RESUMEN

En varios campos de investigación de dispositivos electrónicos como transistores de potencia de radiofrecuencia, unidades de procesamiento central (CPU) y diodos emisores de luz (LED), se requieren nuevas soluciones para la gestión del calor. Los disipadores de calor son los elementos utilizados para remover el calor generado por dichos dispositivos con muy alta efectividad. Se pueden utilizar dos tipos de disipadores de calor: pasivos (convección libre) y activos (convección forzada). Los disipadores de calor pasivos tienen un menor consumo energético debido a que no utilizan dispositivos externos como ventiladores (aire como dominio) o bombas (líquido como dominio). El dispositivo electrónico disipa la energía térmica a través de mecanismos de transferencia de calor por convección natural y radiación. El disipador permite evitar fallas mecánicas y ruido de los ventiladores incluidos. Sin embargo, estos dispositivos suelen remover bajas tasas de calor y en ocasiones son insuficientes para mantener la seguridad y el correcto funcionamiento del equipo electrónico. Los disipadores de calor activos remueven tasas de calor más altas, pero requieren un sistema externo para proporcionar un flujo de fluido refrigerante constante. El efecto de la radiación suele ser insignificante debido al alto coeficiente de transferencia de calor por convección del flujo de aire. Se ha demostrado con múltiples investigaciones científicas que el diseño apropiado de los disipadores de calor mejora la eficiencia, alarga la vida útil y la relación costo-beneficio es muy buena de los equipos electrónicos donde se emplean. Por lo tanto, se deben diseñar y construir disipadores de calor que sean confiables, eficientes y económicos. En este contexto, en el presente trabajo se presentan diferentes configuraciones de parámetros geométricos de disipadores de calor, dichos modelos son extraídos de un análisis de optimización evolutivo de dispositivos rectangulares con aletas rectas tipo aguja los cuales se utilizan principalmente debido a su estructura simple y bajo costo. Las ecuaciones de transporte que representan el fenómeno físico (continuidad, momento y energía) son resueltas numéricamente en un modelo 2D. El modelo numérico se combina con un algoritmo evolutivo multi-objetivo elaborado en un software de lenguaje de programación, mediante la aplicación de un enfoque de Pareto que proporciona soluciones de compensación óptimas para las dos funciones objetivo (objetivo a maximizar y objetivo a minimizar). Se consideran como variables de diseño dos diferentes parámetros geométricos referidos a las aletas. Finalmente, se presenta un conjunto de soluciones óptimas, y con base a ello se tiene la confianza de elegir la mejor configuración geométrica de acuerdo con las necesidades del equipo donde será instalado.

INTRODUCCIÓN

Por lo general, los disipadores de calor pasivos están hechos de aluminio y son diseñados con aletas delgadas para permitir que el flujo de aire pase a través de estas con el propósito de disipar el calor de manera eficiente [1].

El diseño apropiado de los disipadores de calor puede mejorar el rendimiento térmico de los dispositivos donde se emplean.

Se han realizado numerosos estudios computacionales y experimentales de disipadores de calor con aletas rectangulares y aletas tipo aguja. El disipador de calor pasivo con configuración de aletas planas rectangulares se utiliza principalmente debido a su estructura simple y bajo costo, y se ha estudiado ampliamente. Se propusieron y estudiaron muchas estructuras de aletas optimizadas, como se muestra en el trabajo de Meng *et al.* [2] donde observaron la zona de estancamiento de la transferencia de calor en un disipador de calor de placa-aleta mediante una prueba experimental. Sus resultados mostraron que cortar una esquina superior de las aletas puede reducir la resistencia térmica de un 6.0 -10.1% a una potencia de calentamiento de 80 W. Charles y Wang [3] propusieron un patrón de aleta trapecoidal invertida, el coeficiente de transferencia de calor de las aletas es más

alto a diferencia de la aleta rectangular convencional en aproximadamente un 10%. Jeon y Byon [4] investigaron el rendimiento térmico de disipadores de calor de aletas intercaladas con dos alturas diferentes. El diseño ofrece la ventaja en la reducción de la masa del disipador de calor.

Para reducir la resistencia térmica convectiva de los disipadores de calor, Kim [5] presenta un nuevo disipador de calor que propone aletas de espesor variable, los resultados mostraron que la resistencia térmica disminuyó en un 10% de forma gradual. Chang *et al.* [6] examinaron el flujo convectivo natural y la transferencia de calor para un disipador de calor de aleta plana con hoyuelos. Descubrieron que el número medio de Nusselt del disipador de calor propuesto se puede mejorar en un 68% en comparación con el disipador de calor con una matriz de aletas regulares. Feng *et al.* [7] propusieron un nuevo disipador de calor de aletas cruzadas, el cual se examinó experimental y numéricamente en un entorno de convección natural. La transferencia de calor general se mejoró en un 11% en comparación con el disipador de calor convencional. También investigaron un disipador de calor de espuma metálica que tiene un buen rendimiento térmico en orientación horizontal y vertical [8]. La espuma con ranuras abiertas al ser más permeable permite que el aire penetre y con ello se obtuvo una mejora del 38% con respecto a la aleta de la placa convencional. Schmid *et al.* [9] analizaron el efecto de variar la longitud de la base entre las aletas de los disipadores de calor rectangulares. Compararon dos orientaciones de aletas diferentes, una con las aletas a lo largo del lado de la base más larga y otra a lo largo del lado de la base más corta. Esta última orientación presentó un mejor rendimiento térmico, la resistencia térmica fue aproximadamente un 15% menor. Tari *et al.* [10] buscaron el rendimiento de un disipador de calor cuadrado de acuerdo con el ángulo de instalación; los resultados concluyen que a inclinaciones más prominentes se alcanzan mayores velocidades de disipación. Shen *et al.* [11] determinaron que las matrices de aletas más densas son más sensibles a la orientación; realizaron las evaluaciones de rendimiento para diferentes disipadores de calor de aletas rectangulares en 8 orientaciones; en la orientación a 315° se tiene el mejor rendimiento de disipación de calor, y esto se debe a que el flujo inducido por la flotabilidad es más fuerte.

En los últimos años el estudio del desempeño térmico de los disipadores de calor ha sido sometido a análisis de optimización de diversos tipos y algoritmos, por ejemplo, Jang *et al.* [12] optimizaron el rendimiento de enfriamiento y la masa de un disipador de calor radial de aleta tipo aguja; sus resultados muestran una reducción de la masa en más de un 30% mientras mantiene un rendimiento de enfriamiento similar al encontrado en la literatura. Jang *et al.* [13] siguieron con la investigación de disipadores de calor con aletas tipo aguja, presentan un estudio donde se optimizó la altura de las aletas para obtener un rendimiento de enfriamiento confiable. Investigaron las variables de diseño las cuales son: la altura de la aleta externa, la diferencia entre las alturas de las aletas y el número de matrices de aletas, se realizó una optimización de objetivos múltiples mediante un método de suma ponderada considerando el rendimiento de masa y enfriamiento; el rendimiento de enfriamiento se mejoró más del 45% conservando la cantidad de masa convencional. Kwon *et al.* [14] seleccionaron la resistencia térmica como función objetivo; para la optimización térmica, proponen una nueva correlación utilizando el método asintótico, el cual, cubre tres parámetros de diseño de las aletas, espesor de la aleta, longitud de la aleta, y número de aletas. De acuerdo con los resultados, se eligieron dos modelos óptimos, el primero mostró un incremento de 3.9% en la resistencia térmica con un decremento del 2.7% de masa y el segundo modelo mostró aproximadamente la misma resistencia térmica, pero con una reducción de masa del 26.3%. Lazarov *et al.* [15] utilizaron el método de optimización por topologías con un enfoque de morfogénesis computacional propusieron un diseño novedoso, complejo y de aspecto orgánico (TO), también proponen una interpretación simplificada del diseño optimizado (PF), los modelos se construyeron basados en la reducción de masa. A pesar de que la configuración TO resultó ser más eficiente en la posición horizontal, su manufactura resulta ser poco convencional ya que, se necesitan técnicas de impresión 3D para su reproducción.

Como se observa en la literatura, la optimización multiobjetivo tiene un papel principal en la compensación entre la transferencia de calor y las caídas de presión. Recientemente, está recibiendo la atención adecuada de la comunidad científica, y esto significa que muchos dispositivos de transferencia de calor se pueden mejorar mediante el uso de herramientas de optimización.

En este marco, el trabajo se ocupa de los disipadores de calor de base rectangular con aletas rectangulares tipo aguja, el análisis tiene como objetivo maximizar la tasa de calor y minimizar la

masa del dispositivo de transferencia de calor. Cabe resaltar que uno de los propósitos es apreciar cómo una optimización multiobjetivo puede mejorar el rendimiento del disipador de calor. Las ecuaciones que gobiernan el problema se resuelven en condiciones de frontera adecuadas con un código comercial de volumen finito. El modelo numérico se combina con un algoritmo evolutivo multiobjetivo dentro de una plataforma de lenguaje de programación, mediante la aplicación de un enfoque de Pareto, que proporciona soluciones de compensación óptimas para las dos funciones objetivo, es decir, la transferencia de calor y el perímetro de las aletas. La optimización se implementa considerando diversas variables de diseño geométricas y termo fluidodinámicas. Finalmente se presenta el frente de Pareto donde se observan diversas configuraciones de las variables geométricas óptimas para disipadores de calor.

Método de optimización

Los algoritmos evolutivos (AE) son una familia de métodos de optimización numéricos, heurísticos, estocásticos basados en la población. Simulan la evolución “darwiniana” de una población de soluciones, llamadas “individuos”, a través de una serie de iteraciones, llamadas “generaciones”. Por lo tanto, el término “individuos” se refiere a las soluciones investigadas por el AE y generalmente se usa para algoritmos de optimización basados en la población. Cada individuo representa una combinación de las variables de diseño (o decisión) del problema de optimización. En las versiones de algoritmos más utilizadas, empleadas también en este estudio, se consideran variables discretas debido a que este enfoque permite cortar el dominio de la solución, reduciendo así la carga computacional requerida, estando más cerca de las aplicaciones reales y comerciales, que limitan el número valores que pueden asumir las variables [16].

Un problema de optimización multi-objetivo (POM) es un conjunto de problemas de optimización de un solo objetivo (POS). Para la resolución de POM se ha utilizado diversos tipos de algoritmos evolutivos, multi-objetivo (MOEA), estos basados en métodos como: Pareto, indicadores y en descomposición.

La idea central de los algoritmos evolutivos multi-objetivo basados en descomposición (MOEA/D) es dividir el POM en POS haciendo uso de vectores de peso. Cada elemento de dicho vector representa el nivel de importancia de un objetivo. Por cada POS es obtenida una solución óptima de Pareto, lo anterior mediante la implementación de funciones de agregación. A partir de las soluciones óptimas de Pareto dadas en cada POS se establece un conjunto óptimo de Pareto (CP) para el POM. Cada elemento está asociado a un vector objetivo, lo cual permite la generación de posibles soluciones que pueden ser vistas en un frente de Pareto (FP) [17]. El algoritmo MOEA/D propone 3 métodos ponderados que se pueden utilizar: agregación de suma ponderada, enfoque de Tchebycheff y enfoque PBI.

Dentro del presente trabajo se establece la siguiente caracterización, como método de optimización se eligió un algoritmo evolutivo multi-objetivo MOEA/D y para fraccionarlo se utilizó el enfoque de Tchebycheff.

ANÁLISIS DEL MODELO MATEMÁTICO

Modelo propuesto de disipador de calor

El modelo 2D de la geometría del disipador de calor que se presenta a lo largo de este trabajo se observa en la Figura 1.

En la Figura 2 se muestran los planos generales para identificar los parámetros de estudio del modelo. Para la solución del problema se consideró la condición de simetría, por lo que solo se analizó una fracción de la geometría total. En la Tabla 1 se muestra el dimensionamiento de cada una de las variables de diseño y los parámetros geométricos requeridos para analizar el diseño del disipador de calor a analizar.



Figura 1. Modelo 2D del disipador de calor rectangular propuesto.

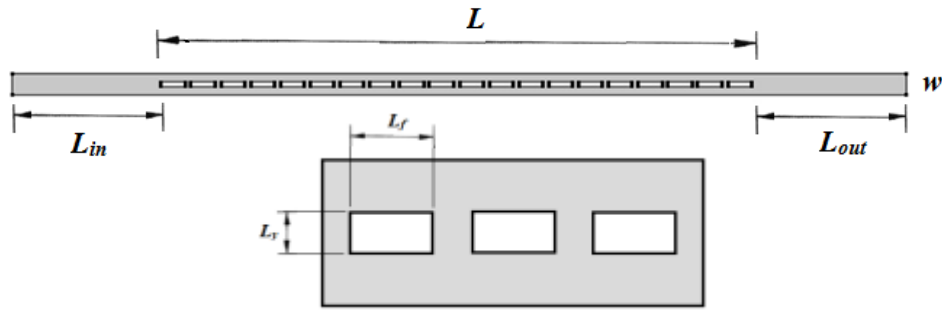


Figura 2. Parámetros geométricos.

Tabla 1. Parámetros geométricos del modelo.

Parámetro	Símbolo	Valor, (mm)
Longitud de la base del disipador de calor	L	200
Longitud de desarrollo del fluido	L_{in}, L_{out}	87.5
Dimensión en z	dz	18
Altura del flujo	w	10.38
Número de aletas	N	20

Condiciones de frontera

Las consideraciones para realizar las simulaciones numéricas de los disipadores de calor propuestos son las siguientes:

- Estado estacionario.
- Aletas rectangulares: flujo permanente y constante.
- Análisis en dos dimensiones expresado en coordenadas cartesianas.

Las condiciones de frontera y las zonas que forman el dominio computacional para el análisis del modelo propuesto se muestran en la Figura 3.

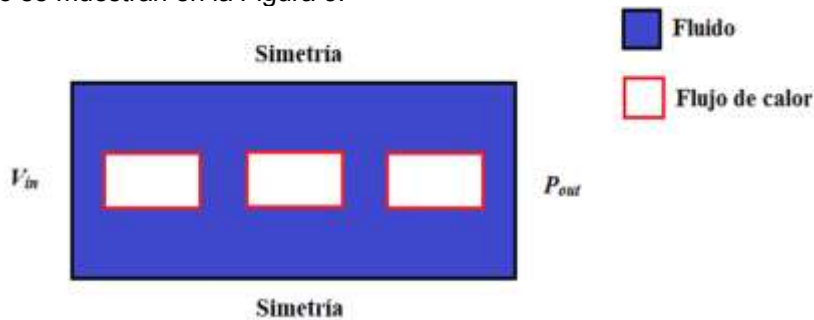


Figura 3. Condiciones de frontera y dominios computacionales del modelo.

Ecuaciones gobernantes

Las ecuaciones gobernantes para simular los fenómenos físicos y el desempeño térmico del disipador de calor propuesto son discretizadas y resueltas en un software especializado de volumen finito.

Las ecuaciones de gobierno para el dominio del fluido (aire) son

Ecuación de continuidad (1)

$$\nabla \cdot (\rho V) = 0 \tag{1}$$

Ecuación de momento (2)

$$\rho \frac{DV}{Dt} = -\nabla P + \mu \nabla^2 V - \rho g \quad (2)$$

Ecuación de la energía (3)

$$\rho C_p \frac{DT}{Dt} = \nabla \cdot (k \nabla T) + \frac{DP}{Dt} \quad (3)$$

Para realizar las simulaciones, se discretizó el dominio computacional en un número finito de volúmenes.

Para constatar que no existe dependencia de la solución con la cantidad de elementos que componen la malla, se realizó un análisis de independencia de mallado. Se determina que aproximadamente en 10,000 elementos los resultados no se ven influenciados por la malla.

Caracterización del análisis de optimización

Los parámetros geométricos por optimizar son los siguientes

Variables de entrada:

- Longitud de las aletas, $L_f = [8 - 11.5]$ [mm].
- Grosor de las aletas, $L_y = [1 - 4]$ [mm].

Función objetivo:

- Minimizar: Perímetro de las aletas, P [mm].
- Maximizar: Coeficiente convectivo global, h [W/m²].

RESULTADOS

Validación

La Figura 4 compara temperaturas experimentales las cuales se tomarán como referencia [7] y las temperaturas obtenidas a partir del análisis numérico para diferentes cantidades de calor aplicados a la base del disipador de calor. Se observa que los resultados computacionales se ajustan a los datos experimentales, por lo tanto, se puede concluir que los resultados del modelo se apegan a los fenómenos físicos y condiciones obtenidas en la experimentación.

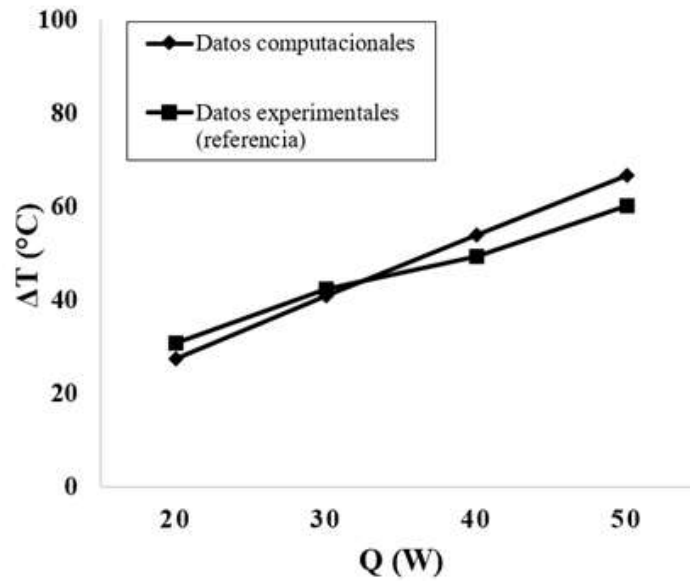


Figura 4. Validación del modelo numérico.

Análisis de optimización

El modelo numérico se combina con un algoritmo evolutivo multi-objetivo mediante un algoritmo de programación con la aplicación de un enfoque de Pareto, el cual proporciona soluciones de compensación óptimas para las dos funciones objetivo, es decir, el coeficiente convectivo global y el perímetro de las aletas.

El coeficiente convectivo global está dado por la Ecuación (4):

$$h = \frac{q}{T_{fluido} - T_{sólido}} \quad (4)$$

Las soluciones óptimas para la trigésima novena generación se presentan en el diagrama de Pareto representado en la Figura 5. De acuerdo con los resultados se observa que el algoritmo presenta la optimización del largo de las aletas alrededor de los 8 mm para todos los modelos, mientras que, el ancho de las aletas tuvo mayor variación, presentando mayor concentración de resultados en el rango de 1 a 1.3 mm aproximadamente.

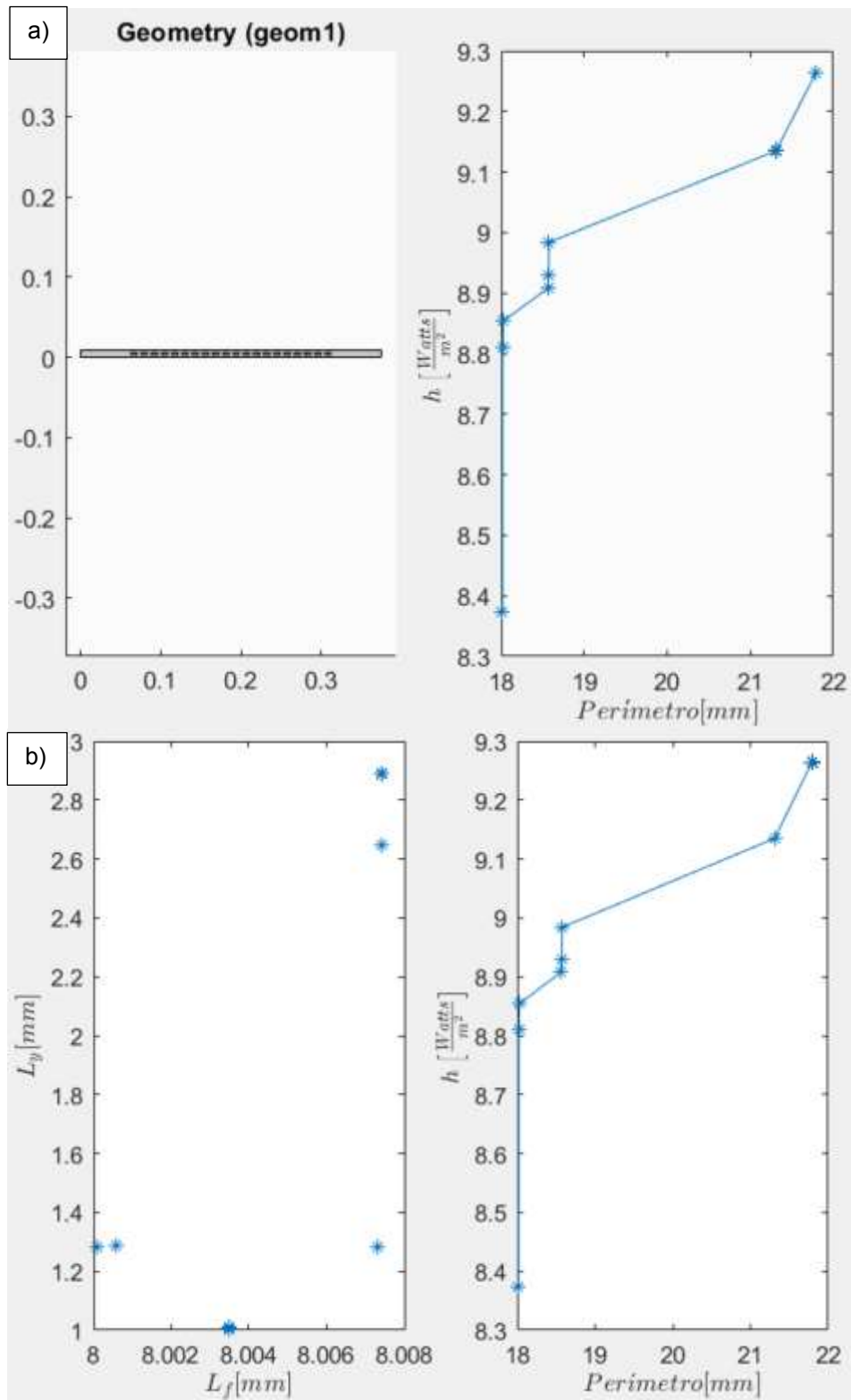


Figura 5. Diagrama de frente de Pareto, a) diagrama con representación geométrica y b) diagrama con dimensiones geométricas de las aletas.

Del frente de Pareto se eligieron tres configuraciones (dos extremas y una intermedia) de aletas para analizar cómo influye su configuración geométrica en el rendimiento térmico, las configuraciones están señaladas y son representadas por los Modelos 1, 2 y 3, ilustrados en la Figura 6; dichos modelos se compararon con el modelo de referencia.

Es importante mencionar que todas las posibles combinaciones presentadas en el diagrama son resultados óptimos para la configuración de nuevos disipadores de calor.

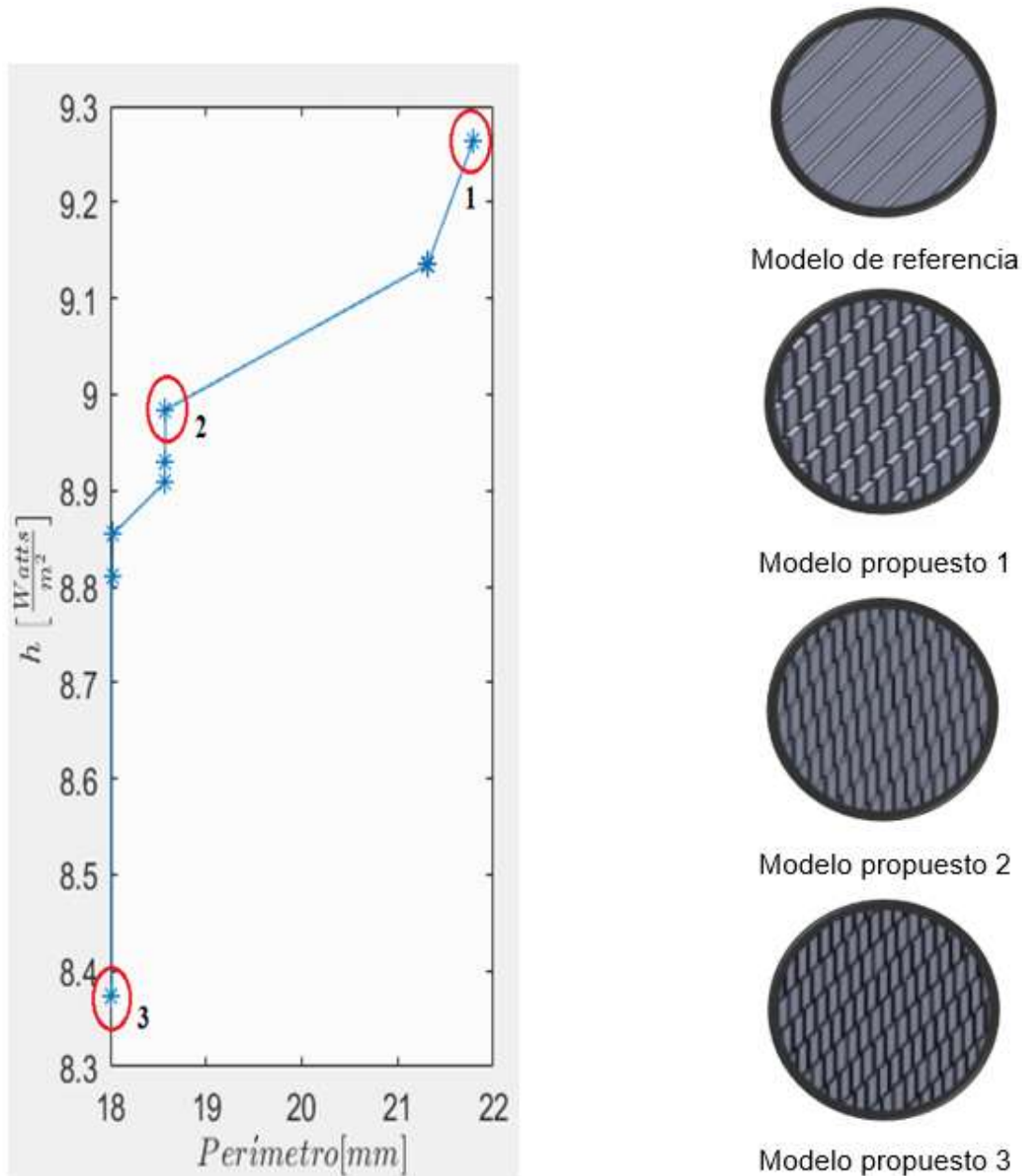








Figura 6. Modelos propuestos del diagrama de frente de Pareto.

Se realizó el análisis computacional, se sometieron los tres modelos propuestos y el modelo de referencia a las condiciones de operación de $Q = 700 \text{ W}$ y $T_{\infty} = 30^{\circ}\text{C}$ y se obtuvo la Tabla 2 de resultados.

Tabla 2. Comparación de masa y temperatura de los modelos propuestos respecto al modelo de referencia.

Modelo	Masa	Temperatura
Modelo propuesto 1	 7.90 %	 8.25%
Modelo propuesto 2	 24.58%	 8.41%
Modelo propuesto 3	 30.20%	 8.43%

Se observa que los tres modelos obtenidos a partir del diagrama del frente de Pareto ofrecen menor temperatura, lo que se traduce a un mejor desempeño y mayor vida útil del componente electrónico; el Modelo propuesto 3 resultó ser el mejor disipador de calor ya que además de garantizar una baja del 8.43% de temperatura, es 30.20% más ligero que la referencia, lo que lo hace un dispositivo más versátil para su aplicación, pero sobre todo más económico.

CONCLUSIONES

Los dispositivos electrónicos requieren una correcta y rápida disipación del calor generado para prolongar su vida útil. El uso de un disipador de calor simple, de bajo costo y alto rendimiento térmico es necesario para garantizar el correcto funcionamiento de dichos dispositivos.

En este estudio se proponen y analizan numéricamente diferentes diseños de disipadores de calor, dichos diseños son obtenidos mediante el análisis de un algoritmo evolutivo multi-objetivo, donde las variables de diseño fueron el largo y grosor de las aletas, la función objetivo fue obtener el mejor desempeño térmico expresado por el coeficiente convectivo global, haciendo una minimización de la masa siendo representada por el perímetro de las aletas.

Se obtuvo el diagrama del frente de Pareto el cual muestra múltiples combinaciones de las variables geométricas de diseño óptimas para la configuración de disipadores de calor. Del diagrama se eligieron tres configuraciones y se compararon numéricamente con el modelo de referencia obteniendo como resultado un mejor rendimiento térmico, con bajas de hasta 8.43% de temperatura y el mejor modelo es 30.20% más ligero.

La utilización de algoritmos evolutivos provee una diversidad de respuestas óptimas garantizando así diferentes opciones de diversas configuraciones geométricas que dan solución al problema térmico presentado.

BIBLIOGRAFÍA

1. G.J. Huang, S.C. Wong, C.P. Lin, «Enhancement of natural convection heat transfer from horizontal rectangular fin arrays with perforations in fin base», *Int. J. Therm. Sci.* 84 (2014) 164–174.
2. X.R. Meng, J. Zhu, X.L. Wei, Y.Y. Yan, «Natural convection heat transfer of a straight-fin heat sink», *Int. J. Heat Mass Transf.* 123 (2018) 561–568.
3. R. Charles, C.-C. Wang, «A novel heat dissipation fin design applicable for natural convection augmentation», *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 59 (2014) 24–29.
4. D. Jeon, C. Byon, «Thermal performance of plate fin heat sinks with dual-height fins subject to natural convection», *Int. J. Heat Mass Transf.* 113 (2017) 1086– 1092.
5. D.K. Kim, «Thermal optimization of plate-fin heat sinks with fins of variable thickness under natural convection», *Int. J. Heat Mass Transf.* 55 (4) (2012) 752– 761.
6. S.W. Chang, H.W. Wu, D.Y. Guo, J.J. Shi, T.H. Chen, «Heat transfer enhancement of vertical dimpled fin array in natural convection», *Int. J. Heat Mass Transf.* 106 (2017) 781–792.
7. S.S. Feng, M. Shi, H.B. Yan, S.Y.M. Sun, F.C. Li, T.J. Lu, «Natural convection in a cross-fin heat sink», *Appl. Therm. Eng.* 132 (2018) 30–37.

8. S.S. Feng, F.C. Li, F.H. Zhang, T.J. Lu, Natural convection in metal foam heat sinks with open slots», *Exp. Therm. Fluid Sci.* 91 (2018) 354–362.
9. G. Schmid, L. H. Yang, T. H. Yang y S. L. Chen, «Influence of inter-fin base length on thermal performance of free hanging horizontal base heat sinks,» *Applied Thermal Engineering*, vol. 108, pp. 1226-1236, 2016.
10. I. Tari y M. Mehrtash, «Natural convection heat transfer from inclined plate-fin heat sinks,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 56, pp. 574-593, 2013.
11. Q. Shen, D. Sun, Y. Xu, T. Jin y X. Zhao, «Orientation effects on natural convection heat dissipation of rectangular fin heat sinks mounted on LEDs,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 75, pp. 462-469, 2014.
12. D. Jang, S. H. Yu y K. S. Lee, «Multidisciplinary optimization of a pin-fin radial heat sink for LED lighting applications,» *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 55, p. 515–521, 2012.
13. D. Jang, S. J. Yook y K. S. Lee, «Optimum design of a radial heat sink with a fin-height profile for high-power LED lighting applications,» *Applied Energy*, vol. 116, p. 260–268, 2014.
14. H. Kwon, Y. Joo y S. J. Kim, «Analytic approach to thermal optimization of horizontally oriented radial plate-fin heat sinks in natural convection,» *Energy Conversion and Management*, vol. 156, p. 555–567, 2018.
15. B. S. Lazarov, O. Sigmund, K. E. Meyer y J. Alexandersen, «Experimental validation of additively manufactured optimized shapes for passive cooling,» *Applied Energy*, vol. 226, p. 330–339, 2018.
16. N. Bianco, M. Iasiello, G. M. Mauro y L. Pagano, «Multi-objective optimization of finned metal foam heat sinks: Tradeoff between heat transfer and pressure drop», *Applied Thermal Energy*, vol. 182, 116048, 2021.
17. T. Salgado, C. Coello Coello, C. A. y Pescador Rojas, M., «Algoritmo evolutivo multi- objetivo basado en descomposición con múltiples funciones de ecalarización», *Tlamati*, 9(2), 5-13, 2018.

SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO PARA EQUIPOS DE COMPUTO

Araceli Lopez Badillo¹, José Luis Luviano Ortiz², Abel Hernández Guerrero³, Salvador Botello Aceves⁴

^{1,2,3} Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca

⁴ Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.
a.lopezbadillo@ugto.mx

RESUMEN

El avance tecnológico a lo largo del tiempo de los sistemas computacionales ha hecho posible el desarrollo de una gran cantidad de procesos científicos, tecnológicos, industriales, efectuándolos a velocidades cada vez mayores. Un claro ejemplo del impacto que tienen actualmente en la sociedad estos sistemas, junto con los sistemas de telecomunicaciones, es la situación del último año y medio a nivel mundial. Debido a la crisis provocada por la pandemia del coronavirus, la educación y algunos empleos han sido efectuados a distancia de forma digital, haciendo que sea posible seguir el desarrollo de los países aún en medio de una crisis sanitaria. La demanda de velocidad y potencia de los sistemas de cómputo, sumada a la tendencia de miniaturización de los componentes electrónicos y a su alta densidad en un dispositivo, ha traído como consecuencia un incremento en la generación de calor, afectando su funcionamiento y vida útil. En los sistemas de cómputo los disipadores de calor se utilizan para enfriar las CPU (Central Processing Unit, por sus siglas en inglés) o las GPU (Graphics Processing Unit, por sus siglas en inglés), debido a su simplicidad de fabricación y confiabilidad que ofrecen. Debido al avance de la tecnología el trabajo de las CPU ha crecido y se ha vuelto cada vez más potente, tomando gran relevancia en los sistemas computacionales actuales [1]. Hoy en día, los usuarios de computadoras prefieren equipos con procesadores de alta velocidad, ya que con una velocidad alta se tiene mayor cantidad de datos procesados por la CPU, lo cual provoca una generación de calor mayor y, por lo tanto, disminución en su rendimiento. Por consiguiente, es sumamente importante tener un disipador con una alta capacidad de remoción de energía, pues la baja eficiencia de éste al remover calor provocaría daño del procesador a medida que se incrementa la temperatura [2]. Esta problemática ha llevado a un gran análisis e investigación sobre disipadores de calor para equipos de cómputo, buscando mejorar la remoción de calor en los dispositivos electrónicos, para así mantenerlos dentro de los rangos de sus condiciones óptimas y seguras de operación. En este trabajo se presenta la implementación de disipadores de calor con diferentes concavidades variando sus tamaños y distribución, con el fin de mantener los equipos de cómputo dentro de sus temperaturas de operación. Los resultados muestran que la implementación de concavidades esférica presenta una disminución en la temperatura de la base del disipador y principalmente una mejoría en la caída de presión, lo que se traduce en disminución de costos energéticos.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el uso de dispositivos electrónicos computacionales en diversas áreas con aplicaciones y necesidades distintas se está volviendo indispensable. Hoy en día, desde personas comunes hasta grandes empresas requieren de dispositivos electrónicos eficaces para obtener el mayor rendimiento en su campo de acción.

Desde su inicio, las computadoras se han caracterizado por ser máquinas formadas por una gran cantidad de componentes. Sin embargo, con el paso del tiempo, la cantidad, pero sobre todo el tamaño de los componentes ha ido disminuyendo. Existen componentes cuya reducción de tamaño, ha sido muy significativa pero que siguen siendo de gran importancia, tal es el caso de la CPU [3].

La CPU es el componente principal de una computadora, se encarga de ejecutar el sistema operativo y las aplicaciones, recibe constantemente información e instrucciones del usuario y de los programas de software activos, procesa datos y entrega resultados mediante alguna aplicación que los almacena o muestra en la pantalla al usuario. En su interior contiene al menos un procesador o microprocesador, el cual realiza todos los cálculos y operaciones. Durante mucho tiempo, las CPU sólo podían tener un procesador, sin embargo, gracias al desarrollo tecnológico, ahora es común que tengan dos o más procesadores o núcleos de procesamiento [4].

La demanda de rapidez de la CPU, así como la cantidad de trabajo que realiza, ha ido creciendo y es cada vez más potente; debido a que esto se vuelve más indispensable para los sistemas computacionales actuales. Por lo tanto, los procesadores tienen grandes cantidades de transistores que, con base en la Ley de Moore (Figura 1), conforme a cada año que pasa el procesador tendrá el doble de transistores [5].

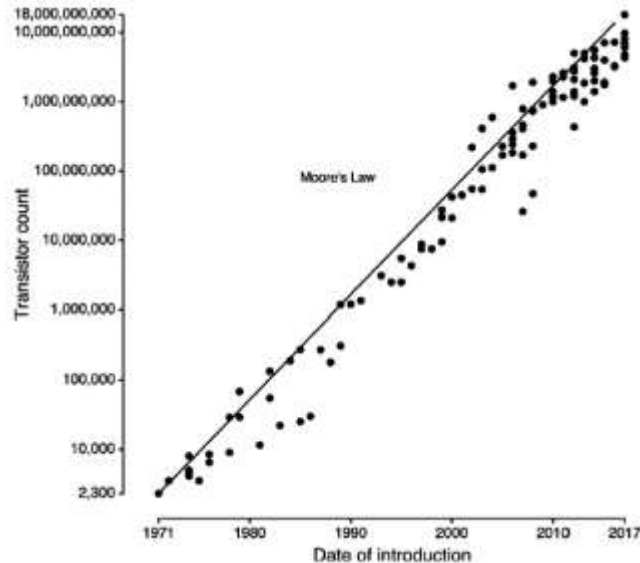


Fig. 7 Comportamiento gráfico de la Ley de Moore [5].

Debido a la tendencia de la Ley de Moore, así como a la miniaturización de los componentes electrónicos en los dispositivos, la generación de calor en éstos ha ido en aumento, dañando directamente el desempeño de los componentes y reduciendo su vida útil. Tiempo atrás, cuando los sistemas de enfriamiento no eran eficientes y la demanda de procesamiento no era tan grande como hoy día, el sobrecalentamiento de la CPU provocaba su fallo irremediablemente. Afortunadamente en la actualidad, las CPU ajustan su frecuencia en función de la temperatura, ya que cuentan con sistemas de autoprotección que disminuye el rendimiento máximo por un lapso hasta que la temperatura desciende a un rango aceptable, protegiendo la vida útil del procesador. El rango recomendable de temperaturas es 60 – 80 °C [6], de ahí la importancia de un apto sistema de enfriamiento para la CPU.

TEORÍA

Un disipador de calor es un dispositivo cuya finalidad es remover eficientemente la cantidad de energía necesaria para que los dispositivos operen en condiciones óptimas. En el caso en el cual se tiene un dispositivo generador de calor, el disipador de calor lo mantendrá en condiciones óptimas y seguras de operación. Los disipadores de calor se pueden clasificar, con base en el modo en que operan, en dos tipos: convección natural (pasivos) y convección forzada (activos). En los disipadores pasivos no se requiere un agente externo para impulsar el fluido, pues el movimiento ocurre debido a un cambio de densidad en el fluido; por otro lado, los disipadores activos requieren un componente externo que bombee el fluido refrigerante [7].

En las computadoras, los disipadores de calor se utilizan para enfriar las CPU o las GPU debido a su simplicidad de fabricación, bajo costo y confiabilidad que ofrecen. Conforme al avance del tiempo y la tecnología, el trabajo de la CPU ha crecido y se ha vuelto cada vez más potente, tomando gran relevancia en los sistemas computacionales actuales [1].

Actualmente, se analizan y utilizan nuevas técnicas de enfriamiento con el fin de cuidar la eficiencia de los procesadores de alta generación de calor y de mantener su temperatura de funcionamiento en un rango de 60 a 80 °C. Debido a que las técnicas de enfriamiento por aire han llegado a su capacidad máxima en la remoción de energía, la atención se centra ahora en las técnicas de enfriamiento por líquidos. De forma general, se tienen dos enfoques en la optimización de los sistemas de enfriamiento por líquido: modificar la geometría del disipador y modificar las propiedades termo-físicas de los fluidos refrigerantes comunes buscando mejorar su capacidad de transferencia de calor. Las investigaciones se han centrado en implementar mini canales, micro canales, concavidades y protuberancias.

En cuanto a concavidades, Xie *et al.* [8] llevaron a cabo una simulación numérica sobre el comportamiento del fluido al implementar concavidades y protuberancias a lo largo de un canal. El modelo consistió en una concavidad de mayor diámetro, el cual estuvo seguido por una protuberancia de menor diámetro, esto con la finalidad de incrementar el número de Nusselt en la concavidad tratando de mantener la caída de presión. En el análisis se consideraron dos parámetros importantes en la estructura de las concavidades, que son: el diámetro de impresión de la concavidad ($D_d = 50$ mm) y la relación entre la profundidad de la concavidad y el diámetro de impresión ($\delta_d / D_d = 0.2$). Los parámetros geométricos se ilustran en la Figura 2.

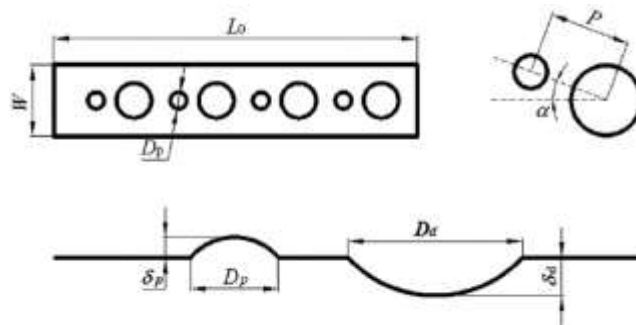


Fig. 8 Esquema de los parámetros geométricos de las concavidades y las protuberancias del disipador propuesto por Xie *et al.* [8].

Por otro lado, algunos investigadores han estudiado otras formas geométricas para concavidades y protuberancias. Un análisis sobre el efecto de la implementación de concavidades y protuberancias en forma de lágrima fue realizado por Jing *et al.* [9], quienes presentaron una simulación numérica sobre el rendimiento termo-hidráulico de un disipador de calor, sobre el cual se usó dióxido de carbono supercrítico (SCO_2), debido las propiedades termofísicas que éste ofrece. Aunado a esto, cabe señalar que sus resultados fueron validados mediante datos experimentales. En la Figura 3 se muestra el modelo físico, el cual consta de un canal rectangular con concavidades y protuberancias distribuidos a lo largo de éste.

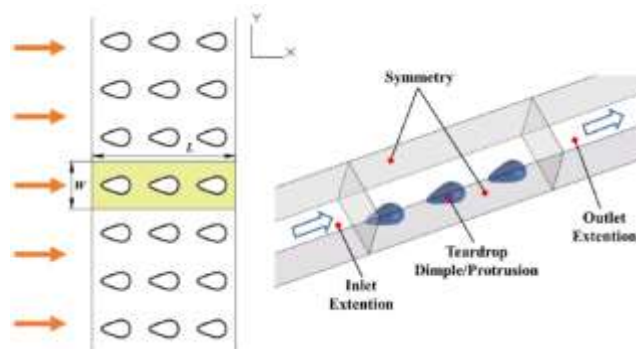


Fig. 9 Modelo de Jing *et al.* [9].

En el estudio se propusieron tres modelos de concavidades-protuberancias: concavidad con excentricidad positiva (PED), protuberancia de excentricidad positiva (PEP) y la protuberancia con excentricidad negativa (NEP), los cuales se muestran en la Figura 4. Para la construcción de la forma de lágrima se usó una relación diámetro-profundidad $\delta/D=0.15$ y una relación de excentricidad-diámetro $e/D=0.1-0.2$.

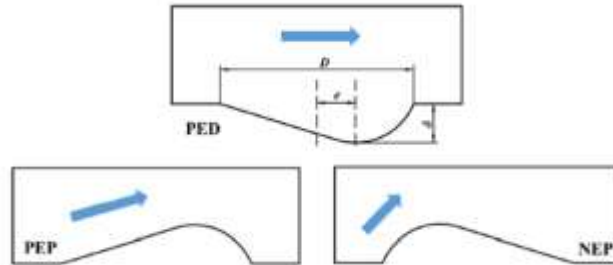


Fig. 10 Geometría de los tres modelos en forma de lágrima [9].

Jing *et al.* encontraron que la concavidad con excentricidad positiva (PED), es el modelo que muestra un mejor rendimiento térmico general, esto es debido a la mejora en la transferencia de calor con un factor de fricción bajo. También concluyeron que, en el caso de concavidades, la excentricidad no tiene un efecto tan notable como lo tiene en las protuberancias.

En el presente trabajo se realiza un análisis numérico de un dissipador de calor propuesto, en el cual se usarán diferentes configuraciones geométricas de concavidades. En la Figura 5, se observa el diseño general del dissipador de calor en la cual se observa que se tiene una entrada general de tipo jet de 4 mm de diámetro y 12 mm de largo, la cual es a su vez concéntrica con la salida del fluido de diámetro de 14 mm, así como al tubo de vidrio que separa el fluido de entrada con el fluido de salida.

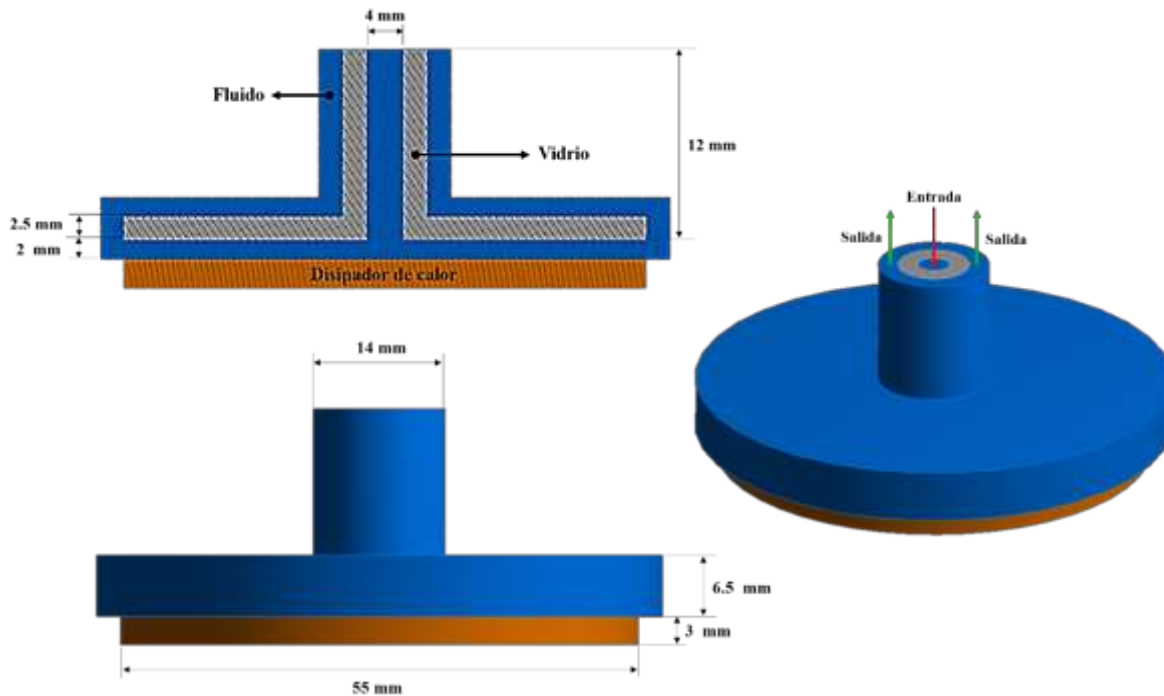


Fig. 11 Características generales del dissipador de calor: dimensiones generales de la entrada, salida, espesor del vidrio y del dissipador de calor, así como su diámetro.

Para el diseño del disipador y la distribución de las concavidades, se cubrió un área de 37.5×37.5 mm, la cual corresponde al tamaño del procesador, siendo esta el área activa del flujo de calor. Además de lo anterior, se propusieron cinco diferentes geometrías para distintos arreglos y formas geométricas de concavidades. Las especificaciones geométricas de las concavidades en los disipadores se enlistan en la Tabla 1. Cabe aclarar que para generar las concavidades esféricas y en forma de gota, se usaron las relaciones de diámetro, profundidad y excentricidad de las investigaciones de Xie *et al.* y Jing *et al.* respectivamente.

Tabla 30 Especificaciones geométricas de las concavidades en los disipadores.

Disipador	Tipo de concavidad	Tipo de Arreglo	Número de concavidades	Diámetro de la concavidad	Profundidad de la concavidad
ERE	Esférico	Rectangular	241	2 [mm]	0.5 [mm]
ERA	Esférico	Radial	288	2 [mm]	0.5 [mm]
EC	Esférico	Radial	164	2 [mm] 4 [mm]	0.5 [mm] 1 [mm]
LP	Lágrima/Gota	Radial	288	3.5 [mm]	0.525 [mm]
LN	Lágrima/Gota	Radial	288	3.5 [mm]	0.525 [mm]

Para las simulaciones numéricas de los cinco modelos, se usaron las siguientes condiciones de frontera:

- Flujo de calor constante y uniforme en la base del disipador de calor.
- Flujo másico constante a la entrada del disipador de calor.
- Presión manométrica a la salida del disipador de calor igual a la presión atmosférica.

Con base en la investigación en el estado del arte sobre disipadores de calor, se establecieron las condiciones de operación para los disipadores propuestos que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 31 Condiciones de operación para las simulaciones.

Flujo de calor q_i''	Flujo másico de entrada \dot{m}_i	Presión manométrica a la salida P	Temperatura de entrada del fluido T
[W/m ²]	[g/s]	[Pa]	[K]
86 257.78	8.75	0	293
	9.75		
192 000	10.75		
	11.75		
	12.75		

Las simulaciones se llevaron a cabo en un software especializado en termo – hidráulica de fluidos.

RESULTADOS

Para asegurar que los resultados obtenidos mediante el procedimiento de simulación elegido sean confiables, se procedió a validarlo mediante la réplica numérica de la investigación desarrollada por Naphon *et al.* [11]. La validación consistió en aplicar el procedimiento de solución numérica, usado en este trabajo, al modelo propuesto por Naphon *et al.* en su experimento. Para esto, se eligieron ciertas condiciones aplicadas en la investigación: material del disipador, cobre; fluido de trabajo, agua; potencia disipada, 121.3 W; altura del jet, 1.5 mm; diámetro del jet, 1 mm; para todos los flujos másicos propuestos en el artículo. Como parámetros de comparación se tomaron la temperatura promedio a la salida del fluido y la caída de presión, que son datos reportados en la investigación

experimental. En la Figura 6, se muestran los resultados obtenidos al simular el modelo propuesto por Naphon *et al.* comparándolos con los datos experimentales presentados en su investigación.

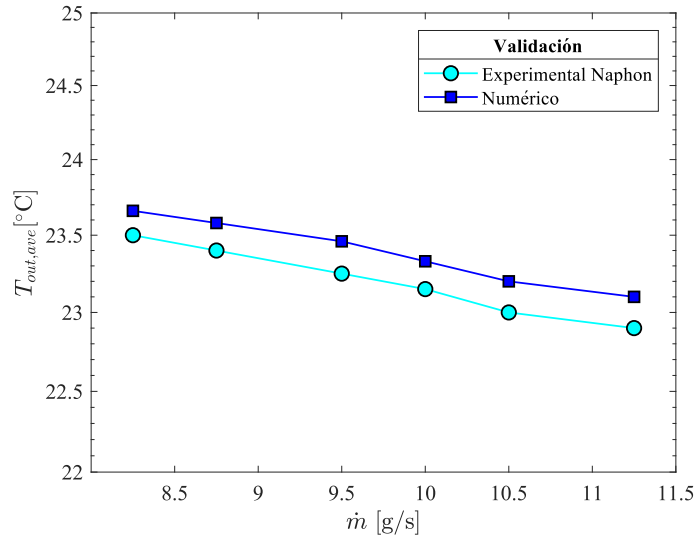


Fig. 12 Validación de procedimiento numérico - experimental; variación de la temperatura promedio a la salida del disipador con respecto al flujo másico.

Como se puede observar los resultados obtenidos (Figura 6) son bastante cercanos a los resultados experimentales, y siendo un análisis de la misma índole, el procedimiento es correctamente validado. Debido a que el objetivo de este trabajo es analizar el efecto que provoca la implementación de concavidades en un disipador de calor, a continuación, se muestran los resultados obtenidos en las simulaciones mediante gráficas de temperatura, caída de presión, número de Nusselt y la resistencia térmica.

Además de lo anterior, con base en el volumen del disipador de calor y la densidad del cobre, se calculó la masa aproximada que tendría cada disipador de calor. En promedio la masa de los disipadores es de 62.3 gr, teniendo una variación del 4% entre la masa mínima y la máxima, lo cual se muestra en la Figura 7.

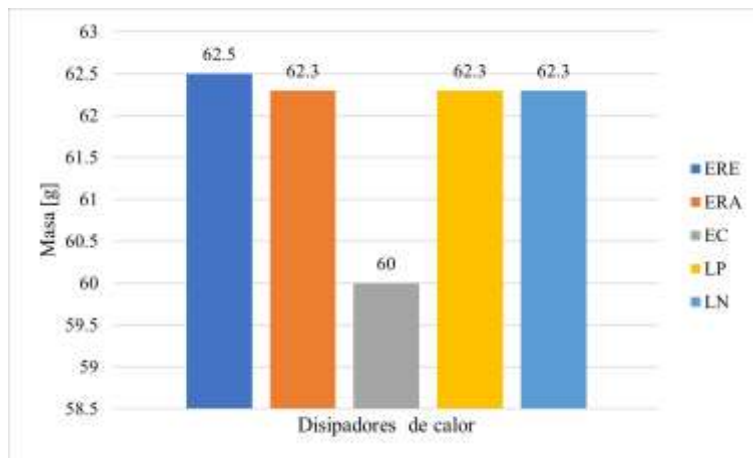


Fig. 13 Masa aproximada de los disipadores de calor propuestos.

En la Tabla 3 se muestra una comparación general de los resultados obtenidos entre los cinco modelos estudiados, para un flujo de calor de $192\,000\text{ W/m}^2$ y un flujo másico de 8.5 g/s .

Tabla 32 Resultados de temperaturas de los disipadores para los modelos propuestos.

Disipador	$T_{b,max}$ [K]	$T_{b,prom}$ [K]	$T_{b,min}$ [K]	$T_{out,prom}$ [K]	ΔP [kPa]
SL	304.59	303.68	302.46	294.85	1.549
ERE	304.99	303.78	302.20	294.84	1.649
ERA	304.52	303.61	302.09	294.84	1.461
EC	305.59	304.14	302.33	294.83	1.496
LP	304.98	303.96	302.55	294.84	1.516
LN	304.89	304.05	302.34	294.83	1.621

En la Figura 8, se muestra la variación de la caída de presión con respecto al flujo másico para cada disipador, en esta figura se observa que el disipador de calor con concavidades esféricas en arreglo radial (ERA) así como el de concavidades en forma de lágrima con excentricidad positiva (LP), son los que presentan una menor caída de presión, seguidos por el de concavidades de diámetros distintos combinados (EC).

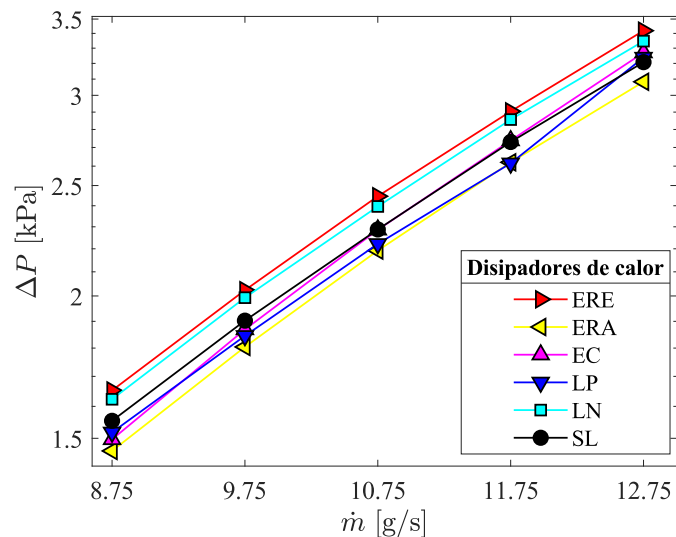


Fig. 14 Variación de la caída de presión con respecto al flujo másico para cada disipador de calor.

En la Figura 9 se muestra cómo varía la temperatura máxima obtenida sobre la base del disipador de calor con respecto al flujo másico para cada modelo para los flujos de calor de $86\,257.778\text{ [W/m}^2]$ y $192,000\text{ [W/m}^2]$. En esta figura se observa que el disipador ERA es el que tiene las menores temperaturas sobre la base, mientras el disipador EC es el que tiene las más altas temperaturas, lo cual se debe a que tiene una masa menor.

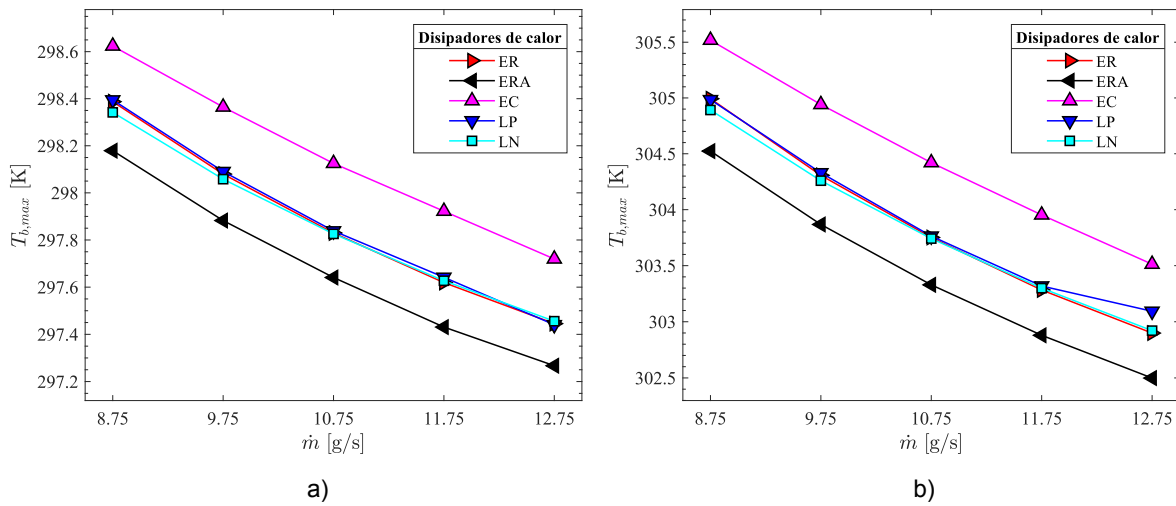


Fig. 15 Variación de las temperaturas máximas sobre la base del dissipador con respecto al flujo másico para cada dissipador: a) Flujo de calor de 86 257.778 [W/m²] y b) Flujo de calor de 192 000 [W/m²].

En la Figura 10 se muestra cómo varía el número de Nusselt con respecto al flujo másico para cada dissipador propuesto. En esta figura se observa que, para ambos flujos de calor, el dissipador con concavidades esféricas en arreglo radial (ERA) es el que tiene el mayor número de Nusselt, asimismo, se observa que el dissipador con concavidades esféricas combinados (EC) es el que tiene el menor número de Nusselt.

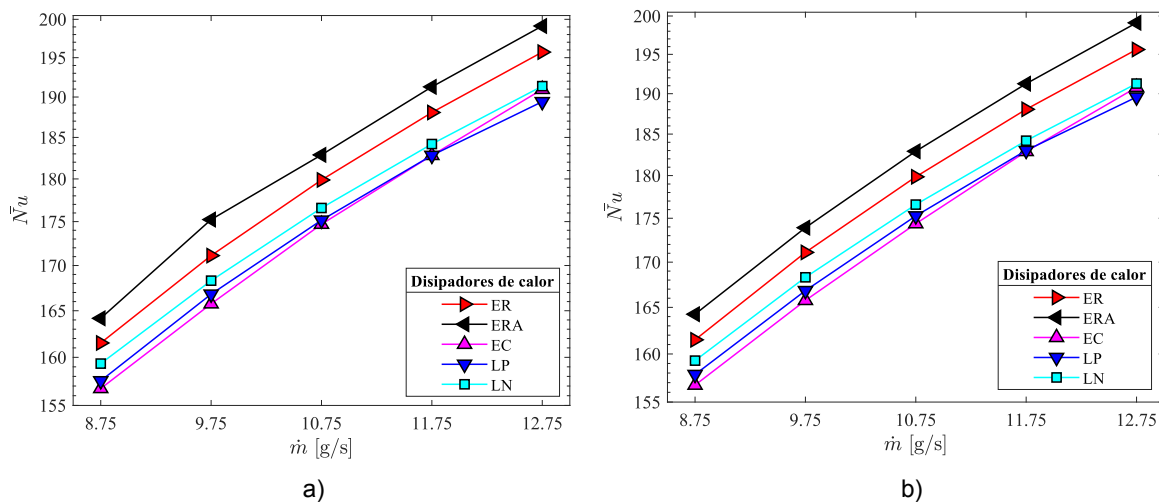


Fig. 16 Variación del número de Nusselt con respecto al flujo másico para los distintos dissipadores de calor propuestos. a) Flujo de calor de 86 257.778 [W/m²] y b) flujo de calor de 192 000 [W/m²].

Por otra parte, la variación de la resistencia térmica con respecto al flujo másico, para cada dissipador propuesto, se muestra en la Figura 11, en la cual se observa que el dissipador de calor de concavidades esféricas en arreglo radial (ERA) es el que tiene la menor resistencia térmica, para ambos flujos de calor, mientras que el dissipador de concavidades esféricas con distintos diámetros

(EC) es el que tiene la mayor resistencia térmica. De igual forma, la diferencia promedio porcentual entre el dissipador EC y ERA es 9.2%.

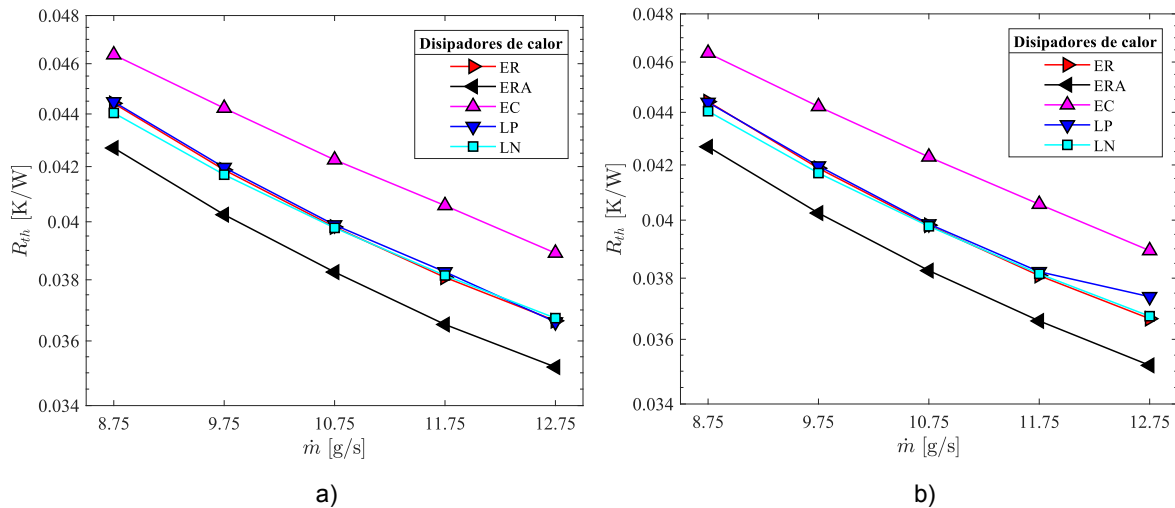


Fig. 17 Variación de la resistencia térmica con respecto al flujo másico para cada dissipador propuesto. a) Flujo de calor de 86 257.778 $[W/m^2]$ y b) flujo de calor de 192 000 $[W/m^2]$.

El dissipador con concavidades esféricas radiales (ERA) es el que presenta la menor temperatura máxima en la base.

El dissipador de concavidades esféricas con diámetros combinados (EC) es el que tiene los valores de temperaturas más grandes lo cual puede ser debido a que es el dissipador que tiene una menor cantidad de masa.

Respecto a la resistencia térmica, el dissipador ERA es el que presenta los valores más bajos, aproximadamente de 0.35. Por el contrario, el dissipador EC presenta la mayor resistencia térmica, con un valor aproximadamente de 0.45 lo que lo caracteriza por tener mayor oposición a transferir energía.

Finalmente, la implementación de concavidades en dissipadores de calor presenta una disminución en la temperatura de la base de cada dissipador y una mejoría en la caída de presión, lo que hace que se requiera menor potencia de bombeo, traduciéndose en ahorro de energía.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nava-Arriaga, Erick M., Luviano-Ortiz, J. Luis, Hernández-Guerrero, Abel, Sciubba, Enrico (2019) "Análisis numérico de un novedoso dissipador de calor con minicanales y distribuidor de flujo basado en la teoría Constructal". XXV Congreso Internacional Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica.
2. H.Y. Li, M.H. Chiang, C.I. Lee, W.J. Yang, "Thermal performance of plate-fin vapor chamber heat sinks", *Int. Commun. Heat Mass Transf.* 37 (7) (2010) 731–738. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2010.05.015>
3. Anandtech, State of the Part: CPUs, by Jarred Walton | 2021, Jun 25, 04:10 pm from <https://www.anandtech.com/show/8312/state-of-the-part-cpus>
4. Christensson, P. (2014, July 11). CPU Definition. Retrieved | 2021, Jun 25, 04:20 pm from <https://techterms.com>
5. Randall, J. N., Owen, J. H., Fuchs, E., Lake, J., Von Ehr, J. R., Ballard, J., & Henriksen, E. (2018). Digital atomic scale fabrication an inverse Moore's Law—A path to atomically precise manufacturing. *Micro and Nano Engineering*, 1, 1-14.

6. Puget systems, Impact of Temperature on Intel CPU Performance | Written on October 28, 2014 by Matt Bach. <https://www.pugetsystems.com/labs/articles/Impact-of-Temperature-on-Intel-CPU-Performance-606/>
7. Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Bergman, Lavine, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Chapter 1, Introduction. Convection, p.p 6 -9, sixth edition.
8. Xie, Y., Shen, Z., Zhang, D., & Ligrani, P. (2016). Numerical analysis of flow structure and heat transfer characteristics in dimpled channels with secondary protrusions. Journal of Heat Transfer, 138(3). <https://doi.org/10.1115/1.4031787>
9. Jing, Q., Xie, Y., & Zhang, D. (2019). Thermal-hydraulic performance and entropy generation of supercritical carbon dioxide in heat exchanger channels with teardrop dimple/protrusion. International Journal of Heat and Mass Transfer, 135, 1082-1096. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2019.02.058>
10. Naphon, P., Nakharintr, L., & Wiriyasart, S. (2018). Continuous nanofluids jet impingement heat transfer and flow in a micro-channel heat sink. International Journal of Heat and Mass Transfer, 126, 924-932. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2018.05.101>

EVALUACIÓN DEL PROCESO DE OXIDACIÓN FENTON EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES DEL SECTOR AUTOMOTRIZ

Dulce María Guadalupe Arzola Torres, Arodí Bernal Martínez

Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato
dmg.arzolorres@ugto.mx

RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales del sector automotriz constituye un gran desafío, ya que su compleja composición y la presencia de compuestos altamente recalcitrantes hacen necesaria la aplicación de procesos avanzados que permitan obtener mejores eficiencias y la degradación de esta fracción de contaminantes. En este estudio se busca emplear el proceso de oxidación Fenton para el tratamiento de aguas residuales generadas durante la manufactura de ejes automotrices, a fin de lograr el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996. Dicho proceso se centra en la generación de radicales hidroxilo ($\text{HO}\cdot$) a través de la descomposición de peróxido de hidrógeno (H_2O_2) catalizado por iones ferrosos (Fe^{2+}) [1]. En los estudios de tratabilidad se observó que las dosis de reactivos más favorables para el proceso se encuentran dentro de los siguientes rangos: de 0.2 a 0.3 g/L de catalizador (Fe^{2+}) y de 0.2 a 0.5 g/L de agente oxidante (H_2O_2) a un pH operativo de 4, siendo que las mejores eficiencias fueron obtenidas a una dosis óptima de 0.297 g/L de Fe^{2+} y 0.277 g/L de H_2O_2 , alcanzando una remoción del 98.93% de turbidez, 97.78% de DQO y 86.65% de SST. La caracterización del efluente tratado en base a los parámetros de la norma determinados permite establecer como apta la calidad del agua para descargar en aguas bienes nacionales.

INTRODUCCIÓN

El caso abordado en el presente trabajo acontece en una empresa del sector automotriz dedicada a la manufactura y ensamble de ejes automotrices, cuyas ARI son tratadas actualmente mediante la siguiente metodología: i) un separador API y un sistema de flotación por aire disuelto (DAF), para la remoción de aceites, ii) un proceso de coagulación-floculación para eliminar la materia coloidal y suspendida y iii) un par de sistemas de ultrafiltración (UF) para la retención de sólidos disueltos (entre los que se incluyen metales, fosfatos y nitratos).

El gradual crecimiento de la empresa ha ocasionado que el sistema instalado no cuente con la capacidad suficiente para tratar los volúmenes de ARI que ahora se generan, provocando que en diversas ocasiones se presenten problemas para disminuir los niveles de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), sólidos sedimentables (SS), nitrógeno total (NT), fósforo total (PT), grasas y aceites (GyA), a los límites máximos permisibles (LMP), establecidos para embalses naturales y artificiales con uso de riego agrícola de la NOM-001-SEMARNAT-1996 [2], cuya normativa es aplicable a la empresa. Esta limitada capacidad del sistema y su recurrente ineficiencia ha originado que la empresa busque alternativas para mejorar su tren de tratamiento.

En este sentido, el proceso de Fenton, se presenta como alternativa adecuada, ya que es capaz de degradar una amplia variedad de contaminantes con altas eficiencias a través de la oxidación promovida por radicales hidroxilo, caracterizados por ser altamente reactivos y no selectivos, que oxidan y mineralizan la mayoría de los compuestos orgánicos y promueven la oxidación de compuestos inorgánicos para su precipitación (mediante el cambio de su estado de oxidación). Así mismo, gracias a la formación de flóculos de hidróxido de hierro (III) durante la etapa de neutralización, se logra aumentar los porcentajes de eliminación de material coloidal [3].

Debido a esto, el presente trabajo busca evaluar la eficiencia de esta tecnología en el tratamiento de las ARI en cuestión, a fin de valorar la sustitución del proceso de coagulación-floculación en el actual tren de tratamiento por el proceso de Fenton y permitir a la empresa cumplir con los requerimientos normativos para sus descargas.

PARTE EXPERIMENTAL

Muestreo y caracterización del ARI

El muestreo del ARI se realizó en base a la Norma Mexicana NMX-AA-003-1980, que establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales. La muestra fue tomada posterior al sistema de difusión por aire disuelto (sistema DAF) en la planta de tratamiento actual, fase en la cual ya se han retirado cantidades excesivas de aceite en el AR. Para la caracterización del ARI se determinaron los parámetros enlistados en la tabla 1, misma que muestra los métodos analíticos utilizados.

Diseño experimental

Se procedió a optimizar las condiciones de operación empleando la metodología de superficie de respuesta (MSR). Para ello se utilizó un diseño central compuesto (DCC) a fin de optimizar las dosis de Fe^{2+} y la dosis de H_2O_2 , para una máxima remoción de turbidez, DQO y SST. El DCC se construyó a partir de un diseño factorial completo 22 con tres réplicas, agregando además 5 puntos al centro y 4 puntos axiales a una distancia α de 1.8612 al centro del diseño. Los estudios se realizaron utilizando el software Design Expert versión 11.1.2.0.

Cada tratamiento o ensayo de Fenton, se llevó a cabo siguiendo la metodología de las pruebas de jarras. Para ello se empleó 1 L de agua residual a temperatura ambiente, peróxido de hidrógeno al 30% (p/v) y sulfato ferroso heptahidratado, con un contenido de hierro del 99% (p/p), en disolución. Se probaron diferentes dosis de hierro y peróxido, adicionando para ello las dosis predeterminadas por el DCC. Se manejó un pH operativo de 4 para favorecer el proceso de oxidación, debido a que el manejo de pH menores disminuía las eficiencias de remoción (datos no mostrados). A manera de detalle, el procedimiento experimental que se siguió en cada caso consto de las siguientes fases: i) primeramente, el pH del AR fue ajustado a un valor de 4, ii) posteriormente, se dosificaron las cantidades necesarias de los reactivos. La reacción de oxidación se mantuvo durante 30 minutos bajo condiciones de mezcla perfecta a 50 rpm, iii) enseguida se neutralizó el efluente con hidróxido de sodio hasta un pH de 7.0 ± 0.5 y, iv) finalmente la muestra se dejó reposar durante 30 minutos. El clarificado se recuperó para determinar la turbidez, DQO, SST, color, hierro ferroso (Fe^{2+}), hierro total (Fe) y peróxido residual, mientras que el precipitado se recuperó para determinar el volumen y masa de los lodos.

Se realizaron experimentos adicionales con las condiciones optimizadas a fin de validar las respuestas predichas por la MSR.

Evaluación del proceso

Se evaluó el desempeño del proceso con respecto a los parámetros considerados en la NOM-001-SEMARNAT-1996, a fin de valorar si la inclusión del proceso dentro del actual tren de tratamiento permite a la empresa cumplir con los LMP para sus descargas. Asimismo, se comparó la eficiencia con respecto a la obtenida por coagulación-floculación.

RESULTADOS

Caracterización del ARI

En la tabla 1 se muestra la caracterización del ARI. Se observa que ésta posee un carácter alcalino debido principalmente a que los agentes químicos utilizados en las soluciones de proceso presentan éste carácter. Al hacer el cálculo del índice de biodegradabilidad obtenido a través de la relación DBO_5/DQO , el valor 0.12 obtenido, nos indica que el efluente es de naturaleza no biodegradable. Por otro lado, a pesar de que la muestra fue tomada posterior a los sistemas de remoción de aceite, el AR sigue presentando un alto contenido de grasas y aceites.

Diseño de experimentos

Los rangos evaluados de la dosis de Fe^{2+} y la dosis de H_2O_2 en el proceso de optimización se muestran en la tabla 2, donde las dosis inferior y superior evaluadas, se posicionan en los niveles codificados como -1.8612 y +1.8612, respectivamente.

Tabla 33. Caracterización del agua residual industrial.

Determinación	Método analítico	Resultado
pH	NMX-AA-008-SCFI-2016	8.08 ± 0.01
Temperatura (°C)	NMX-AA-007-SCFI-2013	29.70 ± 0.10
GyA (mg/L)	NMX-AA-005-SCFI-2013	2203 ± 7.07
Materia flotante	NMX-AA-006-SCFI-2010	Ausente
SS (ml/L)	NMX-AA-004-SCFI-2013	0.085 ± 0.007
SST (mg/L)	NMX-AA-034-SCFI-2015	598.33 ± 7.63
NT (mg/L)	Método US EPA 351.3	30.83 ± 0.06
Turbidez (UNT)	Método US EPA 180.1	1735 ± 2.12
DQO (mg/L)	Método Hach 8000	2583.33 ± 5.20
DBO ₅ (mg/L)	Método respirométrico (Oxitop)	485 ± 7.07
COT (mg/L)	Analizador SHIMADZU TOC-LCPHCPN	26.09 ± 0.36

Tabla 34. Niveles de los factores a optimizar.

Factores a optimizar	Nivel				
	-1.8612	-1	0	1	+1.8612
Dosis de Fe ²⁺ (g/L) X ₁	0.1569	0.2	0.25	0.3	0.3430
Dosis de H ₂ O ₂ (g/L) X ₂	0.0708	0.2	0.35	0.5	0.6291

La matriz de diseño experimental realizada con el software antes mencionado, junto con los resultados obtenidos en las variables de respuesta (porcentaje de remoción de turbidez, DQO y SST), se muestran en la tabla 3. Debe notarse que los 21 experimentos se realizaron para probar diferentes combinaciones de los reactivos dentro de los rangos definidos.

Los modelos de regresión ajustados que describen las variables de respuesta (remoción de turbidez, DQO y SST) en función de las variables de proceso (dosis de Fe²⁺ y dosis de H₂O₂) están dados por las siguientes ecuaciones cuadráticas, donde Y₁, Y₂ y Y₃ son las respuestas predichas, con X₁= A: dosis de Fe²⁺ y X₂= B: dosis de H₂O₂.

$$Y_1 (\% \text{ de remoción de turbidez}) = 96.73 + 3.48X_1 + 1.09X_2 - 1.15X_1X_2 - 1.84X_1^2 - 0.2433X_2^2$$

Ec. (1)

$$Y_2 (\% \text{ de remoción de DQO}) = 97.67 + 1.39X_1 - 1.50X_2 + 0.4771X_1X_2 - 0.7849X_1^2 - 0.8019X_2^2$$

Ec. (2)

$$Y_3 (\% \text{ de remoción de SST}) = 86.74 + 2.29X_1 + 0.6734X_2 - 0.5482X_1X_2 - 1.25X_1^2 - 0.6383X_2^2$$

Ec. (3)

En las figuras 1, 2 y 3 se presentan los diagramas de superficie para la remoción de turbidez, DQO y SST, respectivamente. Los cuales resultan de ajustar los modelos de las Ec. (1), (2) y (3), a un conjunto de puntos de la región experimental. Cada curva de nivel o isolínea (dibujadas como líneas de colores sobre la región experimental), representa puntos o combinaciones de dosis de Fe²⁺ y H₂O₂ en los que los porcentajes de remoción son iguales.

Tabla 35. Matriz de diseño experimental.

Corrida	Factores		Variables de respuesta		
	Dosis de Fe ²⁺ (X ₁) g/L	Dosis de H ₂ O ₂ (X ₂) g/L	Remoción de turbidez (Y ₁) %	Remoción de DQO (Y ₂) %	Remoción de SST (Y ₃) %
1	0.2	0.2	88.12	96.61	81.74
2	0.1569	0.35	83.89	92.23	77.65
3	0.3	0.5	97.88	96.61	83.40
4	0.3	0.2	96.95	98.11	68.73
5	0.3	0.5	98.05	96.05	87.55
6	0.25	0.0708	96.41	97.76	84.04
7	0.3	0.2	96.96	98.95	68.75
8	0.2	0.5	93.55	92.67	84.23
9	0.25	0.35	96.53	97.59	68.75
10	0.2	0.2	88.21	96.73	80.91
11	0.3430	0.35	98.35	97.82	87.23
12	0.25	0.35	97.77	97.59	72.91
13	0.2	0.5	94.17	92.78	84.23
14	0.25	0.6291	96.86	92.17	85.10
15	0.3	0.2	96.95	98.10	68.56
16	0.25	0.35	97.36	97.95	70.83
17	0.2	0.5	93.58	92.73	83.96
18	0.3	0.5	97.90	96.34	86.22
19	0.2	0.2	88.19	96.72	81.10
20	0.25	0.35	96.84	97.59	70.83
21	0.25	0.35	97.33	97.84	69.90

En la figura 1 se observa que los puntos en los que el porcentaje de remoción de turbidez toma valores más altos (en color rojo), es precisamente en la región donde los tratamientos trabajan a dosis altas de Fe²⁺, mayores a 0.27 mg/L, sin el efecto significativo de la dosis de H₂O₂. Como se puede observar, el modelo estimado, evaluado en esta región de dosis, predice un valor de remoción de turbidez muy cercano al 98%.

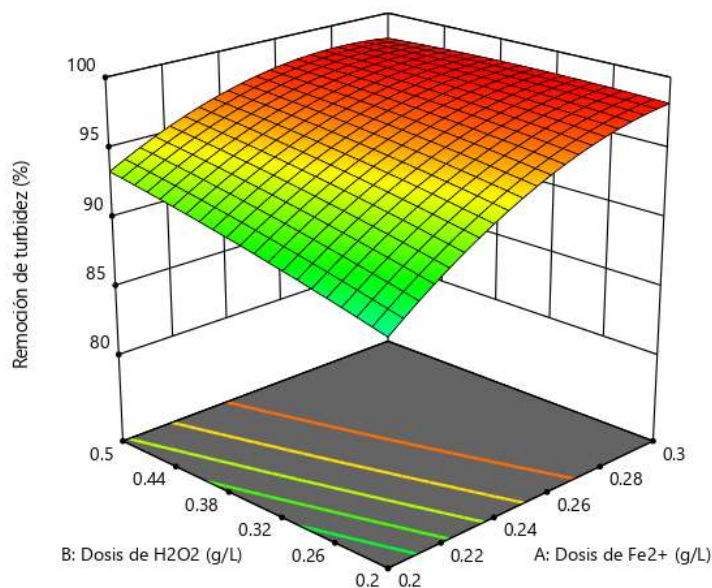


Figura 99. Superficie de respuesta para la remoción de turbidez.

Por otro lado, en la figura 2, se aprecia que la mejor remoción de DQO se da en la región experimental que maneja dosis de Fe^{2+} mayores a 0.22 g/L en conjunto con dosis de H_2O_2 menores a 0.4 g/L, con las que se tienen predicciones de remoción cercanas o iguales al 98%.

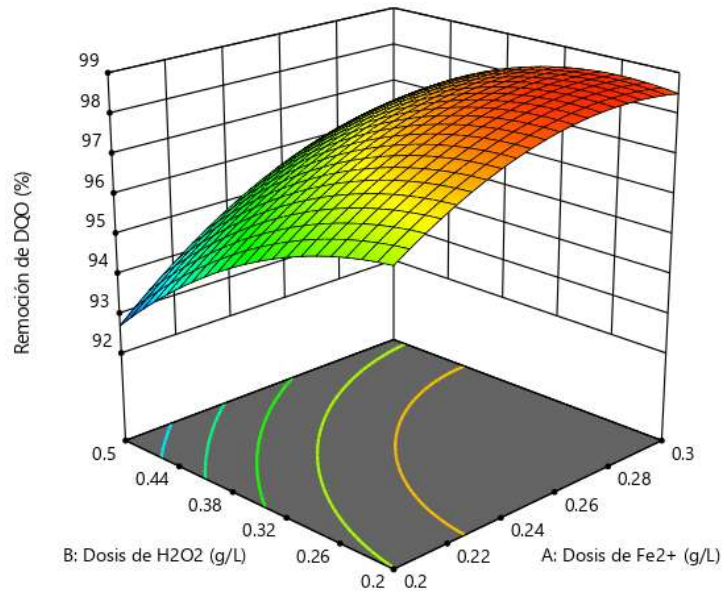


Figura 100. Superficie de respuesta para la remoción de DQO.

Para el caso de remoción de SST, en la figura 3, se aprecia que las mejores eficiencias se dan con dosis altas de Fe^{2+} mayores a 0.28 g/L, sin que la dosis de H_2O_2 añadida tenga un efecto significativo. Para esta región de dosis se predicen las mejores remociones, superiores o iguales al 87% para SST.

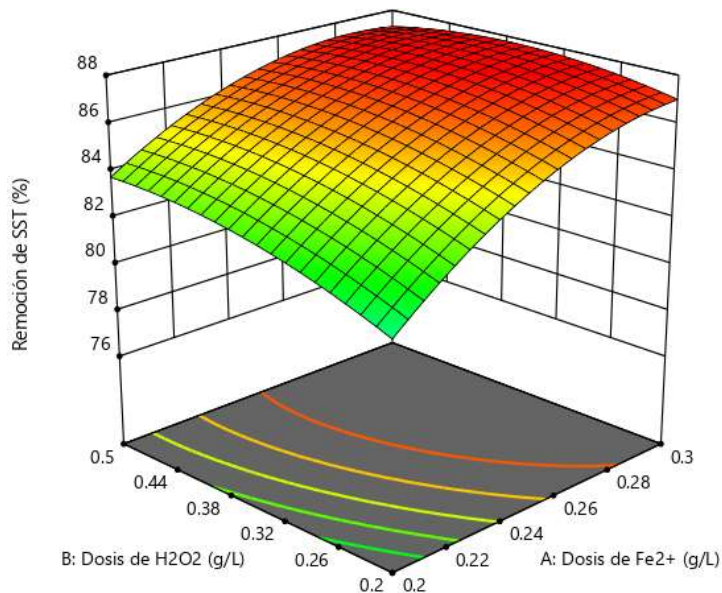


Figura 101. Superficie de respuesta para la remoción de SST.

A través de una optimización simultánea, en la que el software realizó la superposición de las tres superficies de respuesta sobre la región experimental, se identificaron las dosis óptimas de Fe^{2+} y H_2O_2 con las que los tres parámetros alcanzan el máximo valor de remoción. Estas dosis óptimas fueron: 0.297 g/L de catalizador y 0.277 g/L de agente oxidante. Con las que se pronosticó una remoción del 98.31 % de turbidez, 98.60% de DQO y 87.55% de SST (tabla 4). A fin de validar los porcentajes de remoción pronosticados, se realizaron experimentos adicionales utilizando las dosis óptimas propuestas. Puede notarse en la tabla 4, que la predicción del modelo es bastante acertada, ya que se obtuvieron porcentajes de remoción muy similares para cada parámetro.

Tabla 36. Validación de los porcentajes de remoción predichos por la MSR.

Valores	Remoción de turbidez (%)	Remoción de DQO (%)	Remoción de SST (%)
Predichos	98.31	98.60	87.55
Observados	98.93 ± 0.02	97.78 ± 0.07	86.65 ± 0.27

En la tabla 5 se muestran los valores de color, hierro ferroso, hierro total y peróxido residual obtenidos con este tratamiento, así como el volumen y masa de los lodos formados. Se observa que la muestra posee una baja concentración de hierro y peróxido residual, así como un valor de coloración casi nulo. Por otro lado, el lodo generado alcanza los 1539 mg por cada litro de AR tratado, es decir, 1.539 kg por cada metro cúbico tratado.

Tabla 37. Caracterización del efluente tratado bajo las dosis óptimas.

Color (U de PtCo)	Fe^{2+} (mg/L)	Fe (mg/L)	H_2O_2 (mg/L)	Volumen de lodo (cm^3/L)	Masa de lodo (mg/L)
0.3 ± 0.5	0.01 ± 0.0	0.15 ± 0.02	2.6 ± 0.2	150 ± 0.0	1539 ± 2.4

Evaluación del proceso

En la tabla 6 se presenta la caracterización del efluente tratado mediante Fenton (bajo las condiciones óptimas) en comparación con la del agua residual tratada (ART) por coagulación-floculación, a fin de evaluar el desempeño de cada uno de ellos. Asimismo, como el propósito principal de este trabajo fue lograr el cumplimiento de la NOM-001-SEMARNAT-1996, se realiza también una comparación con los LMP establecidos en dicha normatividad. Para el caso de la temperatura, DQO y COT, se tomaron como referencia los LMP establecidos en el proyecto de modificación a la norma, PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 [4].

Puede notarse que, para los parámetros determinados, el proceso de Fenton muestra excelentes eficiencias, logrando cumplir con los LMP. Para el caso de grasas y aceites se observa una disminución importante del 99.4% con respecto al valor inicial en el ARI, superando significativamente la remoción obtenida a través de coagulación-floculación (64.87%). Este hecho refleja la alta eficiencia del proceso de Fenton para la oxidación de material orgánico. En el caso de los SST, se supera sin problemas el LMP de la normatividad, rebasando por 70 mg/L dicho valor; caso contrario a lo obtenido con C-F, que no permite siquiera alcanzar el valor establecido en la norma. Para el caso de la DBO_5 en el ART por Fenton, se observa una concentración menor a 1 mg/L, así como una concentración de 11.08 mg/L de COT. Ambos parámetros utilizados como estimadores de la carga orgánica presente en el efluente. Puede observarse que tanto el ART por C-F como la tratada por Fenton presentan niveles bajos de material orgánico, cumpliendo satisfactoriamente el LMP para ambos parámetros. En cuanto al valor de DQO, se aprecia que el proceso de C-F no logra eficiencias satisfactorias, pues sólo logra una remoción del 79% con respecto al valor inicial del ARI y no permite cumplir con la normatividad. Por el contrario, el proceso de Fenton permite rebasar el LMP, alcanzando una concentración final de 57.34 mg/L. Es decir, 92.66 mg/L por debajo del nivel establecido. Para el caso del NT, se aprecia una mayor eficiencia de

remoción con el proceso de Fenton que con el de C-F, permitiendo alcanzar una concentración final de 2 mg/L, valor 20 veces por debajo del LMP.

Es indiscutible que el proceso de Fenton demuestra mejores eficiencias en comparación al proceso de C-F actualmente utilizado en la empresa, permitiendo incluso, prescindir de la siguiente fase de tratamiento, que consta de los dos sistemas de ultrafiltración, pues se cumple satisfactoriamente la calidad establecida en la normatividad. Este hecho no sólo implica un ahorro económico para la empresa, sino también, abre la posibilidad de que el agua tratada pueda ser reutilizada para el riego de áreas verdes.

Tabla 38. Caracterización de los efluentes y su comparación con los LMP de la normatividad.

Determinación	ART por coagulación-floculación	ART por Fenton	LMP NOM-001-SEMARNAT-1996
pH	5.70 ± 0.07	6.52 ± 0.03	5-10
Temperatura (°C)	23.3 ± 0.1	23.4 ± 0.1	35*
GyA (mg/L)	773.75 ± 3.18	12.50 ± 0.70	15
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente
SS (ml/L)	0.01 ± 0.00	0	1
SST (mg/L)	460.66 ± 1.25	80 ± 1.0	150
NT (mg/L)	10.1 ± 0.1	2 ± 0.0	40
Turbidez (UNT)	565 ± 3.53	18.56 ± 0.45	-
DQO (mg/L)	541.6 ± 3.81	57.34 ± 0.90	150*
DBO ₅ (mg/L)	90 ± 0.0	< 1	150
COT (mg/L)	19.78 ± 0.007	11.08 ± 0.09	38*

*LMP establecido en el PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017.

En la figura 4 se expone el aspecto visual del ART mediante Fenton en comparación con el ARI sin tratamiento y el ART por C-F, con el propósito de destacar los resultados obtenidos.



Figura 102. Aspecto visual del ARI en comparación con el ART por Fenton y el ART por coagulación-floculación.

CONCLUSIONES

El proceso de Fenton presenta un elevado potencial como tecnología de tratamiento de aguas residuales del sector automotriz, ya que fue capaz de remover significativamente la turbidez, DQO y SST presentes en dicho efluente. La caracterización del efluente tratado en base a los parámetros de la NOM-001-SEMARNAT-1996 determinados, permite establecer como apta la calidad del agua para descargar en aguas y bienes nacionales. Sin embargo, esto aún no puede asegurarse hasta

realizar la medición de fósforo total y metales pesados. El proceso de Fenton mostró eficiencias superiores al actual proceso de coagulación-floculación utilizado en la empresa, permitiendo incluso, poder prescindir de la siguiente fase de tratamiento, que consta de los dos sistemas de ultrafiltración, pues se cumple satisfactoriamente la calidad establecida en la normatividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. S. Jagadevan, P. Dobson & L. Thompson, "Harmonization of chemical and biological process in development of a hybrid technology for treatment of recalcitrant metalworking fluid", *Bioresource Technology*, Vol. 102, 2011, pp. 8783-8789.
2. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, "Norma Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales, en aguas y bienes nacionales". *Diario Oficial de la Federación* (1996, 12, 24).
3. E. Neyens & J. Baeyens, "A review of classic Fenton's peroxidation as an advanced oxidation technique". *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 98, 2003, pp. 33-50.
4. Secretaría de Economía, "Proyecto de Norma Mexicana PROY-NMX-AA-003-SCFI-2019. Análisis de agua – muestro de aguas residuales y residuales tratadas". *Diario Oficial de la Federación* (2019, 10, 25).

ANÁLISIS DE FATIGA EN COMPONENTES AUTOMOTRICES TIPO MASA SEPARADORA VEHICULAR PARA COCHE DE RALLY

Juan Pablo Razón-González¹, José Miguel García-Guzmán², Miroslava Cano-Lara³, Dennise Ivonne Gallardo-Alvarez⁴

Tecnológico Nacional de México (TecNM) / Instituto Tecnológico Superior de Irapuato (ITESI)
juan.rg@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

En el presente trabajo se analiza el efecto de los ciclos de fatiga en una masa separadora vehicular en un auto de carreras para competencias de rally, con el fin de aumentar la distancia entre centros disco-rin, esto para evitar que los amortiguadores rocen con los neumáticos. A este coche previamente se le efectuaron diversas modificaciones en distintos componentes como el motor, suspensión y el conjunto de resorte-amortiguador, mismas que una vez realizadas provocaron que el neumático friccionara al entrar en contacto con el resorte del amortiguador provocando que se reventara la llanta por el desgaste prematuro; dadas las condiciones de diseño del automóvil y considerando las posibilidades nulas de reubicar al amortiguador por ser uno de los elementos fijos del vehículo. A partir de estas condiciones es que surge la necesidad de diseñar una masa separadora vehicular ya que en el mercado no existían elementos automotrices con características similares, entonces se diseñó un prototipo virtual con ayuda de la herramienta virtual Solidworks y validado con la técnica de análisis matemático del método de elementos finitos con el programa Ansys Workbench en la que se realiza el análisis de esfuerzos aplicando la teoría de distorsión de Von-Mises ya que es la que se ajusta el comportamiento de los materiales dúctiles. Debido a que el coche de rally se somete a cargas diversas que presentan alteraciones que se traducen en esfuerzos de torsión de intensidad variable, en vibraciones mecánicas y en ciclos de fatiga que se acumulan para acortar la vida útil de los elementos mecánicos. Por otra parte, las fallas de fatiga son "fallas por tracción", independientemente de si el material es dúctil o frágil, esto está sustentado a través de las teorías de Goodman, Soderberg, Kimmelman, Gerber, entre otras, para determinar el factor de seguridad y obtener los ciclos que soportará dicha pieza ante los esfuerzos alternantes; ya que la pieza estará sometida a vibraciones mecánicas debido al terreno al que estará expuesta durante la operación real, esto producirá cargas que magnifiquen el efecto de la fatiga.

INTRODUCCIÓN

Una de las etapas más importantes en el proceso de diseño de una pieza es el análisis de fatiga ya que se puede determinar de forma precisa la vida útil de los componentes medida en ciclos acumulados de carga. En diversas aplicaciones para elementos de máquinas, tales como cigüeñales, árboles de levas, ejes, bielas y resortes; son sometidos a cargas variables. El comportamiento de los materiales bajo este tipo de carga es diferente a aquel bajo cargas estáticas; mientras que una pieza soporta una gran carga estática, la misma pieza puede fallar bajo una carga mucho menor si se repite un gran número de veces. Los esfuerzos variables en un elemento tienden a producir grietas que crecen a medida que estos se repiten, hasta producir la falla total; este fenómeno se denomina fatiga. Por lo tanto, el diseño de elementos sometidos a cargas variables se debe realizar sustentado por una teoría que considere los factores que influyen en la aparición y desarrollo de las grietas, las cuales pueden producir la falla después de la repetición de los esfuerzos. Estas teorías que estudian el comportamiento de los materiales se conocen como teorías de fatiga. Para este trabajo se emplea el método de esfuerzo-vida [1]

Otro aspecto importante es considerar las distintas teorías de fatiga basadas en los diversos tipos de materiales, así como las diferentes formas en que se aplican las cargas a las que serán sometidos los elementos mecánicos en condiciones de operación. Para el caso de la masa separadora que se presenta en este trabajo las cargas variables simulan las irregularidades en el terreno en que se desempeña el vehículo, los cambios de dirección y velocidad durante el manejo [1]

Este tipo de falla por fatiga fue observado por primera vez en el siglo XIX, cuando los ejes de los carros de ferrocarril comenzaron a fallar después de un corto tiempo de servicio. A pesar de haber sido construidos con acero dúctil, se observó una falla súbita de tipo frágil. Los ejes están sometidos

a cargas que generan flexión y debido al giro del mismo eje, cualquier punto de la periferia pasará por el punto t_1 , soportando un esfuerzo de tracción máximo. Luego pasará por el eje neutro (en t_2) soportando un esfuerzo con valor de cero. Cuando haya girado un cuarto de vuelta más soportará un esfuerzo máximo de compresión (en t_3) ya que estará al otro lado del eje neutro. Un cuarto de vuelta después, el punto pasará nuevamente por el eje neutro (en t_4). Finalmente, el punto regresará a su posición inicial completando un ciclo de esfuerzo, donde comenzará el siguiente ciclo. Por tanto este elemento está sometido a esfuerzos normales cíclicos. Se denomina con el término fatiga a la falla que se presenta en un material sometido a cargas variables después de cierto número de ciclos de carga [2]. En la figura 1 se muestra que el eje giratorio sometido a flexión de cualquier punto en la periferia soporta un esfuerzo que varía desde el máximo (en tracción) hasta el mínimo (en compresión) y viceversa, esto es una variación sinusoidal del esfuerzo en cualquier punto de la sección; en los puntos de la periferia se da la mayor amplitud.

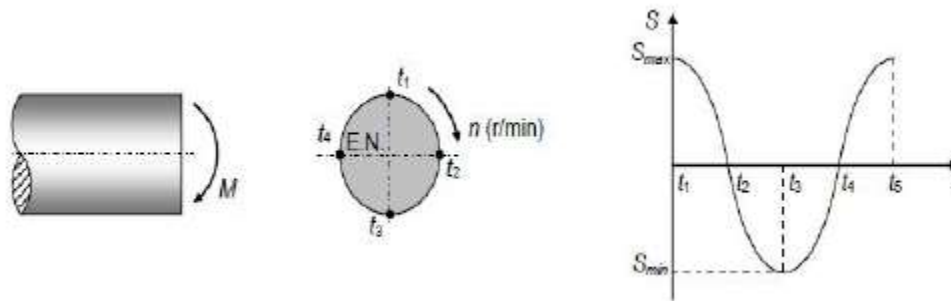


Figura 103 Esfuerzos variables en un eje giratorio sometido a un momento flector constante

TEORÍA

El término fatiga fue usado por primera vez por Poncelet en 1839 para describir la situación de falla de los materiales sometidos a cargas variables. Esto debido a que la falla por fatiga tiene aspecto frágil y se pensaba que el material se había “cansado” y fragilizado después de cierto número de fluctuaciones de esfuerzo. En 1843, Rankine publica resultados acerca de los muñones de ferrocarril cristalizados y fragilizados debido a la fluctuación de los esfuerzos. Aun cuando las piezas se diseñarán por debajo del límite elástico, con un número suficiente de ciclos, las piezas se rompen. El 90% de las piezas que se rompen durante el servicio fallan debido a la fatiga. Esto lo descubrió Wöhler hacia el año 1920 y propuso unos límites a las tensiones de diseño en función del número de ciclos que se requieran para una pieza. Se conocen como curvas de Wöhler o curvas S-N (tensión frente a número de ciclos).

En la rotura por fatiga aparece una microgrieta que crece a medida que se realizan ciclos de carga hasta alcanzar un tamaño tal que la sección residual es incapaz de soportar la carga máxima en el ciclo y el ligamento restante se rompe de forma frágil o dúctil.

La historia de una grieta que se desarrolla en un componente sometido a fatiga tiene típicamente tres etapas: una etapa de iniciación, una etapa de propagación estable y finalmente una propagación acelerada que conduce al fallo del componente.

Estado I

En la superficie se encuentran zonas con altas cargas concentradas que producen deformaciones plásticas en los granos próximos a la superficie. Esta deformación se localiza en bandas persistentes de deslizamiento. Cuando un grano, situado en la superficie se deforma, se genera un escalón en la superficie (ver figura 2), que de inmediato se oxida.

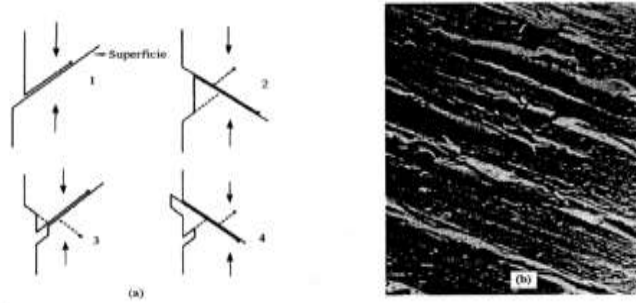


Figura 104 Formación de extrusiones e intrusiones superficiales previas por la iniciación de una grieta.

Estado II

A medida que crece la grieta, pronto descubre que su dirección de crecimiento no es la óptima y que su propagación requiere un menor trabajo si se orienta perpendicular al campo tractivo (modo I). Habitualmente la reorientación de la grieta ocurre cuando la microgrieta ha atravesado unos pocos granos en el material. A partir de este momento su propagación es estable y se ajusta a una ley potencial de intensidad de tensiones, de acuerdo a la ley empírica propuesta por Paris y Erdogan como se observa en la ecuación (1)

$$\frac{da}{dN} = c\Delta k_1^m \quad (1)$$

En donde a es el tamaño de la grieta, N el número de ciclos, C y m constantes que dependen del material y del medio ambiente. A medida que crece el tamaño de la grieta, si las tensiones alternadas son constantes, aumenta ΔK_1 y en consecuencia su velocidad de crecimiento da/dN , tal como se presenta en la figura 3.

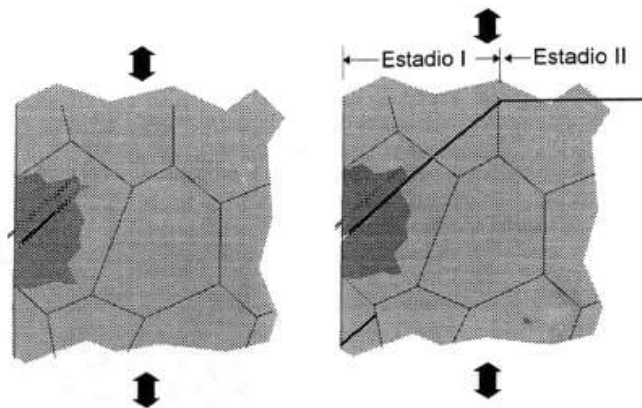


Figura 105 Reorientación de la grieta al modo I en el estado II de fatiga.

Estado III

Cuando el tamaño alcanza un valor determinado conocido como tamaño crítico de grieta, la propagación de la grieta se convierte en catastrófica: la pieza se rompe por clivaje o por coalescencia de micro cavidades. Este último estadio de la fatiga carece de interés porque la velocidad de crecimiento de la grieta es tan grande que el número de ciclos consumidos en este estado apenas y cuentan en la vida de la pieza (figura 4)

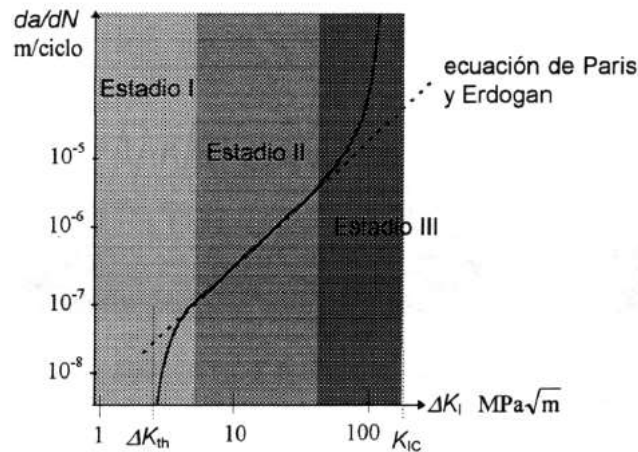


Figura 106 Estados de fatiga sobre un diagrama de Paris.

En el presente trabajo se analizan los efectos de la fatiga en una masa separadora vehicular usada para aumentar la distancia entre centros de los neumáticos, ya que al ser modificada la suspensión presentaba rozamiento con el resorte del amortiguador al girar el volante para cambiar la dirección del vehículo. El elemento mecánico que se analiza está sometido a cargas variables para representar el comportamiento ante las irregularidades del camino. Se realizó el modelo 3D en Solidworks®, como se puede apreciar en la figura 5.

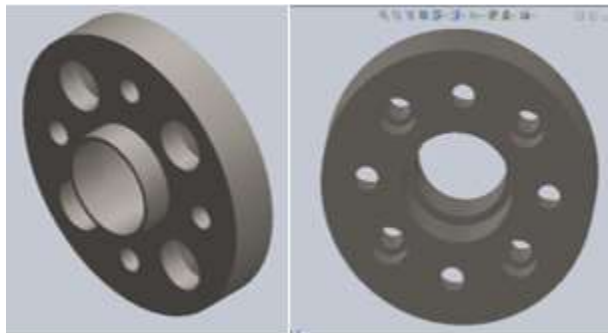


Figura 107 Masa separadora vehicular en Solidworks®

METODOLOGÍA

En esta sección se presenta el modelo matemático empleado para la simulación del efecto de los ciclos de carga acumulados y su impacto sobre el ciclo de vida. En la Figura 6 se presenta uno de los modelos de las diferentes mallas empleadas para discretizar la masa separadora en elementos que describan el comportamiento que presentará esta pieza mecánica en condiciones de operación reales (figura 6)

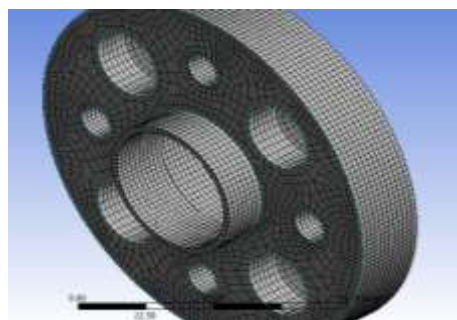


Figura 108 Mallado de la masa

La Figura 7 representa las restricciones y las cargas aplicadas para este análisis.

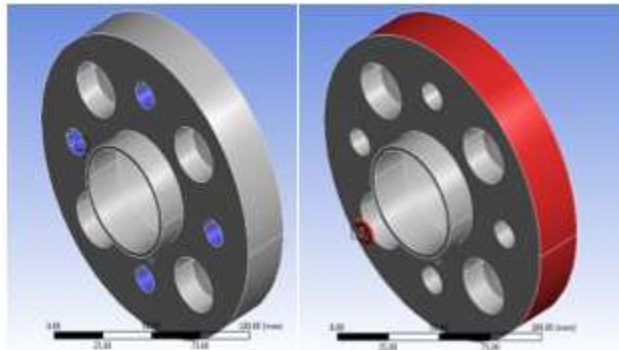


Figura 109 Restricciones y cargas

Para este análisis se utilizó un modelo matemático que sustenta las teorías de fatiga empleadas para realizar los cálculos. La ecuación (2) presenta los límites de resistencia a la fatiga, así como la ecuación (3) para el caso de un acero estirado en frío, sin olvidar los factores que modifican la resistencia a la fatiga y se determinan en la ecuación (4) [1]

$$s'_e = \begin{cases} 0.5s_{ut} \\ 100kpsi \\ 700MPa \end{cases}$$

$$s_{ut} \leq 200kpsi(1400Mpa)$$

$$s_{ut} > 200kpsi$$

$$s_{ut} > 1400Mpa \tag{2}$$

$$s'_e = 0.5S_{ut} = 0.5(630MPa) = 315MPa \tag{3}$$

$$S_e = K_a \cdot K_b \cdot K_c \cdot K_d \cdot K_e \cdot K_f \cdot S'_e \tag{4}$$

Para los factores de superficie K_a (5), de tamaño K_b (6), de temperatura K_c y K_d (7), de confiabilidad K_e (8), de efectos varios K_f (9)

$$K_a = a \cdot (s_{ut})^b \quad K_a = 4.51 \cdot (630)^{-0.265} = 0.8172 \tag{5}$$

$$K_b = 1.51d^{-0.157} \quad K_b = 1.51[0.370(150mm)]^{-0.157} = 0.8037 \tag{6}$$

$$K_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión} \end{cases} \quad K_c = 0.59$$

(7)

$$K_d = \frac{S_T}{S_{RT}} \quad K_d = 1.010 \tag{8}$$

$$K_e = 1 - 0.08Z_a \quad Z_a = 1.288 \quad K_e = 1 - 0.08(1.288) = 0.897 \tag{9}$$

Sustituyendo estos valores para los diferentes factores en la ecuación (2) y calculando, se obtiene

$$S_e = 110.58MPa$$

Usándolo en la ecuaciones de la teoría de Soderberg (10 y 11)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \text{tensión alternada} \quad (10)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \text{tensión media} \quad (11)$$

Tomando un valor promedio, debido a que el vehículo se someterá a fatiga por torsión bajo esfuerzos fluctuantes (12)

$$S_{su} = 0,67S_{ut} \quad (12)$$

Considerando los valores de las tensiones 175MPa como máximo y 50MPa como mínimo para sustituir en (13) y (14)

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} = \frac{175 - 50}{2} = 62.5MPa \quad (13)$$

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} = \frac{175 + 50}{2} = 112.5MPa \quad (14)$$

Entonces con esos valores se obtiene el factor de seguridad:

$$\frac{62.5MPa}{110.58MPa} + \frac{112.5MPa}{422.1MPa} = \frac{1}{n} \quad (17)$$

$$n = \frac{1}{0.9318} = 1.07 \quad (18)$$

Estos cálculos son aproximaciones y su precisión depende de las teorías de fatiga y de los parámetros considerados.

RESULTADOS

Para realizar el análisis de fatiga para el caso presentado se utiliza la herramienta fatigue tool, misma que forma parte del software Ansys Workbench®. Esta herramienta cuenta con las teorías de Tensión-Vida (Strain Life) y Esfuerzo-Vida (Stress-Life). Estas teorías se aplican dependiendo del número de ciclos para los que se diseña. Debido a que un vehículo de rally se somete a terrenos irregulares como terracería, asfalto, entre otros terrenos en mal estado, aunado a la modificación de la distancia entre centros de los neumáticos; se presenta una variación en el torque aplicado.

Un análisis de amplitud constante y carga proporcional consiste en utilizar una relación de cargas que varíen con el tiempo, en lugar de utilizar una sola relación de carga para calcular los valores medios y alternos.

Sin embargo, la carga que acumula ciclos de fatiga para ocasionar el daño máximo no puede ser visualizada fácilmente. Por lo tanto, los cálculos de daños acumulativos (incluyendo ciclo contando como Rainflow y daños suma como la regla de Miner) deben realizarse para determinar y cuantificar el daño por la fatiga y qué combinaciones de ciclos pueden ocasionar ese efecto nocivo que se traduce en daño. El conteo de ciclos es un medio para reducir un historial de carga complejo en una serie de eventos que puede compararse con los datos de prueba de amplitud constante disponibles. El módulo de fatiga emplea una técnica de "conteo rápido" para reducir de manera sustancial el

tiempo de ejecución y la memoria; con esta técnica se alternan las tensiones y se ordenan en contenedores antes de calcular el daño parcial. Sin esta técnica los datos no están ordenados en contenedores hasta después de que se encuentre el daño parcial. La exactitud depende del número de contenedores usados al contar.

El historial de carga empleado se obtuvo a través de los resultados de las matrices de Rainflow y de daño, mismas que son útiles en la determinación de los efectos de los pequeños ciclos de esfuerzo en el historial de carga. Las matrices de Rainflow y de daño ilustran los posibles efectos durante la vida infinita. Ambas matrices se obtienen de la misma carga, pero la matriz de daños se calcula para un diseño de vida de $1e6$ ciclos, y otro análisis para una vida infinita de $1e9$ ciclos. Se generó un número de datos en una macro en Microsoft Excel con archivo de salida .DAT, para después importarlo a ANSYS que lo reconoce como el historial de carga que será aplicado en un intervalo de tiempo.

En la figura 8 se exhibe que la carga está variando con respecto al tiempo, se sabe que la velocidad no será constante en el auto, por defecto la carga está variando.

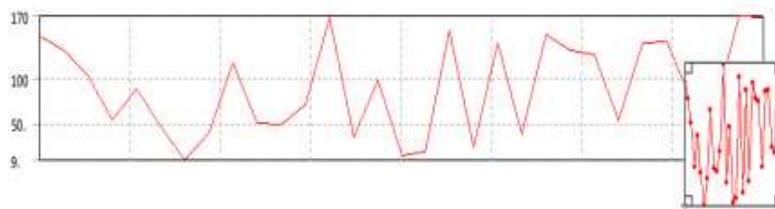


Figura 110 Amplitud no constante, carga proporcional

En este análisis se presentan valores aproximados y arroja $1.1111e8$ ciclos como el valor máximo, tal como se aprecia en la figura 9.

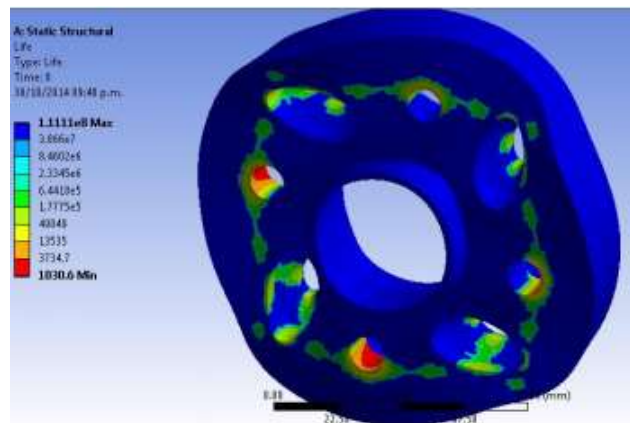


Figura 111 Vida

El efecto de los ciclos de carga traducidos a la escala de daño es relativamente bajo, solo se alcanza a apreciar un daño significativo en las regiones en que se encuentran los concentradores de esfuerzos y donde el valor del esfuerzo máximo es de 970.35MPa ; esto es perceptible en la zona de los barrenos como se aprecia en la figura 10.

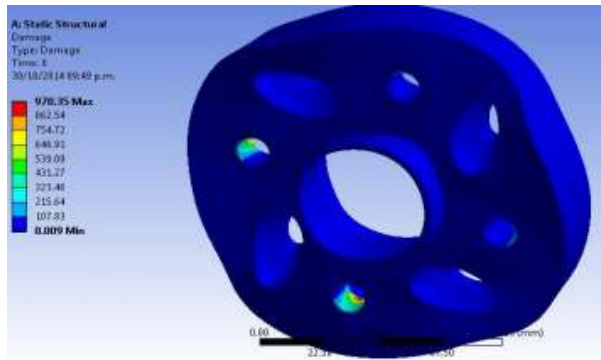


Figura 112 Daño

El factor de seguridad está entre 2.5 y 3.75, mostrando un valor aceptable dentro de los márgenes de seguridad. Para un diseño en que se considera $1e6$ ciclos esta pieza soporta entre 2 y 3 veces el valor de la carga propuesta; como se muestra en la figura 11.

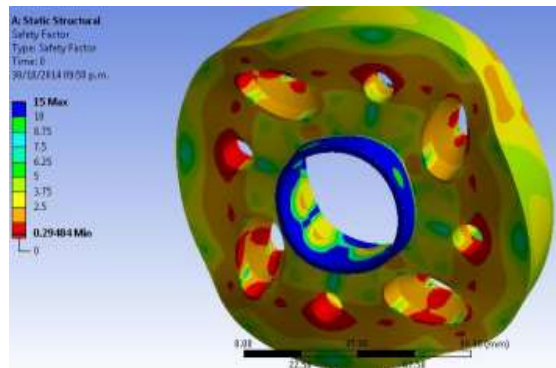


Figura 113 Factor de seguridad

El método de Rainflow para conteo de ciclos extrae la composición de historial de carga de amplitud variable, mientras que el software extrae los picos y valles del historial de carga, equipara las amplitudes del primer punto de datos y del último anexando un punto de datos en caso necesario, detectando picos y reorganizando datos de tal manera que el pico más alto se transforma en el primer y último punto e iniciando el conteo de los picos, como se indica en la figura 12.

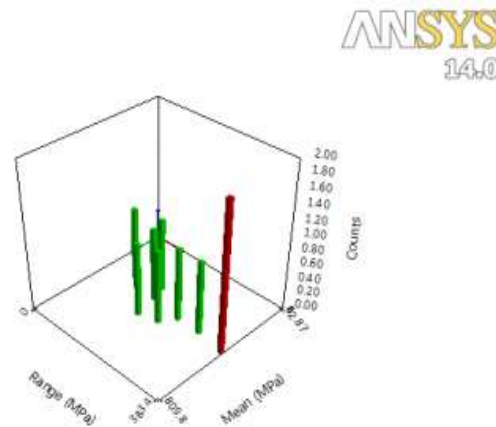


Figura 114 Matriz de Rainflow

La matriz de daños (figura 13) es una gráfica en que se aprecia de manera clara el daño acumulado por efecto de los ciclos de carga a que se somete la pieza. El daño calculado es de 0.19 para 1e6 ciclos; de igual manera el daño para 1e9 ciclos se presenta de 0.12; es decir 37% menor. [3]

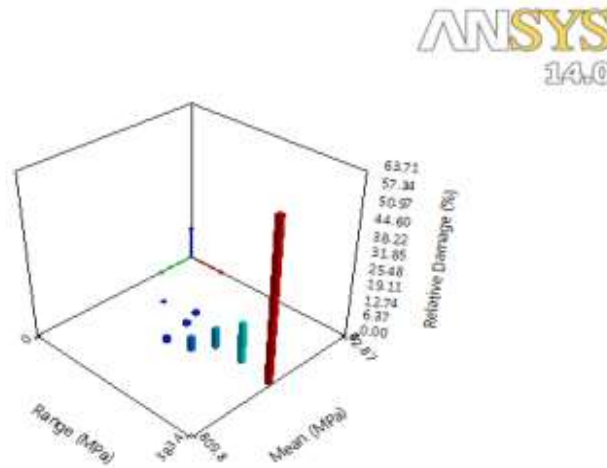


Figura 115 Matriz de daño

En la figura 13 se presenta la gráfica que describe el comportamiento de los resultados con la variación de la carga en un lugar crítico.

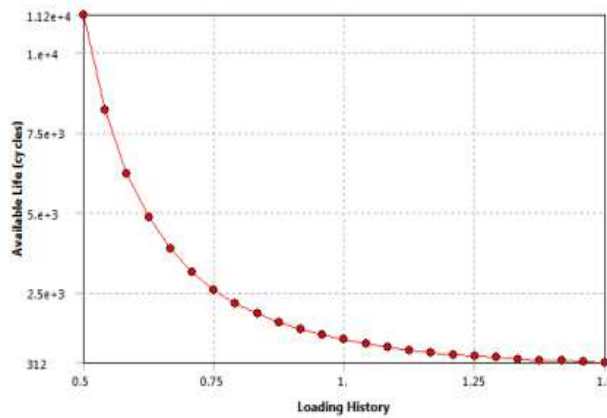


Figura 116 Sensibilidad a la fatiga

CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos después de los análisis se observa que el funcionamiento durante la vida total del elemento puede ser seguro, ya que presenta muy pocos daños. El valor obtenido para el parámetro de vida total que se obtiene está dentro de un rango aceptable, tomando en cuenta algunas consideraciones ideales y ajustando a través de aproximaciones basadas en las teorías mencionadas. Otro aspecto importante que se concluye es acerca del factor de seguridad, mismo que se encuentra dentro del rango aceptable para ser considerado seguro.

Tomando en consideración que las simulaciones son aproximaciones de fenómenos reales, se debe buscar acercar y ajustar los parámetros para obtener resultados cada vez más cercanos y cotejarlos con los resultados experimentales. Se deben buscar alternativas en cuanto a los materiales empleados para el diseño y explorar diferentes configuraciones geométricas para incrementar el factor de seguridad y aumentar la vida útil de la masa separadora que es objeto de estudio en este trabajo.

En trabajos futuros se deben incluir los efectos de la fatiga térmica para dictaminar su influencia en el ciclo de vida de la masa en condiciones reales de operación.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. N. R.G. Budynas, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, México: McGraw-Hill, 2012.
2. R. L. Mott, Diseño de Elementos de Máquinas, México: Prentice-Hall (Pearson), 2006.
3. R.-. L. Bowel, «Predicting Fatigue Life with ANSYS,» ANSYS, [En línea]. Available: https://www.google.com.mx/webhp?source=search_app&gws_rd=cr&ei=v_SpUsbOMcGokQeU44GoCw#q=Predicting+Fatigue+Life.

REMOCIÓN DE CROMO HEXAVALENTE PROVENIENTE DE UN LIXIVIADO INDUSTRIAL MEDIANTE UN COMPÓSITO DE BIOCARBÓN IMPREGNADO CON MAGHEMITA

Elsa J. Corona Rivera, Arodí Bernal Martínez, Germán Cuevas Rodríguez.

Universidad de Guanajuato, Campus Guanajuato. División de Ingenierías. Avenida Juárez 77, Zona Centro, 36000 Guanajuato, Gto.
ej.coronarivera@ugto.mx

RESUMEN

El cromo hexavalente (Cr (VI)), es uno de los contaminantes tóxicos de máxima prioridad, porque afecta a todos los organismos vivos debido a su carcinogenicidad, bioacumulación y no biodegradabilidad. Puede provenir de actividades antropogénicas que producen residuos sólidos, los cuales generalmente terminan en lugares conocidos como sitios de disposición final, estos sitios, llamados tiraderos, en su mayoría no tienen algún control sanitario y genera daño al entorno.

El líquido que desprenden estos lugares, llamado lixiviados, provoca una de las mayores afectaciones al ambiente ya que puede infiltrarse en suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan contaminando así cuerpos de agua o suelo. Entre los diversos métodos de remediación del cromo, la adsorción por biocarbón, se prefiere debido a su efectividad, simplicidad y economía.

El biocarbón es obtenido pirolizando biomasa en condiciones anóxicas, se considera un tipo de adsorbente eficaz y ha sido ampliamente utilizado para adsorber metales pesados y contaminantes orgánicos de soluciones acuosas. Sin embargo, las aplicaciones del biocarbón como adsorbente, están restringidas debido a sus funciones limitadas, heredadas de la materia prima después de la pirolisis.

Por lo tanto se han desarrollados nuevos materiales llamados compósitos que se forman por la unión de dos o más materiales para conseguir mejorar sus propiedades.

En el presente trabajo se sintetiza un compósito a base de biocarbón y de maghemita para la eliminación de Cr (VI) presente en un lixiviado industrial, posteriormente se harán pruebas de adsorción para determinar el porcentaje de remoción y determinar las mejores condiciones de adsorción.

Se obtuvo lixiviados con alto contenido de Cr(VI) de una empresa química en la ciudad de León, el biocarbón se sintetizó mediante una pirólisis lenta, a 400 °C durante 2 h y la biomasa que se utilizó fue olote de maíz debido a la alta disponibilidad en la región, posteriormente se hizo una impregnación de maghemita (γ -Fe₂O₃) mediante una coprecipitación química a 80 °C usando como precursores cloruro ferroso y cloruro férrico a pH 10, con agitación constante durante 1 h, después se agregó 10.5 g de biocarbón.

Después se realizaron las pruebas de adsorción a pH 2, variando la concentración inicial de Cr (VI) (200, 100, 75, 50, 25 y 10 mg/L) y la concentración del adsorbente (4, 2, 1 y 0.5 g/L), se midió la concentración de Cr (VI) al tiempo 0, 1, 2, 3, 24, 48 y 72 h. Se comparó el biocarbón con el compósito sintetizado.

Se tuvo un 28.4% de rendimiento de la biomasa después de la pirólisis, la concentración de Cr (VI) en el lixiviado fue de 5830.5 mg/L.

Los resultados obtenidos en las pruebas de adsorción sugieren que la concentración en la que se muestra una diferencia significativa, según el análisis estadístico ANOVA, entre el biocarbón y el compósito fue con 1 g/L de adsorbente. Para 10 mg/L de Cr (VI) removió el 100% y para 200 mg/L removió un 70% en comparación con el biocarbón que removió un 80 y un 55% respectivamente.

INTRODUCCIÓN

Entre los problemas ambientales del mundo, la escasez del agua se ha convertido en el principal problema al que se enfrenta la especie humana. En las próximas décadas el rápido crecimiento de la población seguirá intensificando la demanda de agua limpia para uso doméstico, agrícola, industrial y energético. Para 2025, se estima que el 50% de la población mundial vivirá en áreas con estrés hídrico (OMS, 2014). Hasta 2015, solo alrededor del 20% de las aguas residuales mundiales se trata adecuadamente.

Una de las principales fuentes de contaminación de los cuerpos de agua son las industrias, ya que la mayoría vierte sus residuos sin un tratamiento adecuado y generalmente terminan en lugares conocidos como sitios de disposición final. Estos sitios suelen clasificarse de la siguiente manera; relleno sanitario, vertidos a cuerpos de agua y vertidos en terreno. Estos últimos son los más utilizados y desprenden un líquido que provoca una de las mayores afectaciones al ambiente. Y son conocidos como lixiviados. El lixiviado proviene de los residuos heterogéneos en composición y arrastra todo tipo de contaminantes muchos de ellos en concentraciones elevadas, por lo que son muy difíciles de tratar (Luna et al., 2007), ya que contiene concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos incluyendo metales pesados y sales inorgánicas.

Uno de los contaminantes inorgánicos más tóxicos es el Cr (VI) e industrias como la galvanoplastia, de fertilizantes, de curtido y acabado de cuero, acero y textil son las industrias que contribuyen a la contaminación por este metal al más alto nivel. Los compuestos con Cr (VI) son tóxicos, en niveles no letales, y se considera carcinógeno debido a su mayor potencial de oxidación y la fácil permeabilidad a través de las membranas biológicas, además de producir daño a la piel, el tracto respiratorio, los riñones y afectar la fertilidad.

Para la eliminación de cromo de los sistemas acuosos, la adsorción es muy efectiva en comparación con otros métodos. Uno de los adsorbentes utilizados ampliamente para la eliminación de iones metálicos pesados de medios acuosos son las nanopartículas, debido a su gran área superficial y sitios de superficie altamente activos. Debido a las propiedades magnéticas de algunas nanopartículas de hierro, se pueden separar fácilmente del efluente mediante un campo magnético después del proceso de adsorción. Además, se puede usar como material de recubrimiento de superficie para mejorar las propiedades de los adsorbentes como el biocarbón. En diversos estudios se usaron nanopartículas para la remoción de cromo, sin embargo se observó que se formaban agregados que impedían una mayor remoción de Cr (VI).

El biocarbón es un sólido rico en carbono derivado de la pirolización de biomasa con poca presencia de oxígeno, generalmente se produce a partir de residuos de cultivos, de madera o de animales. Presenta un gran potencial para adsorber contaminantes debido a su amplia disponibilidad de materia prima, características de superficie fisicoquímicas favorables y bajo costo de producción (Xiao et al., 2016).

Recientemente, se desarrollaron diferentes materiales compuestos basados en biocarbón para eliminar contaminantes acuosos y combinar las ventajas del biocarbón con las nanopartículas. Existen múltiples ventajas de usar biocarbón como material de sustrato para la producción de compósito. En primer lugar las materias primas para la producción de biocarbón son abundantes y de bajo costo, la producción de biocarbón es barata con bajos requerimientos de energía, que generalmente se produce a temperaturas bajas ($< 700\text{ }^{\circ}\text{C}$) y disminuye las desventajas que cada desventajas que cada material presenta por separado.

Además, el tratamiento termoquímico de la biomasa puede generar biocombustible y biogás, por lo tanto, la síntesis de compósitos basados en biocarbón pueden lograr cuatro objetivos: la eliminación de contaminantes, la gestión de residuos, el secuestro de carbón y la producción de energía (Zhu et al., 2018).

En el presente trabajo se pretende elaborar un compósito formado por biocarbón elaborado con olotes mediante una pirólisis lenta y la impregnación de maghemita para posteriormente realizar pruebas de adsorción para determinar el porcentaje de remoción para analizar si presenta una mejoría respecto al biocarbón sin impregnar.

PARTE EXPERIMENTAL

Caracterización del lixiviado

El muestreo del lixiviado se realizó de una industria química de la ciudad del León, Guanajuato, en abril del 2014. Las muestras de lixiviados se tomaron de los cárcamos, así como de los canales de recolección que se encuentra debajo de la montaña de residuos peligrosos que se encuentran en esta industria.

Las muestras fueron almacenadas y enviadas posteriormente para su análisis al laboratorio de análisis químico del CIMAV (Centro de Investigación en Materiales Avanzados), laboratorio certificado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Los análisis de los metales se realizaron

por Espectrofotometría de Emisión por Plasma Inductivamente Acoplado (ICP) y el Análisis Elemental se realizó con un Analizador Elemental (AE).

Se determinó en el laboratorio; el pH, sólidos totales (ST), sólidos suspendidos totales (SST) y conductividad eléctrica siguiendo la normatividad mexicana.

Para determinar la concentración de Cr (VI) se utilizó el procedimiento señalado en la NMX-AA-044-SCFI-2014, donde se realizó una curva de calibración con estándares a diferentes concentraciones de Cr (VI) (5, 10, 20, 30, 40 y 50 mg/L) y se mide espectrofotométricamente a longitud de onda 540 nm.

Preparación del biocarbón

Se recolectó 151g de olote, se lavó con agua de la llave para eliminar el polvo y se secó en un horno a 105 °C durante 24 y después se trituró.

Con una relación 1:6 (olote: disolvente) se realizó una desmineralización ácida, aplicando HNO₃ 6N como agente lixivante, con agitación constante durante 30 min. Posteriormente, se enjuagó con agua destilada y finalmente se deshidrató por 72 h (Mourant et al., 2011).

Para la pirólisis, el material secado se colocó en crisoles de porcelana con tapa para garantizar una atmosfera baja en oxígeno y se calentó en una mufla a 400 °C durante 120 min. Posteriormente se enfrió a temperatura ambiente bajo una atmosfera sin oxígeno. Después, el residuo se molió y se pasó a través de un tamiz de 0.250 mm. Finalmente, se determinó el rendimiento de la biomasa mediante la ecuación (1), (Sun, et al., 2015).

$$y_m = \frac{m_{carb}}{m_{biom}} \cdot 100\% \quad (1)$$

Donde, y_m es la relación de la masa de producto carbonizado m_{carb} a la masa de biomasa cruda m_{biom} y, por lo tanto, describe la cantidad de masa original que queda en el residuo sólido de la pirólisis.

Impregnación de maghemita

El biocarbón se trató con HCl concentrado a una temperatura de 30 °C con agitador magnético durante 24 h y posteriormente se lavó con agua destilada a pH neutro. La impregnación se realizó mediante coprecipitación química a una temperatura de 80 °C. Se disolvió cloruro ferroso y cloruro férrico y posteriormente se añadió NaOH 5 M para ajustar el pH a 10, posteriormente se adicionó a la mezcla el biocarbón.

La mezcla se separó posteriormente por centrifugación y el precipitado se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante (Sun, et al., 2015), el producto formado se nombró I-BC.

Experimentos de remoción

En la última etapa se realizó las pruebas de adsorción, las cuales se realizaron en botellas serológicas. A cada botella se le añadió 100 ml de la solución que contiene Cr (VI) que proviene de un lixiviado con alta concentración de este metal pesado, con concentraciones iniciales de 10, 25, 50, 75, 100 y 200 mg/L y 2 g/L del biocarbón. Se agitó a 250 rpm a temperatura ambiente con toma de muestra a 0, 1, 2, 3, 24, 42 y 72 h. Cada muestra se filtró (0.22 µm) y se determinó tanto el pH como la concentración de Cr (VI) por el método de la difenilcarbazida.

Se calculó el porcentaje de remoción de acuerdo a la ecuación (2).

$$\%R = \left(\frac{C_0 - C_f}{C_0} \right) * 100$$

(2)

Donde, C_0 y C_f son respectivamente la Concentración inicial y final de Cr (VI) (mg/L).

RESULTADOS

Caracterización de lixiviados.

En la tabla 1 se muestra las características fisicoquímicas de los lixiviados obtenidos de la industria química.

Generalmente, las muestras típicas de lixiviados tienen un rango de pH entre 4.5 y 10 (Umar et al., 2010), el pH del lixiviado fue de más de 12, es decir, muy básico. La alta conductividad está relacionada con la alta concentración de sodio, ya que fue de poco más de 800 mg/L.

Representa un alto grado de toxicidad respecto a la norma mexicana NOM-052-SEMARNAT-2005 (que establece las características, el procedimiento de identificación, clasificación y los listados de los residuos peligrosos) que establece un límite máximo permisible de 5 mg/L de Cromo en el extracto PECT, es decir más de 1000 veces mayor.

Tabla 39: Caracterización fisicoquímica de los lixiviados de la industria química.

Parámetro	Unidad	Resultado	Parámetro	Unidad	Resultado
pH		12.97 ± 0.01	Cr (VI)	mg/L	5830.5 ± 21.2
Conductividad eléctrica	mS/cm	128.4 ± 1.2	Na	mg/L	8030
ST	g/L	75.01 ± 0.85	Ca	mg/L	1.82
STV	g/L	10.41 ± 0.35	K	mg/L	273.48
STF	g/L	64.60 ± 0.43	Pb	mg/L	< 0.05
SDT	g/L	73.81 ± 0.59	Mg	mg/L	0.11
SDV	g/L	10.16 ± 0.36	Ni	mg/L	< 0.05
SDF	g/L	63.65 ± 0.30	Cu	mg/L	< 0.05
SST	g/L	1.20 ± 0.14	Mo	mg/L	< 0.05
SSV	g/L	0.25 ± 0.01	Sb	mg/L	14.11
SSF	g/L	0.95 ± 0.13	Fe	mg/L	< 0.05

Pruebas de adsorción

El rendimiento de la biomasa fue de 28.4%, la bibliografía muestra que para temperaturas de pirólisis entre 400 a 800 °C, son posibles rendimientos de masa máximos de aproximadamente 30% (Weber, et al., 2018), por lo que se obtuvo un buen rendimiento con la biomasa seleccionada y con una temperatura de 400 °C.

Al realizar las pruebas de adsorción con las diferentes concentraciones de adsorbente y al realizar el análisis estadístico ANOVA se observa que los mejores porcentajes de remoción, donde el compósito es presenta mejores resultados que el biocarbón, es con una dosis de adsorbente de 1 g/L.

En la figura 1 se muestran los resultados de las pruebas de adsorción en porcentaje de remoción de Cr (VI), se puede observar que el máximo de remoción para una concentración inicial de 10 mg Cr (VI)/ L es de 100 % en un tiempo de 29 h, para 25 mg Cr (VI)/L remueve el 58 % pero en un tiempo de 48 h. Para concentraciones iniciales de 50, 75 y 100 mg Cr (VI)/ L fue de 95.5, 78.8, 73.5 % respectivamente para un tiempo de 72 h y con 200 mg Cr (VI)/L se observa que se satura más rápido los sitios activos, ya que el máximo de remoción fue de 69.7% en un tiempo de 3 h, después empieza a aumentar la concentración de Cr (VI), es decir empieza a haber una desorción,

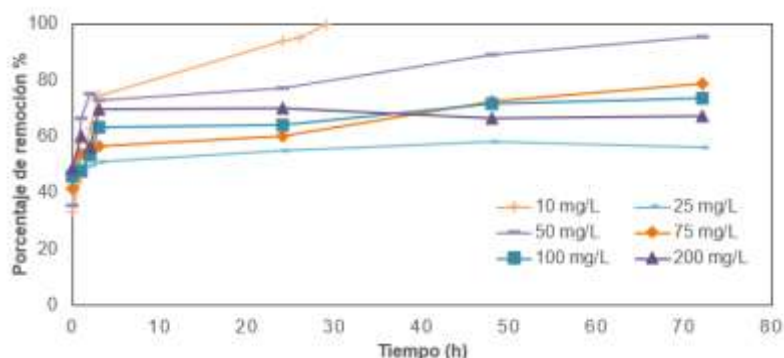


Figura 117: Porcentaje de remoción de Cr (VI) con diferentes concentraciones iniciales, a pH 2 y 1 g/L de compósito.

En la figura 2 se muestran los resultados de las pruebas de adsorción en porcentaje de remoción de Cr (VI) para el biocarbón sin modificar, se observa que no alcanza el 100% de remoción, los resultados obtenidos fueron de 80, 55, 58, 59.45 y 52 % para las concentraciones de 10, 25, 50, 75, 100 y 200 mg/L respectivamente en un tiempo de 72 h.

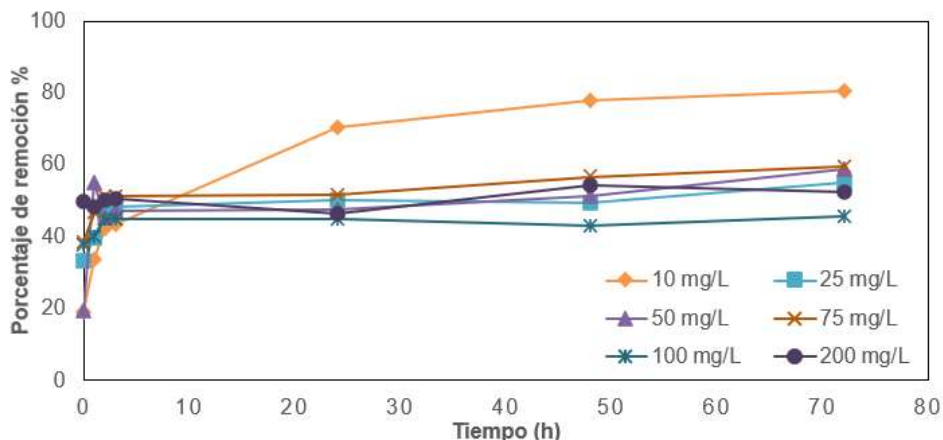


Figura 118: Porcentaje de remoción de Cr (VI) con diferentes concentraciones iniciales, a pH 2 y 1 g/L de biocarbón

En la tabla 2 se muestra los resultados obtenido con otros biocarbones, pero removiendo Cr (VI) de una solución de dicromato de potasio. Los resultados de otras investigaciones muestran que hay un mayor porcentaje de remoción, sin embargo las dosis de adsorbente son de 5 a 10 veces mayor y es importante mencionar que en este trabajo se utiliza un lixiviado real de una industria, por lo que se obtuvo un buen porcentaje de eliminación.

Tabla 40: Comparación de la eficacia de eliminación de Cr (VI) con diferentes biocarbones.

Adsorbente	pH	mg Cr (VI) /L inicial	% Remoción Cr (VI)	Dosis de adsorbente g/L	Referencia
Biocarbón de olote magnético	3	10	85	0.5	Hoang, (2019)
Biocarbón de madera-maghemita	2	50	100	10	Feng, (2020)
BC de olote	2	50	93	10	Gupta, (2018)
Biocarbón-maghemita	2	50	96	1	Este estudio
Biocarbón de olote	2	50	97	4	Este estudio

Se observa que el compuesto sí tuvo mejor porcentaje de remoción que sus componentes por separado. También se observa que el biocarbón sin impregnar tiene resultados similares al compuesto utilizando 4 veces más adsorbente, por lo al utilizar el compuesto se disminuyó la cantidad de adsorbente.

Isotermas de adsorción

Se utilizaron los modelos de Freundlich y Lagmuir para simular las isotermas de adsorción. El modelo de Freudlich asume que la adsorción ocurre en una superficie adsorbente heterogénea por adsorción multicapa, mientras que el modelo de Lagmuir sume adsorción monocapa en una superficie homogénea sin interacción entre las moléculas adsorbidas (Foo et al., 2009).

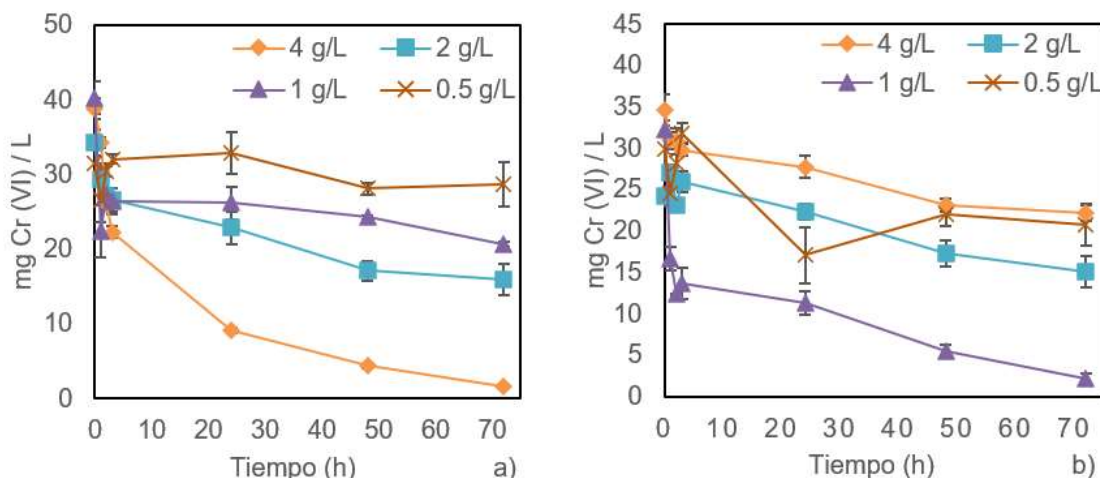


Figura 119: Efecto de la concentración del adsorbente. a) del biocarbón, b) del compuesto.

En la figura 3 se muestra el efecto de la concentración del adsorbente en la remoción del Cr (VI), se observa que hay una mejor adsorción para el biocarbón con dosis mayores del adsorbente a diferencia del compuesto en donde se obtuvo mejores resultados con dosis menores, al realizar el ajuste de las isotermas de adsorción los 634arámetros de los modelos de Freundlich y Lafmuir se enumeran en la tabla 3.

Tabla 41: Constantes de isotermas de adsorción de Langmuir y Freundlich y coeficientes de correlación.

	Lagmuir			Freundlich		
	Q ⁰ (mg/g)	B (10 ⁻² , L/mg ⁻¹)	R ²	K _f ((mg/g/(mg/L) ⁿ)	n	R ²
BC	2.17	0.11	0.86	0.21	1.53	0.92
I-BC	2.57	0.47	0.71	2.02	4.50	0.95

Aparentemente, el modelo de Freundlich (R² = 0.92 y 0.95) proporcionó mejores ajustes para las isotermas de adsorción que el de Lagmuir (R² = 0.86 y 0.71), lo que implica una adsorción por multicapa y que existen sitios activos heterogéneos en el biocarbón. La constante n nos indica la intensidad de adsorción y para que represente una buena intensidad de adsorción debe estar en un rango ente 1 y 10 (Masel, 1996) y se observa que entra en este rango y que para el compuesto es mayor que para el biocarbón.

CONCLUSIONES

Se tuvo un 28.4% de rendimiento de la biomasa después de la pirólisis, la concentración de Cr (VI) en el lixiviado fue de 5830.5 mg/L.

Los resultados obtenidos en las pruebas de adsorción sugieren que la concentración en la que se muestra una diferencia significativa, según el análisis estadístico ANOVA, entre el biocarbón y el compuesto fue con 1 g/L de adsorbente. Para 10 mg/L de Cr (VI) removió el 100% y para 200 mg/L removió un 70% en comparación con el biocarbón que removió un 80 y un 55% respectivamente.

El modelo de isoterma que más se ajusta es de Freundlich, lo que implica una adsorción por multicapa y con sitios activos heterogéneos. El compuesto presenta mejores resultados de adsorción a menores dosis que el biocarbón.

BIBLIOGRAFÍA

1. Feng, Y., Liu, P., Wang, Y., Finprock, Y., Xie, X., Su, C., Liu, N., Yang, Y., Xu, Y. 2020. Distribution and speciation of iron in Fe-modified biochars and its application in removal of As(V), As(III), Cr(VI), and Hg(II): An X-ray adsorption study. *Journal of Hazardous Materials*. 384, 121342.
2. Foo, K., Hameed, B., 2009. Insights into the modeling of adsorption isotherm systems. *Chemical Engineering Journal*. 156. 2-10T. Kreis, "Speckle Metrology," in *Holographic Interferometry* (Akademie Verlag Inc., New York, NY, 1996), Chapter 4, pp. 125-149.
3. Gupta, G., Ram, M., Bala, R., Kapur, M., Mondal, M., 2018. Pyrolysis of chemical treated corncob for biochar production and its application in Cr(VI) removal. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. 37. 5. 1606-1617.
4. Hoang, L., Van, H., Nguyen, L., Mac, D., Vu, T., Ha, L., Nguyen, X. 2019. Removal of Cr (VI) from aqueous solution using magnetic modified biochar derived from raw corncob. *Royal Society of Chemistry*. 43, 18663-18672.
5. Luna, Y., Otal, E., Vilches, L., Vale, J., Querol, X., Fernández, C., 2007. Use of zeolitised cal fly ash for landfill leachate treatment: A pilot plant study. *Waste Management*. 27. 1877-1883.
6. Masel R. 1996. Principles of adsorption and reaction on solid surfaces. Wiley-Interscience publication, England.
7. Mourant, D., Wang, Z., He, M., Wang, X., García, M., Ling, K., Li, C., 2011. Mallee wood fast pyrolysis: Effects of alkali and alkaline earth metallic species on the yield and composition of bio-oil. *Fuel*. 90. 2915-2922.
8. Sun P, Hui C, Azim Khan R, Du J, Zhang Q, Zhao YH. 2015. Efficient removal of crystal violet using Fe₃O₄-coated biochar: the role of the Fe₃O₄ nanoparticles and modeling study their adsorption behavior. *Sci Rep*. 29;5: 12638. doi: 10.1038/srep12638.
9. Umar, M., Aziz, H. A., & Yusoff, M. S. (2010). Variability of parameters involved in leachate pollution index and determination of IPI from four landfills in Malaysia. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010, 1-6.
10. Weber, K., Quicker, P., 2018. Properties of Biochar. Review article. *Fuel*. 217. 240-261.
11. Xiao, T., Yun, L., Yan, G., Yan, X., Guang Z., Xin, H., Shao, L., Xin, W., Si, L., Jiang, L., 2016. Biochar-based nano-composites for the decontamination of wastewater: A review. *Bioresource Technology*. 212. 318-333.
12. Zhu, Y., Li, H., Zhang, G., Meng, F., Li, L., Wu, S., 2018. Removal of hexavalent chromium from aqueous solution by different surface-modified biochars: Acid washing, nanoscale zeo-valent iron and ferric iron loading. *Bioresource Technology*. 261. 142- 150.

UNA MIRADA A LAS HERRAMIENTAS LEVEY-JENNINGS Y REGLAS WESTGARD PARA PRUEBAS INICIALES DE DESEMPEÑO EN SISTEMAS CERTIFICADOS O ACREDITADOS

Gabino Estevez Delgado¹, Itzia Alejandra Bonilla Paz², Alonzo Garibay Tapia³

¹Facultad de Químico Farmacobiología, UMSNH, ²Centro de Innovación y Desarrollo Agroalimentario de Michoacán A.C., ³ISSSTE.
gabino.estevez@umich.mx

RESUMEN

De manera tradicional el ingreso a una empresa era avalado por una formación académica que podía ser validada por la emisión de un documento registrado ante la Secretaría de Educación y que en ocasiones a la par para poder ser considerado competente estaba acompañado por un tiempo de experiencia laboral, comúnmente dos años de servicio. Sin embargo, se ha observado que en la práctica laboral tanto un título profesional o la experiencia de dos años de servicio son elementos que se convierten en subjetivos, si bien las condiciones de legalidad para sustentar un resultado lo puede permitir una cédula profesional, no siempre esto indica la competencia profesional para atender un resultado emitido; la máxima de tener que considerar que un profesionista tiene que pasar por un periodo de trabajo para ser competente es un elemento cuestionable, en tanto que habrán habilidades no genéricas que demandarán competencias específicas, que a su vez demandan periodos de tiempo diversos. Por otro lado, las universidades en los últimos años han modificado sus modelos educativos, de tal forma, que la educación les provee de habilidades para gestionar su propio conocimiento. Es indudable que hay competencias que se requieren y que no se están monitoreando con una medición que nos acerque a si se tiene la competencia o si después de pasar un periodo al interior de la empresa se han adquirido las competencias, un caso particular lo vive el sector salud, en la que periodos al interior de un laboratorio u hospital pareciera garantizar que se tienen las habilidades de autogestión del conocimiento para enfrentar otros retos y es aquí donde los procesos de gestión de la calidad deben indagar sobre el proceso, para la norma ISO 9001 el estudio de las partes interesadas debe de atender no solo la necesidad del cliente sino de proveer de mediciones de quién y cómo se va a proveer de servicios de calidad. Después de revisar en otros campos de acreditación de servicios, se observa que las condiciones de los sistemas de gestión, permiten adecuar condiciones de mediciones de procesos normalizados a fin de poder dar acompañamiento de las mediciones reguladas por competencias laborales para poder verificar el cumplimiento de una actividad determinada, las cuales se analizan a través de reglas Levey-Jennings, siendo de vital importancia para algunas empresas el desarrollo de habilidades y de no lograrse invertir en acciones que permitan cumplir con un objetivo, condición que se puede aprovechar mediante las reglas Westgard, ampliamente usadas en control de procesos, antes de incorporar personal a tareas específicas. Se concluye la compatibilidad en el análisis categorizando en acciones a tomar en los procesos formativos.

INTRODUCCIÓN

El entorno laboral es una preocupación constante de jóvenes que están por concluir sus estudios universitarios, surgiéndoles diversas dudas sobre su futuro, lo que se ha acentuado a raíz del confinamiento social. En los últimos meses, varias actividades han recaído en escenarios de simulación virtual en entornos digitales que intentan generar competencias en los estudiantes ante la difícil situación de no exponerse ante riesgos de contraer el virus SARS-CoV-2. Sin embargo, la preocupación se ha extendido a las empresas que contratan a los jóvenes profesionistas recién egresados. Hasta hace unos años se había generalizado una práctica laboral que señalaba que la contratación de personal obedecía a reglas no escritas o justificadas del todo, como es el caso de exigir un determinado tiempo de experiencia para poder ingresar a realizar determinadas tareas, debido a que al parecer las universidades no daban las competencias necesarias para incorporarse al mundo laboral, derivado de ello en las década de los 70's del siglo pasado surge un modelo llamado por competencias, que intentaba acotar estas limitantes que tenía el recién egresado. Desde luego, la respuesta por parte de las instituciones no fue general y mucho menos medible de manera inmediata, requirió de un tiempo para poder ver la efectividad del modelo (Martínez, M., 2019).

Alrededor de los modelos por competencias se ha visto plasmada una necesidad apremiante por responder a los retos sociales y particularmente que permitan al egresado integrarse de manera exitosa al ámbito laboral, pero cuidando el espacio psicoemocional del que estamos ligados en el propio crecimiento. Para 1997, Delors planteaba requerimientos alrededor de estos modelos (Deolors, J., 1997), sustentando pilares sobre los que debería descansar la educación por competencias que diera respuestas a estas necesidades: aprender a conocer, condición que en su generalidad de manera histórica se desarrollaba, aunque un tanto conductista lo que limitaba el desarrollo de algunos saberes; aprender a hacer, un condicionante que ha limitado la inserción inmediata al entorno laboral a tener que dar respuestas a las actividades específicas demandadas por las empresas, aun en el mismo marco del emprendedurismo; el aprender a vivir, lo que implica la consideración social de la cooperación para poder encuadrar socialmente con el entorno; y el aprender a ser que conlleva el tener que generar condicionante para la integración de las otras, pero con desarrollo axiológico e inclusive ético del saber ser. La integración de toda esta serie de pilares no ha sido fácil de reconocer, particularmente en algunas áreas del conocimiento que se han visto limitadas por la dificultad de la transversalidad con áreas del conocimiento y que finalmente debe de verse reflejado en la productividad laboral, **después de todo** del cono de las acciones educativas vertidas en la formación de un individuo convergen en vértice del desempeño laboral, es allí donde veremos si las acciones han sido adecuadas, y son las respuestas lo que darán la medida del desempeño educativo: ¿el profesionista tiene los conocimientos necesarios para poder atender las tareas específicas?, ¿Su formación universitaria le permitirá integrar nuevos saberes, sin tener que apostarle a la máxima de la experiencia de varios años antes de considerarse apto para el trabajo?, ¿será capaz de responsabilizarse con acciones de liderazgo en la atención ética y moral de su entorno profesional?, ¿podrá actuar con responsabilidad para reconocer cuando los errores cometidos le pueden llevar a una mejora continua?, no menos importante son aquellas interrogantes psicosociales relacionadas con la capacidad de ser feliz con lo que se hace y cómo se trastoca el entorno afectivo con su entorno, finalmente el ser humano esta dimensionado para cumplir con roles y exigencias múltiples definido en el propio contexto de corrientes de la inteligencia (Gardner, H., 1995).

En varias ocasiones la especialización docente ha limitado el desarrollo de las competencias laborales, debido a que, en ocasiones, pese al discurso no hay una actualización real de lo que demanda el sector productivo al que se integrara el egresado, lo que diezma la capacidad de lo que puede realizar, su remuneración económica al corto plazo, la posibilidad de tener un acceso a puestos de alto mando, entre otros elementos. Si bien es cierto que los programas educativos que cuentan con certificaciones o acreditaciones realizan estudios de egreso y de empleadores, este esfuerzo se diluye ante la capacidad que se pueda tener en cambiar la currícula y más tardío si esos cambios deben de medir el efecto de las exigencias laborales (Mesquita, I., 2011).

En tanto que las universidades debaten en el cómo hacer y qué hacer para acortar las exigencias laborales, las empresas se llegan a ver limitadas en la contratación de personal, porque, aunque ha habido un aumento de egresados de programas educativos acreditados esto no da respuesta a los estándares de calidad. Por otro lado, las empresas que mantienen sistemas de gestión de la calidad implantados ven preocupante la realidad que tiene que enfrentar ante la falta de competencias de los profesionistas, lo que repercute en sus indicadores de calidad y de las partes interesadas de su propio sistema de calidad. Sin embargo, están las otras empresas que van mitigando sus necesidades con una infraestructura dentro de lo que legalmente les permite el sistema legal en México en materia laboral (Vega, S., 2020).

Si bien el problema de competencias laborales no es privativo de las empresas en México, ni exclusivo de un rubro principal (Van, M., 2021), si es una tarea que socialmente nos compete a todos y que demanda acciones, un apartado principal es el de medir en dos momentos la inserción laboral, y que para las empresas certificadas o acreditadas recae en la contratación de personal y las pruebas iniciales de desempeño que permita de manera real cuantificar la problemática que se tiene con la inserción de los nuevos profesionistas que se integran al campo laboral (Syarifuddin, T., 2021).

Existen diversas herramientas que permiten evaluar las competencias del personal, las cuales desde luego están fundamentadas, en su gran mayoría en herramientas del control estadístico de procesos, impulsado desde hace más de un siglo y que han evolucionado con las ideas de cada uno de los

gurús de la calidad. En esa dirección, el presente trabajo aportará elementos para poder apoyar la evaluación del personal que se incorpora al ámbito laboral, dándole una aplicación a las herramientas de control de calidad de los procesos a partir de las herramientas generadas por Shewhart en 1924 (Best, M., 1924) y con enfoque al desarrollo de los procesos bioquímicos clínicos por Levey y Jennings en 1950 (Levey, S., 1950).

TEORÍA

Walter Shewhart, tiene aportaciones que realmente nos sorprenden, dio origen a lo que logramos atribuir a Deming sobre el ciclo de la calidad, porque finalmente es quien a través de herramientas completas da sentido al seguimiento de la medición del ciclo de la mejora continua además de incorporar una serie de herramientas como son las de control estadístico de los procesos, una de las 7 herramientas de la calidad (Gutiérrez, H., 2010), además del origen de lo que conocemos como cartas control, o diagramas de Levey Jennings (Estevez, G., 2016), ampliamente utilizadas para controlar los procesos (Estevez, G., 2014) y que en épocas recientes se popularizarán dentro del área de la salud con herramientas llamadas de reglas de Westgard (Laubender, R., 2021).

Consideremos que el desarrollo de las cartas control obedecen a el comportamiento de los fenómenos de tipo normal, es decir, aquellos que consideran que todos los procesos son dados a partir de un comportamiento de tipo normal de la forma:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (1)$$

Donde suponemos que el comportamiento muestral, tanto para la media y variación muestral es de la forma (\bar{x}, s_x^2) respectivamente, en tanto que el comportamiento poblacional es tipificado por una media poblacional y variación muestral (μ, σ^2) . Es justo este punto el elemento de partida de la generación de las cartas control de Walter Shewhart, en el que la base teórica supone que si una población obedece un comportamiento de tipo normal como la descrita como la ecuación (1), podemos realizar una tipificación considerando:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (2)$$

Sin embargo, al estandarizar el proceso es conveniente considerar en lugar del valor de la desviación estándar por el error estándar, es decir, se puede realizar el cambio $\sigma \rightarrow \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$ en la ecuación (2), lo cual es muy conveniente en diferentes procesos como lo son la estimación de las incertidumbres (Grabe, M., 2014) o la determinación de la ley de propagación de errores (Situm, M., 2021), lo que nos lleva la ecuación:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma} \sqrt{n} \quad (3)$$

Donde el valor de z , es comúnmente identificado como el valor de la significancia estadística dentro de las pruebas de hipótesis estadísticas asociadas a un valor de p de aceptación de la hipótesis nula. Si consideramos la ecuación (2) podemos construir intervalos de confianza, al despejar el valor de los valores muestrales, que habrán de responder a condiciones de robustez a fin de garantizar la normalidad de los valores muestrales, es decir:

$$x = \mu \pm \sigma z \quad (4)$$

Lo que se nos lleva a los intervalos muestrales como:

$$\mu - z\sigma \leq x \leq \mu + z\sigma \quad (5)$$

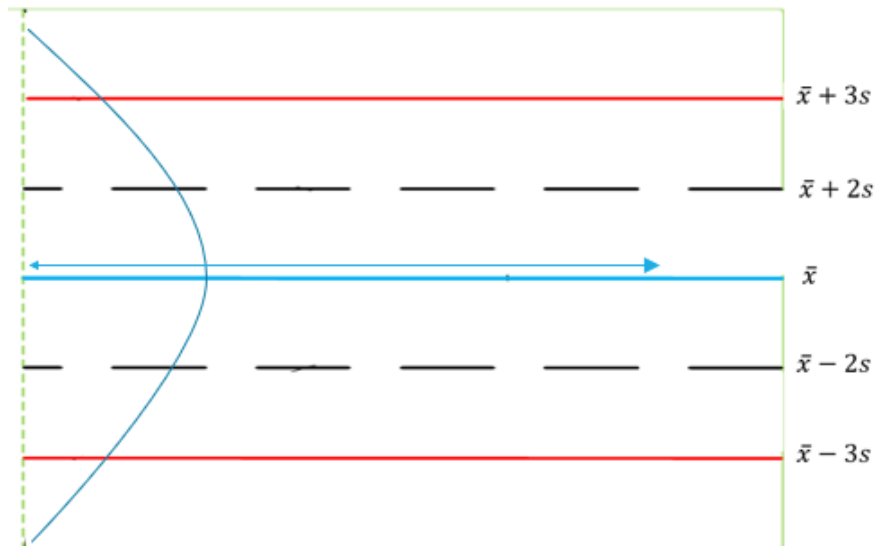
O si consideramos la ecuación (3) estos intervalos los podemos describir como:

$$\mu - z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \leq x \leq \mu + z \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (6)$$

Tanto la ecuación (5) o la ecuación (6) nos conduce a determinar intervalos de confianza en la construcción de intervalos en los que se generan alcances dependiendo del valor de la significancia dada para distribución normal, solo que con usos diferentes, la primera con consideraciones adecuadas dentro de áreas del conocimiento como es el caso del áreas como la bioquímica clínica (Lanham, D., 2021) o médica (Luo, Y., 2021), monitoreo de pruebas especiales de alto desempeño (Mandal, S., 2021), en tanto que la segunda con consideraciones particulares dentro de las magnitudes físicas o químicas (Kashyap, A., 2021) con enfoque en procesos normalizados (Weiβ, C., 2021) y regulaciones como las normas ISO (Burt, I., 2021)

Dados los intervalos considerados de las ecuaciones (5) o (6), supondremos que realizaremos un análisis temporal en el que cada evento ocurrido responde a un comportamiento normal, en el que el valor de z puede tomar cualquier valor numérico, observándose para este caso los valores de 1, 2 o 3 (para el caso de la consideración del intervalo considerado para $z=2$, este garantiza un nivel de confianza de al menos el 95% de confianza, en tanto que el valor de $z=3$ representa un valor de confianza de al menos 99%. Este barrido lo podemos considerar en el siguiente esquema, en la Figura 1.

Figura 1. Esquema de construcción de eventos a lo largo del tiempo, con niveles de confianza de al menos 95%, para $z=2$, y de 99%, para $z=3$.



Las líneas punteadas generalmente consideran eventos que se mantienen controlados a lo largo del tiempo en un intervalo $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$, donde suponemos que los eventos están controlados, en tanto que valores que puedan ocurrir en los intervalos $(\mu - 3\sigma, \mu - 2\sigma)$ y $(\mu + 2\sigma, \mu + 3\sigma)$ son eventos de alerta que los eventos se alejan del valor objetivo, generalmente considerado como el valor esperado o promedio μ . Y finalmente, cualquier valor que se encuentre fuera de esos intervalos generan desviaciones fuera de control. De tal forma que una carta control se produce a medida que en el tiempo se realizan los registros de lo que ocurre como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Ejemplo de carta control, tomada para 10 mediciones realizadas de manera consecutiva una seguida de la otra.



En el gráfico de la Figura 2, se observa que existen valores que han rebasado los valores del intervalo de confianza en varias ocasiones por lo que el evento está fuera de control.

El uso de estos diagramas conduce a evaluar las violaciones estadísticas que se dan a lo largo del tiempo. De importancia particular en algunas áreas, como es el caso clínico, en el que los intervalos biológicos o hemodinámicos garantizan la confianza de los resultados y que en gran medida ayudan a los laboratorios a determinar valores de confianza y zonas de tolerancia al momento entregar un resultado. De allí el desarrollo de atlas de mediciones especiales que determinan tolerancias y un diagnóstico adecuado, además del seguimiento de las mismas, en cuyo caso ese tipo de cartas control reciben el nombre diagramas de Levey Jennings. Por ejemplo, el valor ideal para la determinación de una persona que tiene controlada su glucosa, sus valores de referencia estarían estimadas sus concentraciones en el intervalo de (80 mg/dL, 110 mg/dL) lo que estadísticamente estaría referido al intervalo $(\mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma)$, la prevención para un paciente prediabético estaría en los intervalos $(\mu - 3\sigma, \mu - 2\sigma]$ y $[\mu + 2\sigma, \mu + 3\sigma)$, lo que determinaría un tratamiento alentador. Particularmente, las variaciones pueden generar tendencias a lo largo del tiempo, lo que puede categorizar consideraciones a observar en errores de origen sistemático o aleatorio y condensados a través de reglas conocidas como reglas de Westgard (Peng, S., 2021), que condensan tendencias de la geométricas sobre la variabilidad de los eventos, pero que nos demandan un uso extenso para su interpretación (Usen, J., 2021).

De manera particular, los valores estadísticos de media y desviación estándar para una distribución normal están dados por el valor esperado como:

$$E(x) = \mu \quad (7)$$

Y variación

$$V(x) = \sigma^2 \quad (8)$$

Desde luego, esta última ecuación asociada a las variaciones se puede dar como:

$$V(x) = (E(x))^2 - E(x^2) = \sigma^2 \quad (9)$$

Una parte importante de las ecuaciones (7) y (8) radica en que podemos trasladar esta consideración al análisis y uso de las cartas control con fines prácticos, si se considera que se tiene un valor estimado ideal, que en estas cartas es el valor promedio y por otro lado se conoce la variabilidad sobre los que se mide. En varias ocasiones la incorporación de personal a las empresas le antecede personal que de manera rutinaria realiza jornadas de trabajo desempeñándose adecuadamente, lo que permite que el entrenamiento y capacitación pueda llevarse a cabo; en otras ocasiones, cuando una actividad es nueva o se requiere del manejo de operación e equipo, se demanda la capacitación inicial lo que da un referente del valor esperado y de la variabilidad instrumental lo que perfectamente puede llevarnos a tomar los intervalos considerados en la ecuación (5) o (6), para conducirnos a garantizar que si alguien a lo largo del tiempo mantiene mediciones en ese intervalo puede realizar de manera cotidiana para ser apto para la actividad propuesta. Bajo esta consideración haremos un análisis considerado como pruebas iniciales de desempeño que permita determinar la viabilidad de incorporación de personal en entrenamiento al observar si cumple con los intervalos regulados bajo un valor objetivo o esperado y la consideración de la variabilidad.

RESULTADOS

Después de realizar mediciones de pH, para una fermentación, con un potenciómetro de resolución de 0.01, se obtuvo los siguientes datos dados en la Tabla 1.

Tabla 1. Valores realizados en condiciones de reproducibilidad entre el personal en entrenamiento y el personal experto con más de 10 años de realizar las mediciones de ese proceso de fermentación

REPETIBILIDAD	EXPERTO	PERSONAL EN ENTRENAMIENTO	X	X-2S	X+2S	X-3S	X+3S
1	4.54	4.51	4.52	4.49	4.55	4.47	4.57
2	4.51	4.56	4.52	4.49	4.55	4.47	4.57
3	4.54	4.47	4.52	4.49	4.55	4.47	4.57
4	4.51	4.51	4.52	4.49	4.55	4.47	4.57
5	4.51	4.54	4.52	4.49	4.55	4.47	4.57

Al trasladar los resultados a un gráfico, Figura 3.

Figura 3. Gráfico de resultados de pruebas iniciales de desempeño.



Lo que nos lleva a considerar que los valores medidos por el experto se encuentran en el intervalo que garantiza que sus errores no rebasan del 5%, o su confianza es mayor del 95%, en tanto que para el personal nuevo por lo menos en la medición 3 rebasó las condiciones de control, de aquí derivará el juicio de quien contrata, que en mucho dependerá de la naturaleza del trabajo que realiza, consideración que en el ámbito clínico podría ser delicada, pero menos grave en un proceso de fermentación de cebada para una cerveza. Aunado a este análisis se podría acompañar estudios de determinación de violaciones a las reglas de Westgard a fin de poder acompañar la evaluación.

CONCLUSIONES

Sin lugar a duda las necesidades del campo laboral obligan a áreas específicas en la liberación de capacitaciones, en las que sin ser la generalidad la liberación de compromisos institucionales indica que una persona al cumplir un tiempo determinado en entrenamiento es apta para realizar una determinada actividad sin que ella llegue a desempeñarse a cabalidad o las evaluaciones sean subjetivas. Tal es el caso de algunos procesos de formación en el que las estancias de fin de carrera no se observan con claridad que las evaluaciones sean dadas, como es el caso de proceso de prácticas profesionales, en el que el tiempo de estancias llega a ser el único elemento que apunta a reconocer que se ha adquirido una determinada habilidad. En el proceso de reflexión sobre la inserción laboral se requiere más que la subjetividad, tanto como para que de manera ética se acepte a un nuevo profesionalista, particularmente en áreas como lo es aquellas ligadas a las actividades de la salud humana, que verdaderamente han adquirido habilidades y se han evaluado, como para aquellas que se les rechaza sin argumentos y que solo descansa en el discurso de la falta de competencias que únicamente se suple por esos mágicos dos años de experiencia.

El uso de cartas control o gráficos Levey Jennings dan posibilidades no solo de evaluar escenarios que demandan valoraciones complejas entre efectos y correlaciones (Albers, W., 2004), sino que

además permiten el monitoreo de evento más complejos o la evaluación eficaz de las capacidades y habilidades que el personal nuevo ha adquirido y que lo podemos tener presente para la evaluación del personal, como una primera prueba del desempeño (Freeman, K., 2021).

BIBLIOGRAFÍA

1. Albers, W., & Kallenberg, W. C. (2004). Estimation in Shewhart control charts: effects and corrections. *Metrika*, 59(3), 207-234.
2. Best M, Neuhauser D. Walter A Shewhart, 1924, and the Hawthorne factory. *Qual Saf Health Care*. 2006;15(2):142-143.
3. Burt, I., & Libby, T. (2021). Organizational identity, professional identity salience and internal auditors' assessments of the severity of internal control concerns. *Managerial Auditing Journal*.
4. Delors, Jacques. (1997). La educación encierra un tesoro. México: UNESCO
5. Freeman, K. P., Cook, J. R., & Hooijberg, E. H. (2021). Introduction to statistical quality control. *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 258(7), 733-739.
6. Estevez Delgado Gabino, Estevez Delgado Joaquin, Bonilla Paz Itzia Alejandra. Un estudio del cálculo de incertidumbre, apoyándose en el teorema de Bayes y una herramienta de Ishikawa. Séptima Semana Internacional de la Estadística y la Probabilidad. Puebla, México. 2014.
7. Estevez Delgado Gabino, Chávez Esquivel Arturo, Castillo Gallo Johann. Evaluación del Cálculo de la Incertidumbre mediante diagramas de Levey Jennings. XIII Encuentro de la Participación de la Mujer en la Ciencia. Centro de Investigaciones en Óptica, León, Guanajuato, México. (2016).
8. Gardner, Howard. (1995). Las inteligencias múltiples. La teoría en la práctica. Barcelona, España: Ediciones Paidós Ibérica, S.A.
9. Grabe, M. (2014). *Measurement uncertainties in science and technology*. Springer.
10. Gutiérrez, H. (2010). Calidad total y productividad. 3ª edición. México: McGraw-Hill Educación.
11. Kashyap, A., Sampath, S., Tripathi, P., & Sen, A. (2021). Sigma Metrics: A Valuable Tool for Evaluating the Performance of Internal Quality Control in Laboratory. *Journal of Laboratory Physicians*.
12. Lanham, D. F. (2021). Lot-to-lot reproducibility, stability and life cycle management of antibody reagents for flow cytometry. *Bioanalysis*, 13(10), 745-759.
13. Laubender, R. P., & Geistanger, A. (2021). Selection of within-run quality control rules for laboratory biomarkers. *Statistics in Medicine*.
14. Levey S, Jennings ER. The use of control charts in the clinical laboratory. *Am J Clin Pathol*. 1950;20(11):1059-1066.
15. Luo, Y., Wang, J., Zhang, M., Wang, Q., Chen, R., Wang, X., & Wang, H. (2021). COVID-19-another influential event impacts on laboratory medicine management. *Journal of Clinical*
16. Mandal, S., Roychowdhury, T., & Bhattacharya, A. (2021). Pattern of genomic variation in SARS-CoV-2 (COVID-19) suggests restricted nonrandom changes: Analysis using Shewhart control charts. *Journal of biosciences*, 46(1), 1-7.
17. Martínez, M. C., Manzano, M. J. R., Lema, L. E. C., & Andrade, L. C. V. (2019). Formación por competencias: Reto de la educación superior. *Revista de ciencias sociales*, 25(1), 94-101.
18. Mesquita, I., Borges, M., Rosado, A., & De Souza, A. (2011). Handball coaches' perceptions about the value of working competences according to their coaching background. *Journal of sports science & medicine*, 10(1), 193.
19. Peng, S., Zhang, J., Zhou, W., Mao, W., & Han, Z. (2021). Practical application of Westgard Sigma rules with run size in analytical biochemistry processes in clinical settings. *Journal of Clinical Laboratory Analysis*, 35(3), e23665.
20. Syarifuddin, T., Muis, M., & Reni, A. (2021). The Application of the Quality Management System of ISO 9001. *Hasanuddin Journal of Business Strategy*, 3(2), 1-15.

21. Situm, M. (2021). Determination of expected cost of equity with the CAPM: Theoretical extension using the law of error propagation. *Managerial and Decision Economics*, 42(1), 77-84
22. Usen, J. E., Ikpan, O. I., Santos, M. D., Isaac, A. A., MacGeorge, G. C., & Ekpety, M. F. (2021). Statistical Quality Control Charts Based on Hyper-Geometrically Distributed Data. *Asian Journal of Probability and Statistics*, 24-34.
23. Van Melle, E., Hall, A. K., Schumacher, D. J., Kinnear, B., Gruppen, L., Thoma, B., ... & ICBME Collaborators. (2021). Capturing outcomes of competency-based medical education: The call and the challenge. *Medical Teacher*, 1-7.
24. Vega Saldaña, V. (2020). *El outsourcing provoca la violación de los derechos de los trabajadores en México* (Doctoral dissertation, Universidad Autónoma de Nuevo León).
25. Weiß, C. H., Testik, M. C., & Homburg, A. (2021). On the design of Shewhart control charts for count time series under estimation uncertainty. *Computers & Industrial Engineering*, 157, 107331. *Laboratory Analysis*, e23804.

DESARROLLO, MODELADO Y VALIDACIÓN EXPERIMENTAL DE UN BRAZO ROBOT DE SEIS GRADOS DE LIBERTAD

J. Reyes Luévano¹, J. A. Guerrero Viramontes¹, M. Funes-Gallanzi²

¹ TecNM/Instituto Tecnológico de Aguascalientes, Av. Adolfo López Mateos #1801 Ote. Fracc. Bona Gens, Aguascalientes, Ags., 20256 México, ² Ardita México S. A. de C. V. Av. Chapalita #1143, 45040 Guadalajara, Jalisco-México.
juanreyes.luevano@gmail.com

En este trabajo se presenta el desarrollo, modelado y validación experimental de un brazo robot de seis grados de libertad con eslabones de tipo revoluta y muñeca esférica. El diseño del robot permite una capacidad de manipulación de carga de 400 gramos, presenta una alta repetibilidad (+/- 1 mm) y su dinámica puede ser configurada por software para generar trayectorias con un perfil deseado de velocidad y aceleración. La estimación de la posición y orientación del efector final dada la posición angular de los eslabones está basada en el método Denavit-Hartenberg. En este sentido, un modelo de cinemática inversa basado en el método geométrico es propuesto para estimar de forma eficiente los parámetros necesarios para que el robot ejecute una trayectoria específica. Los resultados de simulación y pruebas experimentales validan los modelos de cinemática propuestos y el esquema de ejecución de trayectoria del robot. Como resultado el robot de seis grados de libertad puede ser implementado de forma segura en tareas de exploración, reconocimiento por visión artificial y pequeños trabajos de manipulación de piezas u objetos.

Palabras clave: Brazo robot, cinemática directa, cinemática inversa, modelación, método geométrico, método Denavit-Hartenberg.

INTRODUCCIÓN

La creciente complejidad de las tareas de exploración (diagnóstico e inspección), así como la alta demanda de sistemas automatizados para aplicaciones basadas en inteligencia artificial [1]; hacen necesario el desarrollo y mejora de sistemas manipuladores (robots). En este sentido, es deseable que un manipulador presente un bajo costo de implementación, alto desempeño y alta confiabilidad. Existen principalmente dos campos que representan una importante área de oportunidad para robots con las características antes mencionadas. En el ámbito industrial, la implementación de métodos de inspección no destructivos en tareas de control de calidad, así como los procesos de manufactura flexible; requieren robots con alta capacidad de manipulación y altamente adaptables a diversas tareas que fluctúan en complejidad [2-5]. Por su parte, en el área de servicios médicos, el surgimiento de sistemas de telemedicina para exploración, control, seguimiento y diagnóstico de pacientes; ha mostrado la necesidad de manipuladores compactos de alta confiabilidad y bajo costo, destinados a ser la base de un sistema de servicios de salud personalizado a distancia [6].

Con base en lo anterior, este trabajo aborda el proceso de desarrollo, modelado y validación experimental de un manipulador antropomórfico de seis grados de libertad. Los resultados indican que el prototipo del robot presenta un bajo costo de implementación, una alta repetibilidad (+/- 1mm), una dinámica suave, y capacidad para manipular una carga de 400 gramos. El desempeño y las características del prototipo lo hacen ideal para ser implementado de forma segura en tareas de exploración (médica o pruebas ópticas no destructivas), reconocimiento por visión artificial y pequeños trabajos de manipulación de piezas u objetos.

TEORÍA

El manipulador antropomórfico de seis grados de libertad posee una estructura con cuerpo, codo, brazo, muñeca y efector final. Véase Fig.1.1. Estas características lo hacen poseer una alta capacidad de manipulación. La topología serie con eslabones de tipo revoluta y muñeca esférica, es ampliamente utilizada debido a la posibilidad de desacoplar la estimación de la coordenada del efector final en dos parámetros, posición y orientación.

La cinemática directa del robot permite determinar la posición y orientación del eslabón final del manipulador a partir del ángulo de cada uno de los ejes q_i . Para ello se hace uso del algoritmo Denavit-Hartenberg [7]. La matriz de transformación para cualquier cadena de eslabones ($T_{(i-1)/i}$)

del marco de referencia (x_0, y_0, z_0) al i -ésimo eje, está dado por (1). Para una serie de translaciones (*Trans*) y rotaciones (*Rot*) en el eje z y x . Por ende, la cinemática directa para toda la cadena de eslabones del robot esta dada por (2). Véase Fig. 1.1. Donde la posición del extremo final del robot está dada por el vector $\vec{p} = (p_x, p_y, p_z)$ y la orientación por la matriz $(\vec{n}, \vec{o}, \vec{a})$. En (1), C denota coseno y S a la función seno. De esta forma, los parámetros α_i y θ_i establecen la posición $\vec{p} = (x, y, z)$ del extremo final del robot. Véase Fig. 1.2.

$$T_{(i-1)/i} = Rot_z(\theta_i)Trans_{x,y,z}(a_i, 0, d_i)Rot_x(\alpha_i) \tag{1}$$

$$T_{(i-1)/i} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$H = T_{(0)/6} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & R_{13} & x \\ R_{21} & R_{22} & R_{23} & y \\ R_{31} & R_{32} & R_{33} & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & O \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{2}$$

La cinemática inversa del robot permite estimar el valor necesario de la posición angular de los eslabones q_i para que el efector final se posicione en la coordenada (p_x, p_y, p_z) . El proceso de desacoplamiento del problema de cinemática inversa implica conocer a priori la orientación del efector final. Es decir, conocer el valor angular de los eslabones de la muñeca del robot (q_4, q_5, q_6) que definen la orientación del efector final. Con base en ello, la estimación de los eslabones (q_1, q_2, q_3) conduce a un conjunto de ecuaciones dado por la expresión (5). La solución de dichas ecuaciones no lineales se lleva a cabo de forma numérica, por lo que el costo computacional que conlleva es alto, aunado a la existencia de múltiples soluciones. En este sentido, una solución cerrada para la cinemática inversa basada en el método geométrico es más efectiva.

$$T_{0/6} = T_{0/1} \cdot T_{1/2} \cdot T_{2/3} \cdot T_{3/4} \cdot T_{4/5} \cdot T_{5/6} = T_{0/3} \cdot T_{3/6} \tag{3}$$

$$T_{3/6} = T_{3/4} \cdot T_{4/5} \cdot T_{5/6} = \begin{bmatrix} R_{3/6} & O_{3/6} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$T_{0/3} = T_{0/6} \cdot [T_{3/6}]^{-1} \tag{5}$$

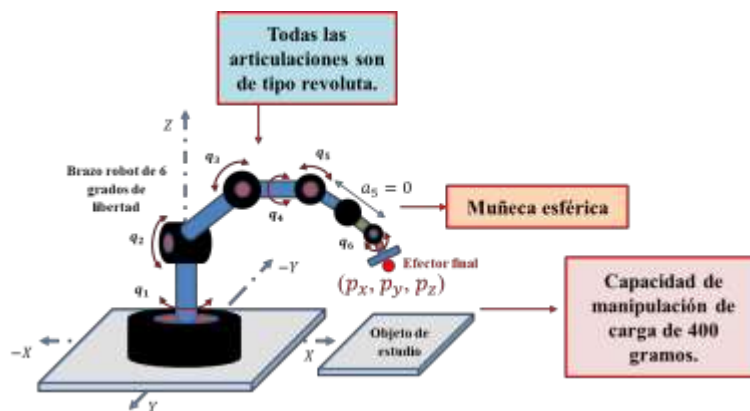


Figura 1.1 Robot antropomórfico de seis grados de libertad en topología serie.

PARTE EXPERIMENTAL

Este trabajo centra su atención en el desarrollo, modelado y validación experimental de un manipulador antropomórfico de seis grados de libertad. Esto debido principalmente, a su alta capacidad de manipulación del efector final en un área de trabajo reducida. La Figura 1.1 presenta el esquema del robot usado en las pruebas experimentales. El diseño en general consiste en una

topología serie, con articulaciones de tipo revoluta y muñeca esférica. Dadas las especificaciones mecánicas de los actuadores, su capacidad de manipulación de carga es de aproximadamente 400 gramos.

La estimación de la posición y orientación del efector final $P(p_x, p_y, p_z)$ se aborda desde la cinemática directa del robot. Por su parte, el conocimiento de la posición angular de los eslabones q_i para que el efector final se posicione en un punto arbitrario $P(p_x, p_y, p_z)$; se sustenta en una propuesta basada en el método geométrico para dar solución a la cinemática inversa del robot. En el caso de la cinemática directa, el formalismo usado para estimar la posición angular de los eslabones corresponde al algoritmo Denavit-Hartenberg. Esta formulación conlleva obtener una matriz de transformación homogénea con base en el análisis de los marcos de referencia y ejes del robot. Como resultado se obtiene una sub matriz de rotación R y un vector de posición O del efector final, dado el conocimiento a priori de la posición angular de los eslabones del robot. Por otro lado, la solución de la cinemática inversa del robot con base en la matriz de transformación homogénea conduce a un sistema de ecuaciones no lineales cuya solución normalmente no es factible para ser implementada en tiempo real debido principalmente a la complejidad, costo computacional y la existencia de múltiples soluciones. En este contexto, la solución de la cinemática inversa con base en el método geométrico es una opción más factible.

RESULTADOS

El análisis de cinemática directa del manipulador que se presenta en la Fig. 1.2 a) se basa en el diagrama de los sistemas de referencia y ejes del robot, que se muestra en la Fig. 1.2 b). La estimación de la posición y orientación del efecto final puede abordarse usando la expresión (6). La Tabla 1 presenta los parámetros de transformación homogénea y los resultados de la estimación de la coordenada $P(p_x, p_y, p_z)$ del efector final, ante un conjunto de valores angulares q_i para los eslabones del robot.

La solución de la cinemática inversa que se propone en este trabajo es cerrada y está basada en el método geométrico. Para cada topología del robot (definida por la región de operación de cada eslabón del hombro y el codo) se proponen las expresiones que permiten calcular el valor de la posición angular para los tres primeros eslabones del robot. Véase Fig. 1.3.

$$T_{(i-1)/i} = \begin{bmatrix} C\theta_i & -S\theta_i C\alpha_i & S\theta_i S\alpha_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\theta_i C\alpha_i & -C\theta_i S\alpha_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & O \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

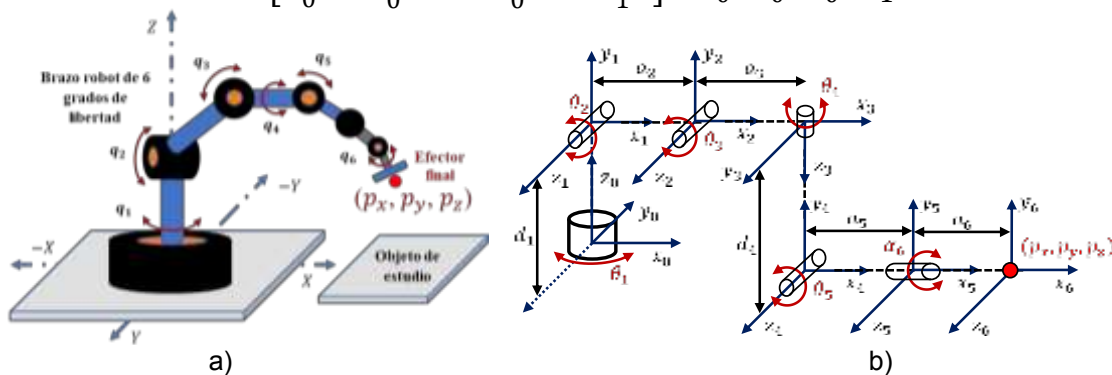


Figura 1.2 a) Topología, b) marcos de referencia y ejes del robot.

Tabla 1. Parámetros Denavit-Hartenberg para el manipulador de seis grados de libertad de tipo revoluta con muñeca esférica, y resultados de estimación de posición del efector final.

Eslabón	θ_i	d_i	a_i	α_i	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	α_6	p_x	p_y	p_z
1	θ_1	d_1	0	90°	21	70	-50	0	0	0	184.8892	70.9723	190.56
2	θ_2	0	a_2	0	15	50	-20	10	10	10	280.7466	71.0299	182.1015
3	θ_3	0	a_3	90°	0	30	-10	20	20	20	302.7067	-7.6170	104.8934
4	θ_4	d_4	0	-90°	30	20	0	30	30	30	277.0058	148.0794	74.1577
5	θ_5	0	a_5	0	60	20	0	30	30	30	165.8544	266.7434	74.1577
6	0	0	a_6	α_6	60	0	20	50	30	60	174.7628	271.2523	0.7663

Para cada región de operación de los eslabones del hombro y el codo del robot, se proponen las expresiones necesarias para la estimación de los tres primeros eslabones del manipulador. Las ecuaciones se derivan bajo la consideración de desacoplo de la muñeca esférica y el conocimiento a priori de la orientación del efector final dado por los eslabones q_4, q_5, q_6 . Debido al brazo efectivo del cuarto eslabón d_4 y dado que la posición P_{e4} es independiente del valor angular del cuarto eslabón, la posición del efector final puede considerarse a ser el punto coordenado P_{e4} . Por ende, la ejecución de una trayectoria del efector final conlleva estimar los valores angulares de los tres primeros eslabones (q_1, q_2, q_3) con base en una serie de puntos P_{e4} contenidos dentro la trayectoria. Véase Fig. 1.3. La Tabla 1.2 presenta los resultados de la estimación de la posición angular de los eslabones a partir de la solución de la cinemática inversa, dada una trayectoria específica del robot.

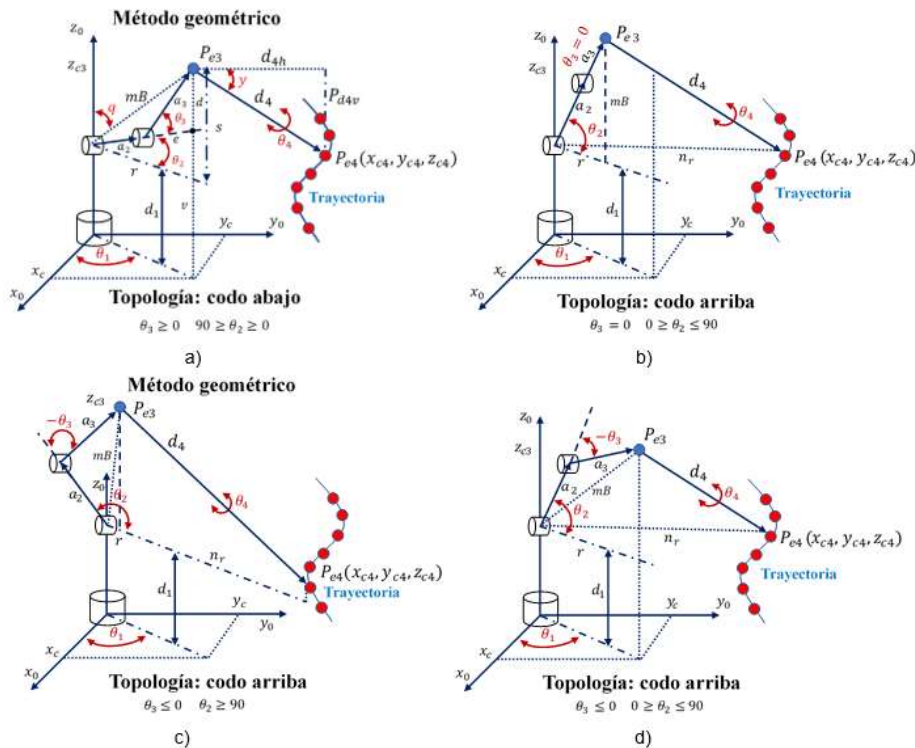


Figura 1.3 Topologías del robot en relación con la región de operación de cada eslabón del hombro y el codo.

Para un arreglo codo abajo (véase Fig. 1.3 a)), las expresiones que permiten estimar la posición angular de los tres primeros eslabones del robot con base en el punto coordenado P_{e4i} , son las siguientes:

$$\begin{aligned}
\theta_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{x_{c3}}{r}\right) \\
\theta_2 &= \sin^{-1}\left(\frac{mB^2 + a_2^2 - a_3^2}{2mBa_2}\right) \\
\theta_3 &= \cos^{-1}\left(\frac{e^2 + a_3^2 - d^2}{2ea_3}\right)
\end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned}
P_{d4v} &= d_4 \sin(y) \\
P_{d4h} &= d_4 \cos(y) \\
n_r &= r + P_{d4h} \\
p_{z4} &= P_{Az} = S - P_{d4v} \\
p_{x4} &= n_r \cos(\theta_1) \\
p_{y4} &= n_r \sin(\theta_1)
\end{aligned}$$

Para un arreglo codo arriba y $\theta_3 = 0$ (véase Fig. 1.3 b)), la estimación de la posición angular del primer y segundo eslabón está dada por (8), considerando la posición del efector final P_{e4i} .

$$\begin{aligned}
\theta_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{x_{c4}}{n_r}\right) \\
\theta_2 &= \sin^{-1}\left(\frac{z_{c3} - d_1}{a_2 + a_3}\right) \\
\theta_3 &= 0
\end{aligned} \tag{8}$$

Para un arreglo codo arriba y $\theta_2 > 90^\circ$ (véase Fig. 1.3 c)), la posición angular de los tres primeros eslabones puede ser descrita por (9).

$$\begin{aligned}
\theta_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{x_{c4}}{n_r}\right) \\
\theta_2 &= \cos^{-1}\left(\frac{mB^2 + a_2^2 - a_3^2}{2mBa_2}\right) + \sin^{-1}\left(\frac{|r|}{mB}\right) + \left(\frac{\pi}{2}\right) \\
\theta_3 &= \cos^{-1}\left(\frac{a_3^2 + a_2^2 - mB^2}{2a_3a_2}\right) - (\pi)
\end{aligned} \tag{9}$$

Finalmente, para un arreglo codo arriba y $\theta_2 \leq 90^\circ$ (véase Fig. 1.3 d)), la posición angular de los eslabones (q_1, q_2, q_3) está dada por (10).

$$\begin{aligned}
\theta_1 &= \cos^{-1}\left(\frac{x_{c4}}{n_r}\right) \\
\theta_2 &= \sin^{-1}\left(\frac{z_{p3} - d_1}{mB}\right) + \cos^{-1}\left(\frac{a_2^2 + mB^2 - a_3^2}{2a_2mB}\right) \\
\theta_3 &= \cos^{-1}\left(\frac{a_2^2 + a_3^2 - mB^2}{2a_2a_3}\right) - (\pi)
\end{aligned} \tag{10}$$

Tabla 2. Estimación de la posición angular de los eslabones (q_1, q_2, q_3) del robot para ejecución de trayectoria. La solución de la cinemática inversa se aborda desde el enfoque del método geométrico.

Trayectoria			Estimación de eslabones					
p_x	p_y	p_z	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_5	α_6
-94.8271	0	403.4645	180	66.5639	1.2996	0	-90	0
-79.0226	52.4176	403.4645	146.4427	66.5639	1.2996	0	-90	0
-63.2180	70.6799	403.4645	131.8103	66.5639	1.2996	0	-90	0
-47.4135	82.1227	403.4645	120	66.5639	1.2996	0	-90	0
-31.6090	89.4038	403.4645	109.4712	66.5639	1.2996	0	-90	0
-15.8045	93.5008	403.4645	99.5941	66.5639	1.2996	0	-90	0
0	94.8271	403.4645	90	66.5639	1.2996	0	-90	0

El esquema de ejecución de trayectoria del robot; basado en la cinemática inversa y directa, se presenta en la Fig. 1.4 a). Esta implementación permite discriminar aquellos puntos de la trayectoria del efector final que están fuera de la región de trabajo del robot. La Fig. 1.4 b) muestra la simulación de la ejecución de una trayectoria del efector final del robot.

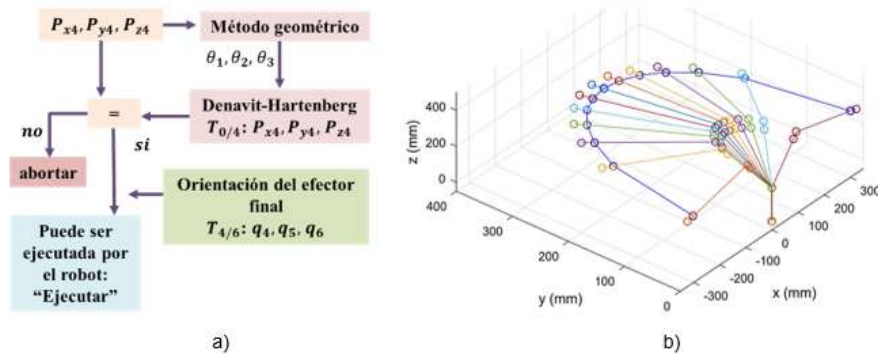


Figura 1.4 a) Esquema de ejecución del robot. b) Simulación de ejecución de trayectoria.

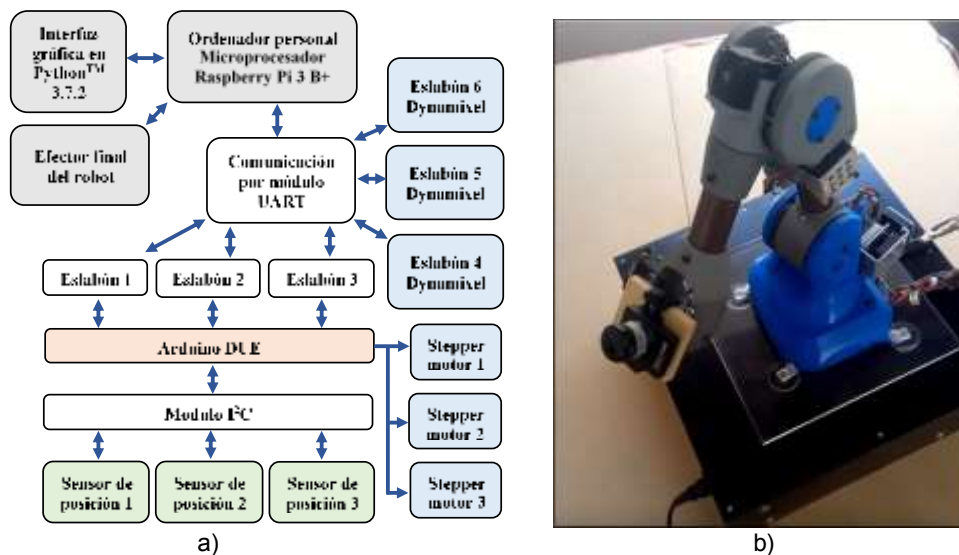


Figura 1.5 a) Diagrama a bloques de los sistemas del robot. b) Prototipo del robot usado en las pruebas experimentales.

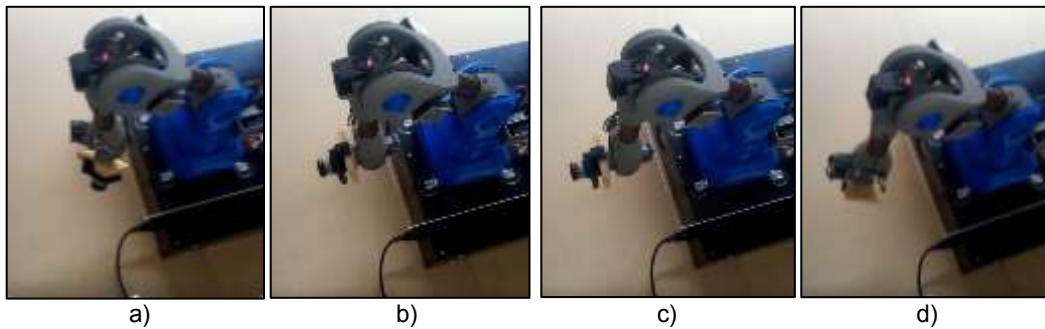


Figura 1.6 Prueba experimental de la ejecución de una trayectoria en el efector final del robot.

El prototipo del robot usado en las pruebas experimentales se presenta en la Fig. 1.5 b). El diagrama a bloques de la Fig. 1.5 a) describe a detalle los diferentes sistemas electrónicos, de control, comunicación, e interfaz de usuario del robot de seis grados de libertad. Con el propósito de validar el modelo de cinemática directa e inversa, pruebas de ejecución de trayectoria fueron conducidas. La Fig. 1.6 muestra la ejecución de una secuencia de posiciones del robot que integran una trayectoria.

CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó el desarrollo, modelado y validación experimental de un robot serie de seis grados de libertad con articulaciones de tipo revoluta y muñeca esférica. La estimación de la posición y orientación del efector final se abordó desde la cinemática directa e inversa del robot. En este sentido, una propuesta de modelado para la cinemática inversa es presentada, y se caracteriza por ser una formulación sencilla, de rápida ejecución y fácil implementación en software.

Las pruebas experimentales muestran que el esquema propuesto para la ejecución de trayectorias es funcional. Los resultados indican que el prototipo del robot presenta un bajo costo de implementación, una alta repetibilidad ($\pm 1\text{mm}$), una dinámica suave, y capacidad para manipular una carga de 400 gramos. El desempeño y las características del prototipo lo hacen ideal para ser implementado de forma segura en tareas de exploración (médica o pruebas ópticas no destructivas), reconocimiento por visión artificial y pequeños trabajos de manipulación de piezas u objetos.

BIBLIOGRAFÍA

1. L. Zongxing, X. Chunguang, P. Qinxue, Z. Xinyu, L. Xinliang, "Inverse Kinematic Analysis and Evaluation of a Robot for Nondestructive Testing Application", *Journal of Robotics*, Vol. 1, 1, 2015, pp. 1-6.
2. Patel K. B., Zalte M. B., Panchal S. R., "A Review: Machine vision and its applications", *IOSR J. of Electron. and Comm. Eng.*, Vol. 7, 5, 2013, pp. 72-77.
3. Kumar A., "Computer Vision-based Fabric Defect Detection: A Survey", *IEEE Trans. On Ind. Electron.*, Vol. 55, 1, 2008, pp. 348-363.
4. Malik A. A., Andersen M. V., "Advances in machine vision for flexible feeding of assembly parts", *Procedia Manufacturing*, Vol. 38, 1, 2019, pp. 1228-1235.
5. Chauhan V., Surgenor B., "A Comparative Study of Machine Vision Based Methods for Fault Detection in an Automated Assembly Machine", *Procedia Manufacturing*, Vol. 1, 1, 2015, pp. 416-428.
6. S. Bagavathiappan, B. B. Lahiri, T. Saravanan, J. Philip y T. Jayakumar, "Infrared thermography for condition monitoring- A review", *Infrared Physics and Technology*, Vol. 60, 1, 2013, pp. 35-55.
7. J. Denavit, R. S. Hartenberg. "A Kinematic Notation for Lower-Pair Mechanism Based on Matrices", *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 22, 1, 1955, pp. 215-221.

BIOSORCIÓN DE NUTRIENTES PRESENTES EN AGUA RESIDUAL AGRÍCOLA USANDO RESIDUOS AGRÍCOLAS LIGNOCELULOSOS

Cathleen Daiana García Castañeda, Guillermo Andrade Espinosa, Alejandra Maya Sánchez y Mario Mendoza Anguiano

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico Del Valle De Morelia

guillermo.ae@vmorelia.tecnm.mx

RESUMEN

En esta investigación se estudió la remoción de amonio presente en solución acuosa utilizando residuos agrícolas de esparrago químicamente modificados. Los residuos fueron modificados con ácido cítrico e hidróxido de sodio con normalidades entre 0.5-2, a 60 ° C, durante 3 h para mejorar su capacidad de biosorción, y se utilizaron para la adsorción de fertilizantes. Estos materiales se caracterizaron mediante Microscopía Electrónica de Barrido (SEM), Energía Dispersa de Rayos X (EDX), Espectroscopia de Absorción en el Infrarrojo (FTIR) y titulaciones ácido / base. Además, se realizaron experimentos de adsorción de amonio a diferentes valores de pH y temperatura constante. Los resultados obtenidos mediante las micrografías SEM no revelaron cambios significativos en la superficie de los desechos agrícolas después de la modificación. Además, el contenido total de sitios ácidos de los materiales modificados se incrementó al aumentar la concentración del agente activante en la modificación hasta un máximo de 7.6 mmol/g. La distribución de carga de los materiales indicó que la superficie cuenta con cargas preferentemente negativas y neutras. El análisis de infrarrojo arrojó bandas características de la celulosa, hemicelulosa y lignina con leves cambios después de que los materiales fueran modificados. La capacidad de sorción de los residuos agrícolas modificados fue de 8 mg de amonio por cada g de material utilizado. Estos hallazgos indican que los residuos modificados aquí estudiados tienen una aplicación potencial en la remoción de contaminantes presentes en fase acuosa.

Palabras clave: biosorción, fertilizantes, agua residual.

INTRODUCCIÓN

En materia de medio ambiente, la innovación y generación de nuevas ideas que ayuden a su conservación y cuidado es de suma importancia, basándose en lo anterior nace este proyecto el cual busca ingresar en el problema de la contaminación del agua al mismo tiempo que ofrece una alternativa sustentable al uso del residuo del esparrago, cubriendo dos rubros muy importantes.

La contaminación del agua agrícola con agentes que componen a los plaguicidas, insecticidas y fertilizantes, es un problema que se reconoce mundialmente pues este tipo de actividad es necesaria en cualquier lugar al cultivar alimentos que la población requiere, sin embargo debido a la cantidad necesaria de estos, la carga de contaminantes al medio ambiente es cada vez más grande. Este tipo de agua contiene compuestos y elementos, dentro de los cuales los más importantes y a lo que se enfoca esta investigación es el nitrógeno en forma de amoniaco.

Tanto el fósforo como el amoniaco (ambos en forma de iones) son importantes elementos que son usados de gran manera en la agricultura como fertilizantes o en la industria como detergentes. Sin embargo, su uso trae consigo varios problemas, como la eutrofización, cuando se descarga en ambientes acuáticos. La eutrofización de los cuerpos de agua es un problema ambiental mayor. Su causa principal es la liberación de nutrientes (N y P) directamente de las plantas de descarga de aguas residuales o indirectamente de la labor de agricultura y la lixiviación de lodos depositados en los rellenos sanitarios. Dentro de estas causas existe la necesidad de atrapar esos nutrientes antes de salir a los cuerpos de agua, los niveles máximos permisibles en la NOM-072-ECOL-1994 se toman como ejemplo ya que esta es exclusiva para descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de las industrias de fertilizantes fosfatados, fosfatos, polifosfatos, ácido fosfórico, productos químicos inorgánicos fosfatados, exceptuando a los fabricantes de ácido fosfórico por el proceso de vía húmeda, sin embargo se puede usar como referencia ya que busca un balance adecuado para la cantidad que se arroja a los cuerpos siendo 18 mg/l en un promedio diario, y dentro de la NOM-001-

SEMARNAT-1996 se acepta una cantidad de fósforo de 30 mg/l en promedio diario en comparación con los encontrados en un agua residual que son 70.4 mg/l para el fósforo y 329.5 mg/l para el nitrógeno (Sun *et al* 1999).

De acuerdo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, el promedio diario permisible para nitrógeno debe de ser de 60 mg/L diariamente en promedio en embalses naturales y artificiales, que es donde generalmente se depositan estas aguas residuales agrícolas.

Dentro de las investigaciones antes mencionadas, la de adsorción ha recibido mucha atención, pues se considera una técnica segura y efectiva para tratamiento de agua y aguas residuales por sus ventajas económicas, bajo requerimiento de energía y fácil operación. Los materiales a caracterizar tienen la finalidad de realizar biosorción. La biosorción se refiere a la retención de contaminantes mediante una interacción fisicoquímica entre una fase sólida (biosorbente) y una fase líquida (solvente) la cual tiene las especies a adsorber (Cuizano & Navarro, 2016).

Lo que se busca es investigar nuevas maneras de modificar dichos materiales con alternativas en la materia prima utilizada como lo son los desechos de espárrago (parte no comestible), el cual al ser un material lignoceluloso posee características necesarias para realizar la adsorción de materiales, similares a lo que es el carbón activado, por lo que se trata de manera similar (Leyva *et al*, 2005). Así pues se llevó a cabo la modificación del espárrago con NaOH y ácido cítrico a diferentes normalidades, donde los experimentos aplicados para la caracterización que da a conocer los parámetros dentro de los cuales es más eficiente la biosorción fueron titulación ácido/base para conteo de sitios ácidos activos, FTIR, distribución de carga superficial, punto de carga cero y medición de adsorción fosfato y amoníaco.

TEORÍA

Contaminación por fertilizantes

La contaminación por fertilizantes es más extensa en el agua residual agrícola, esto se debe a que dentro de las actividades de producción de alimentos, el uso de fertilizantes es una práctica común. Dentro de los tipos de fertilizantes encontramos que existen de varios tipos:

- Orgánico: derivados de desechos naturales, como el excremento o la composta.
- Químico: Son nutrientes elaborados por el hombre que por lo general tienen un origen mineral, animal, vegetal o sintético.
- Combinación de ambos, tienen un origen mineral extraídos de la tierra, como el nitrato. Generalmente los de este tipo son de acción rápida y estimulan el crecimiento y vigor de las plantas cuando se aplican sobre la superficie

Tratamiento del agua residual

De acuerdo a las características del agua residual agrícola, sumado a aquellas encontradas en otros tipos de agua contaminada, se llevan a cabo tratamientos que requieren de un análisis de todos los componentes contenidos en el agua residual y en base a los resultados pasa por un proceso que ataca específicamente esas características obtenidas. Dentro de los procesos de tratamiento de agua encontramos la remoción de agentes por medio de operaciones como:

- Cribado: Proceso mecánico que separa los materiales con un tamaño de partícula considerable.
- Sedimentación: Tanques que utilizan la gravedad, tamaño de partícula, tiempo de residencia hidráulica entre otros parámetros, para propiciar la precipitación de contaminantes en el agua.
- Flotación: Se basa en la diferencia de densidades entre los sólidos y líquidos, en las plantas de tratamiento generalmente se usa para la separación de grasas y aceites. Puede contener aireación que facilita la separación.
- Proceso biológico: De naturaleza aeróbica o anaeróbica dependiendo de la carga biológica contenida en el agua. Son grandes tanques donde se lleva la biodegradación de la materia orgánica por la digestión de microorganismos.
- Filtración: Se ayuda el uso de medios porosos, por donde pasa el agua residual, y que pueden tener microorganismos dependiendo de las necesidades. El uso de una u otra membrana, depende del tamaño de poro requerido.

Contaminación por nitrógeno

El nitrógeno se puede encontrar en forma de nitrógeno amoniacal, amonio, amoniaco. El amonio es un indicador de contaminación de agua con bacterias, aguas residuales o residuos de animales, enfocándonos en la contaminación de agua residual agrícola.

Afectaciones a la salud

Como primer punto, en la salud el nitrógeno propicia la transformación de hemoglobina en metahemoglobina. La primera se encarga del transporte de oxígeno a través de los vasos sanguíneos y capilares, pero la metahemoglobina no puede realizar este proceso de forma funcional. El amonio se encuentra de manera común en la naturaleza, este proviene de la molécula del amoniaco que se transforma al contacto con otras sustancias produciendo iones. En su forma de amoniaco puede producir quemaduras, es corrosivo y genera otros efectos adversos a la salud.

Métodos de remoción de nitrógeno

Los métodos más comunes para la remoción de amonio y amoniaco son:

- Extracción por arrastre con aire en plantas de tratamiento.
- Zeolitas para el intercambio iónico del amonio como lo es la bentonita la cual se modifica químicamente con hidróxido de sodio lo cual aumenta su capacidad natural.
- Electrocoagulación

Tratamiento de adsorbentes

Adsorción

El enfoque de esta investigación, es el método de adsorción por medios biológicos, o en general biosorción. La adsorción es el proceso por el cual átomos o moléculas de una sustancia que se encuentra en determinada fase, son retenidas en la superficie de otra sustancia, que se encuentra en otra fase, puede ocurrir en cualquier tipo de interface (Líquido-Gas, Sólido-Gas, Líquido-Sólido) y pueden ser de 3 tipos:

- Adsorción por intercambio (fuerzas electrostáticas)
- Adsorción física o fisisorción (fuerzas de Van der Waals), donde el adsorbato tiene movilidad por la superficie por lo que no está fijo.
- Adsorción química, donde el adsorbato sufre una transformación de naturaleza química (González, 2010).

Biosorción

La biosorción por su parte se refiere a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa, a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico en soluciones acuosas. Contiene 2 fases, una sólida y otra líquida.

Modificación del esparrago

La modificación del esparrago se basa en que, a mayor acidez, mayor es la cantidad de oxígeno que contiene. También aumenta su capacidad de intercambio catiónico. Al contrario, cuando existe una mayor cantidad de basicidad, el oxígeno contenido es poco, observándose propiedades de superficie básicas, como el comportamiento de capacidad de intercambio aniónico (H.P.Boehm, 1994) La transformación del material se da por la acción activante del ácido o base utilizada, en conjunto con el calor (70°C). Estos rompen la estructura del esparrago hasta cierta medida, provocando que los componentes de este queden como grupos funcionales. Estos grupos se atribuyen más que nada a los grupos carboxílicos, pues el ácido genera un efecto de oxidación que, según Bohem, es de mayor impacto en un medio caliente.

PARTE EXPERIMENTAL

Los métodos seleccionados se basan en el hecho de que el esparrago al ser un material lignoceluloso, podrá ser modificado con los reactivos ya mencionados, y caracterizados usando una serie de técnicas que mostrarán el incremento en la oxidación de este, su capacidad de adsorción, así como los cambios físicos y químicos a los que se sometió, dando así respuesta a la diferencia que existe entre la modificación y el esparrago natural.

Pre-tratamiento

El esparrago como fue obtenido producto del desecho, fue lavado y secado, y cortado en trozos de 1cm para su homogeneidad.

Modificación de materiales lignocelulosos

Con el fin de aumentar las capacidades de los materiales lignocelulosos de adsorber contaminantes en forma de iones, se realizó una metodología experimental la cual incluye la investigación de diversos factores que modifican la forma y cantidad en que se adsorbe un contaminante. El esparrago natural fue tratado con ácido cítrico (AC) e hidróxido de sodio (NaOH), para esto se tomaron 8 muestras de 10 gramos de residuo cada una y se procedió a adicionar ácido cítrico en concentraciones de 0.5, 1, 1.5 y 2 de normalidad, de igual forma para el hidróxido de sodio. Previamente, para lograr este objetivo, al tener estas normalidades en soluciones individuales de 100ml en matraces, se calentaron hasta llegar a los 70°C en baño maría por 1 hora manteniendo la temperatura con una plancha de calentamiento y termómetro. Pasado el tiempo respectivo, se dejó enfriar a temperatura ambiente, para después desechar el exceso de los componentes modificadores en su correspondiente contenedor de residuos peligrosos. El material pasó a un secado completo por 48h en un horno a 60°C y pasado ese tiempo se realizaron lavados con agua destilada y mezclado constante para ajustar cada una de las 9 muestras a pH de 7, cuando el objetivo fue alcanzado se secaron nuevamente a 60°C por 48h.

Caracterización de los residuos de esparrago modificados

A continuación, se describen las diferentes metodologías empleadas para la caracterización del esparrago tratado en comparación con el natural, cuyo objetivo es conocer las propiedades físicas y químicas en materia de modificación y adsorción.

Titulación ácido-base

Para conocer la concentración de sitios ácidos y básicos activos en el material se usó el método de titulación ácido-base sugerido por Boehm. Para la neutralización de los sitios se utilizaron soluciones de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio a concentración 0.1N. Se pesaron 200mg de cada muestra, y a cada muestra modificada con C₆H₈O₇ y NaOH, se le agregaron 20ml de NaOH y HCl respectivamente y mantuvieron en tubos herméticos por 48hrs. Al término de este periodo se realizó la titulación tomando los 20ml de sobrenadante y con soluciones estándar en un ambiente cerrado y con la ayuda de un potenciómetro. Para el esparrago natural se usó el mismo procedimiento que las muestras modificadas con ácido cítrico pues este material tiende a tener más sitios ácidos.

Punto de carga cero

Para determinar el punto de carga cero (pHPZC) y la distribución del área de carga de diferentes materiales, los procedimientos siguientes son usados: Medio litro de agua se calienta hasta el punto de ebullición para eliminar el dióxido de carbono contenido en el agua el cual puede causar interferencia en el procedimiento, y se dejó por 20 minutos en un matraz Erlenmeyer correctamente tapado. Después el contenedor se enfrió por unos momentos para después verter 5ml en 9 frascos con 0.10g de material previamente pesado. Por último todo esto se deja por 24hrs. Pasadas las horas, el pH fue medido inmediatamente al abrir cada una de las muestras, esto nuevamente evita interferencias y el valor obtenido corresponde al punto de carga cero.

Distribución de carga

Todas las muestras se colocaron en matraces volumétricos, los cuales contenían una solución de cloruro de sodio de 25ml a 0.1N de concentración el cual funciona como electrolito, y fueron ajustadas a experimentos de pH diferentes que van desde 2 hasta 11, cada una de las 10 muestras para cada uno de los componentes se les agregó 200mg de material y fueron selladas para evitar el contacto con el ambiente, al mismo tiempo que se preparan la misma cantidad de muestras sin material y a los mismos pH. Todo esto se deja por 48hrs. Al final de ese tiempo se mide el pH de cada una de las muestras inmediatamente al ser destapadas y con esto se genera una gráfica que muestra cómo se encuentra distribuida la carga a través de variaciones en el pH.

Espectroscopia infrarroja transformada de Fourier

Los materiales fueron analizados por un espectrómetro de absorción en el infrarrojo, Nicolet modelo Nexus 470. Este experimento tiene la finalidad de determinar grupos funcionales en la estructura del esparrago, a través de transiciones de los estados de energía vibracionales y rotacionales de las moléculas y de ilustrar esta naturaleza. Las señales emitidas por el equipo se detectan en forma de absorbancia, para la cual corresponde una longitud de onda y de las cuales se determinan los grupos funcionales de acuerdo con el espectro conocido. Dentro de

este análisis se necesita poder reconocer la tendencia de las cargas del material y compararlas con el punto de carga cero, para esto se utiliza la siguiente ecuación:

$$IR = \frac{C_0(V_0 - V_m)}{m} * 1000$$

Dónde: IR=Carga

C₀=Concentración de NaCl

(N)V₀=Volumen de ácido o base usada en blanco

(L)V_m=Volumen de ácido o base usada en solución con material

(L) m=masa de material utilizada.

Microscopía electrónica de barrido y energía dispersa de rayos X

Los residuos lignocelulosos fueron analizados mediante un microscopio electrónico de barrido (Philips FEG-XL30). El microscopio electrónico produce imágenes en alta resolución a diferentes magnificaciones para el análisis más profundo. Las muestras se recubren con una capa de carbón o de algún metal para dar propiedades conductoras y se bombardea con electrones acelerados los cuales son medidos por detectores que proporcionan una intensidad de la zona de muestra, mostrando figuras que se proyectan en imágenes digitales de alta calidad. El microscopio trabaja en un voltaje de 22.00 kV y magnificaciones de hasta 1000x. El análisis de energía dispersa, se utiliza para realizar un análisis elemental cualitativo puntual, sabiendo que cada energía es característica del tránsito orbital de determinados electrones en cada elemento que se representan en gráficos por software que contiene valores de distintas energías ya conocidos y bastante estudiados, sin embargo, puede ocurrir que se solapen por el parecido de las energías orbitales de distintos elementos (Martínez, 2016).

Prueba de adsorción de amonio

Para esta última prueba se midió la capacidad de todos los materiales para adsorber amonio, amoniaco y nitrógeno amoniaco. En la experimentación se sometió 100mg de cada material en una solución de 40ml con fosfato de amonio, de tal modo que el amonio representara 100ppm, y se colocaron las muestras en tubos herméticos falcón por 5 días, midiendo y ajustando todos los días el pH con ácido clorhídrico e hidróxido de sodio. Al finalizar estos días se midieron las concentraciones finales utilizando una solución Nessler y un multiparamétrico para determinación de nutrientes HI803225 de Hannah Instruments. La capacidad de adsorción se determinó mediante los datos del amonio (NH₃) para obtener la capacidad de remoción (q) la cual describe la cantidad de mg de contaminante removido por cada gramo de material utilizado. La fórmula que relaciona todos estos elementos es la siguiente:

$$q_e = \frac{V_0 C_0 - V_f C_f}{m}$$

Dónde:

q_e= masa de amonio adsorbido

(mg/g)V₀= Volumen inicial

(L)C₀= Concentración inicial del adsorbato

(mg/L)V_f= Volumen final

(L)C_f= Concentración final del adsorbato (mg/L)

RESULTADOS

Caracterización por titulación

De acuerdo con los experimentos realizados en los materiales creados, se obtuvieron un número de datos de caracterización que buscan la concordancia con la remoción de contaminantes. Primeramente, en La Figura 1 muestra la Comparación de Sitios Ácidos Totales para el esparrago modificado con ácido cítrico y blanco, en donde la determinación de la concentración sitios ácidos totales (Csat) para las diferentes normalidades a las que se modificó el esparrago, y claramente existe una tendencia en aumento en la cantidad de los sitios a medida que se aumenta la normalidad de la modificación, teniendo gran potencial para que sean aún mayores usando concentraciones más altas del ácido cítrico u otros tipos de ácido.

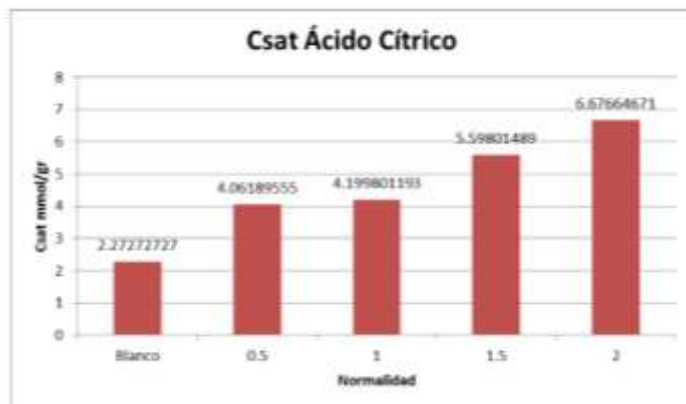


Figura 1. Comparación Sitios Ácidos Totales para el esparrago modificado con ácido cítrico y blanco

Lo anterior se atribuye a la oxidación mayor que es generada por el ácido cítrico, lo que propicia que existan más cantidad de grupos carboxílicos y por ende más sitios ácidos activos (R. Leyva, 2005).

En comparación, se tiene que el blanco, es decir el esparrago natural ya cuenta con una cantidad considerable de sitios, cantidad que se triplica, existiendo altas posibilidades de remoción de iones de compuestos contaminantes, en base a lo anterior se puede decir que la superficie del esparrago es ácida por naturaleza haciéndolo un material ideal para este tipo de modificación.

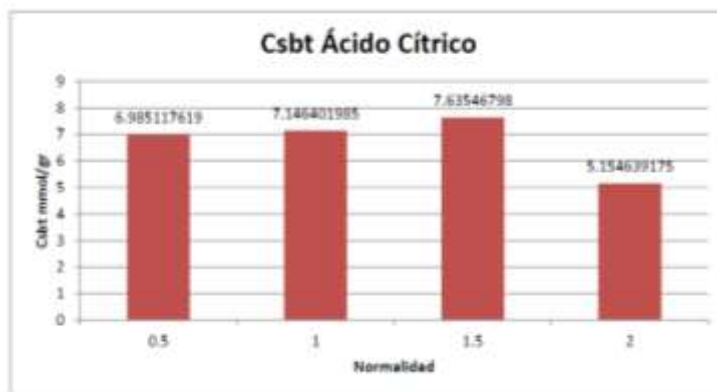


Figura 2. Comparación Sitios básicos Totales para el esparrago modificado con ácido cítrico

En la Figura 2 se muestra la Comparación de Sitios Básicos Totales para el esparrago modificado con ácido cítrico, en los cuales se observa que a mayor concentración de $C_6H_8O_7$ aumentara la cantidad de sitios básicos, teniendo como resultados a 1.5N de 7.6354 mmol/gr.

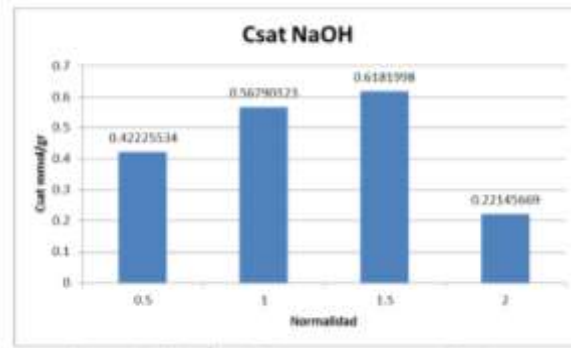


Figura 3. Comparación Sitios Ácidos Totales para el esparrago modificado con hidróxido de sodio

La Figura 3 muestra la Comparación de Sitios Ácidos Totales para el esparrago modificados con hidróxido de sodio, en donde la cantidad es mínima de sitios ácidos activos, se va reduciendo en gran cantidad aquella que trae por naturaleza el esparrago a tal punto que es poco viable que se pueda remover los contaminantes objetivo de esta investigación, esto se complementa con los resultados la prueba de remoción de amonio que se verán más adelante.

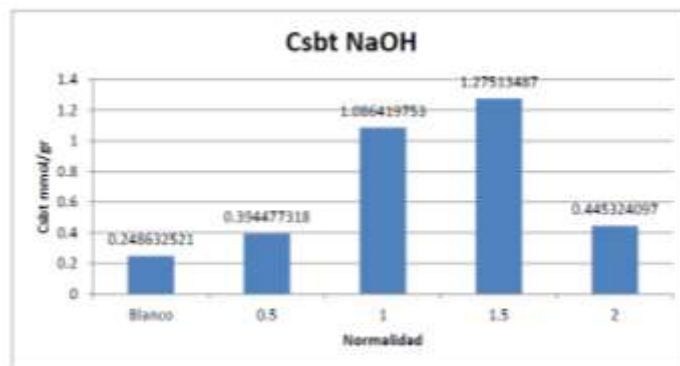


Figura 4. Comparación Sitios Básicos Totales para el esparrago modificado con hidróxido de sodio y blanco

En la Figura 4 se observa nuevamente la Comparación de Sitios Básicos Totales para el esparrago modificado con NaOH y el blanco, de los cuales tiene un impacto menos significativo que el AC en cuanto a los sitios básicos activos, sin embargo, tal cantidad indican un potencial para otro tipo de compuestos que sean contaminantes en el agua. Dentro de la figura 4 observamos la tendencia en aumento de los sitios hasta alcanzar un pico en la modificación a 1.5 de normalidad y una disminución drástica para el siguiente punto, pudiendo deberse a que se alcanzó la resistencia máxima del material a la base usada, tendencia que también se observa en prueba de sitios ácidos.

Tabla 1. Punto de carga cero de todos los materiales

Material	Punto de carga cero
Blanco	4.89
AC 0.5N	3.93
AC 1N	3.95
AC 1.5N	3.72
AC 2N	3.64
NaOH 0.5N	6.05
NaOH 1N	6.11
NaOH 1.5N	6.23
NaOH 2N	6.3

En la Tabla 1 Puntos de carga cero, se muestran los cambios de pH de los diferentes materiales y esto se puede atribuir a la naturaleza de la modificación, puesto que las sustancias ácidas y básicas propician el cambio a su respectivo rango de pH.

Los valores a lo largo de la gráfica se mantienen bastante similares al blanco, con un punto clave en rango 3.5 de pH donde se cruzan las líneas, que corresponde al valor de PCC que es de 3.6, los cambios se deben a la modificación ácida del esparrago más su naturaleza ácida. El resultado para el primer material, se observa en la Figura 5, donde se compara la carga superficial en mmol/g contra los materiales a diferentes pH, e indica la carga que tuvieron al momento de la medición, siendo el 0 una carga neutra, este material tiene una clara tendencia hacia la negatividad, esto concuerda con las pruebas de sitios ácidos y de adsorción de amonio. Si la carga de un material es negativa, significa que es más propensa a atraer iones positivos o cationes, que en este caso nos beneficia para que la descontaminación se lleve a cabo por diferencia de cargas.

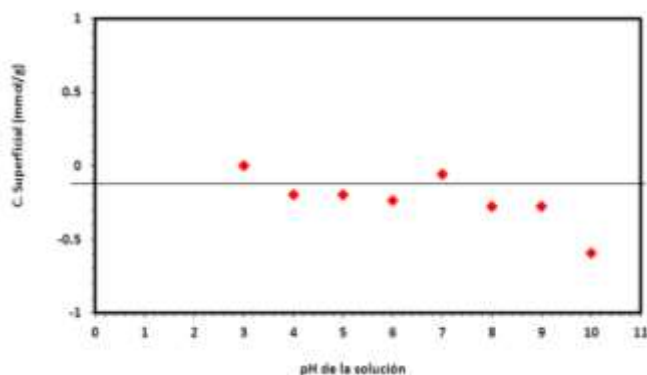


Figura 5. Comparativa de valores de pH para el esparrago con ácido cítrico

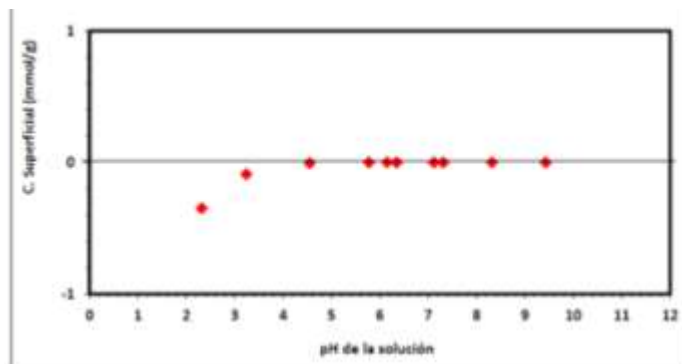


Figura 6. Distribución de carga del material con hidróxido de sodio

En la Figura 6 se puede observar la Distribución de carga de material con NaOH hacia una tendencia hacia la neutralidad del esparrago a 1.5N con NaOH, sugiriendo que la modificación hace que las cargas del esparrago natural disminuyan y teóricamente esto repercute en su capacidad de adsorber cationes, esto se ve reflejado más adelante en la prueba de adsorción.

Espectrometría de absorción en el infrarrojo (FTIR)

En la Figura 7 es posible observar la comparación de todos los espectros de infrarrojo para la modificación con AC y el blanco, en donde principalmente se detecta la presencia de enlaces carbono oxígeno ($1000-1500\text{ cm}^{-1}$), grupos carbonilos de doble enlace $\text{C}=\text{O}$ que absorben la luz infrarroja de las longitudes de onda aproximadamente entre $1680-1750\text{ cm}^{-1}$, carbono hidrogeno en la longitud de $2500-3000\text{ cm}^{-1}$ y grupos O-H en la zona final. El esparrago con ácido cítrico a 1N muestra una absorbancia considerablemente más alta en sus enlaces carbono oxígeno, mientras que a mayor oxidación se nota un decaimiento en todos los grupos.

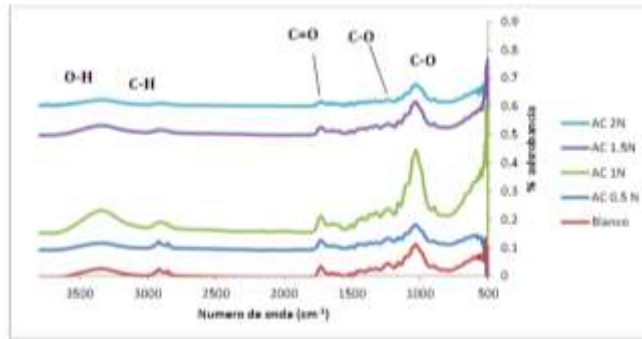


Figura 7. Comparación de FTIR para esparrago con ácido cítrico

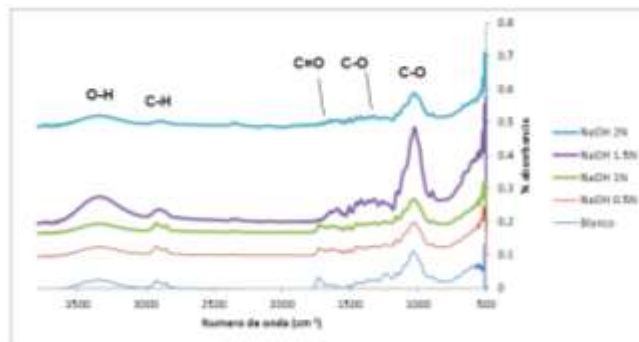


Figura 8. Comparación de FTIR para esparrago con hidróxido de sodio.

En la Figura 8 muestra la comparación de la modificación con hidróxido de sodio el material que parece poseer más enlaces carbono oxígeno es el modificado a 1.5 de normalidad, además de que se nota una cantidad menor en comparación a aquellos con AC, tanto para los carbonilos como para enlaces C-H y O-H. La superficie del esparrago se ve claramente afectada por la modificación con NaOH, exceptuando los enlaces carbono-oxígeno, sin embargo, la obviedad apunta a que la mejor modificación es con ácido para la remoción de cationes.

Microscopía electrónica de barrido y energía dispersa de rayos X

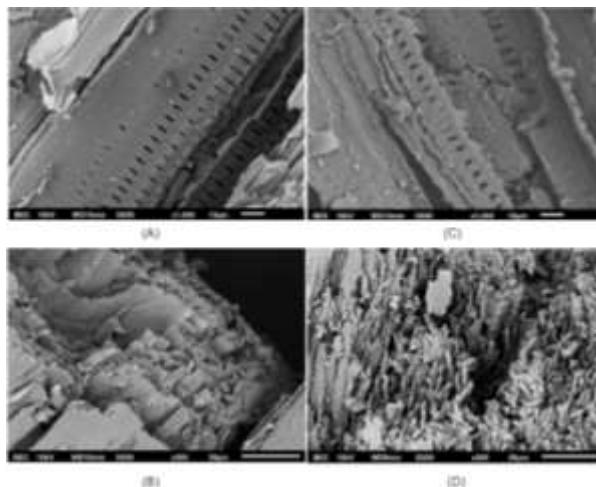


Figura 9. Micrografías de materiales a x1000 de AC (1) y NaOH (2); y a x500 de AC (3) y NaOH (4)

En la Figura 9 se muestran las micrografías de los dos mejores materiales (AC 2N y NaOH 1.5), muestran claras diferencias en su composición física, la propiedad más significativa que puede observarse en una primera instancia es la integridad de los materiales modificados, la comparación del material con AC [(A) y (B)] en cuanto a su estructura al lado del alto grado de destrucción en el esparrago con hidróxido de sodio [(C) y (D)].

El acercamiento a las capas del esparrago hace notar su estructura celulósica y la firmeza derivada de esto en sus componentes. Esta prueba se realiza en conjunto con energía dispersa de rayos x (EDX) la cual genera espectros y nos indican algunos de los elementos que poseen los materiales y también se realizó de manera cualitativa.

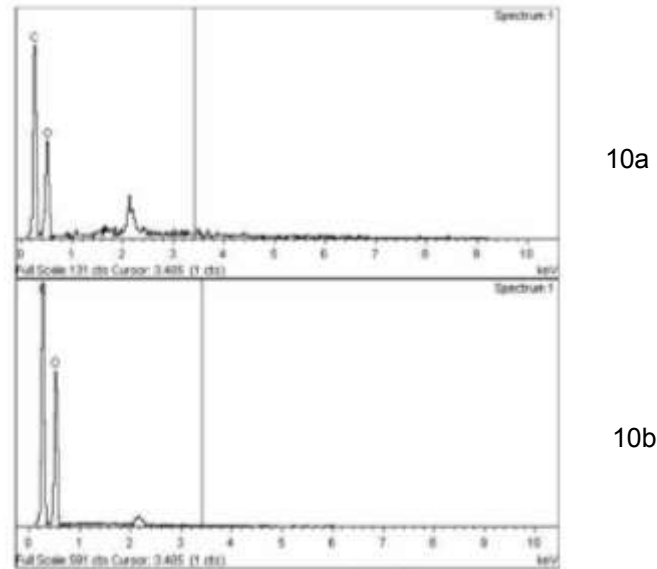


Figura 10a y 10b Espectro del esparrago con ácido cítrico

En las Figuras 10a y 10b se puede observar la alta presencia de carbono y oxígeno para el esparrago con ácido cítrico, concordando con la espectrometría de infrarrojo. En la Figura 11 muestra el caso del hidróxido de sodio, en donde de igual forma cuenta con una alta presencia de carbono y oxígeno, algo recurrente en materiales lignocelulosos, sin embargo en este también se localizan residuos de magnesio, posiblemente de alguna contaminación o que, este compuesto al igual que el calcio, pudiera encontrarse adherido al esparrago desde el lugar de procedencia y que a pesar de los lavados, el enlace por el cual se encontraba adherido, lo mantuvo ahí hasta la caracterización.

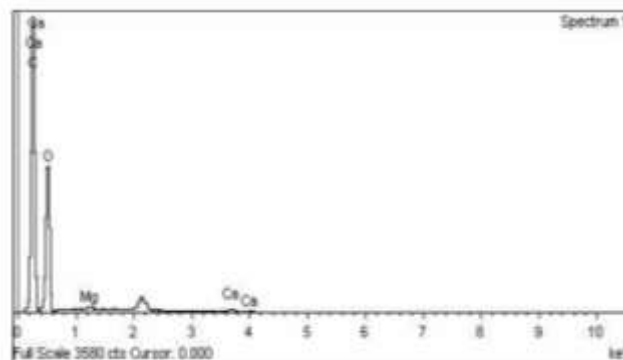


Figura 11. Espectro del esparrago hidróxido de sodio

Prueba de remoción de amonio

Tomando los 2 mejores materiales de acuerdo a los sitios ácidos totales, se realizaron 2 pruebas de remoción para amonio, en la Figura 12 para el ácido cítrico, encontramos valores de amonio removido por cada gramo de esparrago utilizado obtenido por un balance de masas y que arroja un resultado denominado “q” que establece esta relación de remoción. En esta figura se encuentra una relación muy estrecha entre el amonio removido y la cantidad de sitios ácidos totales, llegando a un pico en el esparrago a 2.5 de normalidad, esto puede deberse a la naturaleza del contaminante removido que saturó los sitios disponibles y ya no pudo adsorberse más, sin embargo se recomiendan experimentaciones futuras.



Figura 12. Comparativa de valores de remoción de amonio para el esparrago con ácido cítrico a diferentes concentraciones

En la Figura 13 se describe el caso del esparrago con modificación de NaOH, sin embargo, concordando con los datos de sitios activos y lo observado en las micrográficas, la remoción es casi completamente nula, siendo la modificación a 0.5N la única que tuvo un resultado que a su vez es poco relevante, y que para el contaminante objetivo no funciona, aun así puede tener potencial para otros contaminantes dependiendo de la carga y propiedades de estos.



Figura 13. Comparativa de valores de remoción de amonio para el esparrago con hidróxido de sodio a diferentes concentraciones

CONCLUSIONES

- Las propiedades naturales del esparrago fueron mejoradas, tratándolo con ácido cítrico, potenciando la carga negativa que trae por defecto este residuo.
- El ácido cítrico juega un rol muy importante al momento de potenciar esta propiedad ya que su acción triplica cantidad de sitios ácidos totales que posee, pasando de 2 mg/g a 8.7475 mg/g, por lo que puede tender a ser modificado otros tipos de ácido y se espera un resultado favorable.
- El hidróxido de sodio no provee ningún cambio significativo para esta investigación, pues debido a su composición, es demasiado agresivo para este material, destruyéndolo y empeorando las capacidades naturales.
- Las reacciones que ocurren dentro de la modificación del esparrago por el tratamiento dado, hacen necesario el uso de equipamiento más avanzado que pueda detectar

estos cambios, pues algunos de los resultados obtenidos muestran que pueden existir interferencias que eviten obtener la fidelidad a un casi total.

REFERENCIAS

1. NOM-072-ECOL-1994
2. NOM-001-SEMARNAT-1996
3. Sun, G., Gray, K., Biddlestone, A., & Cooper, D. (1999). Treatment of agricultural wastewater in a combined tidal flow-downflow reed bed system. *Water Science And Technology*, 139-146
4. NOM-001-SEMARNAT-1996
5. Cuizano, N. & Navarro, A. (2016). Biosorción de metales pesados por algas marinas: Posible solución a la contaminación a bajas concentraciones. ResearchGate
6. Leyva Ramos, R., Bernal Jacome, I., & Acosta Rodríguez, I. (2005). Adsorption of cadmium(II) from aqueous solution on natural and oxidized corncob. *Separation And Purification Technology*, 41-49.
7. Boehm, H. (1994). Some aspects of the surface chemistry of carbon blacks and other carbons. Múnich, Alemania: Instituto de química inorgánica de Múnich.
8. Martínez, A. (2016). MICROANÁLISIS POR DISPERSIÓN DE ENERGÍAS DE RAYOS-X (XEDS). Universidad de Málaga.

EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO, POR ACTIVIDADES DE EXPLORACIÓN DE POZOS PETROLEROS (2010-2019).

María Guadalupe Caraveo Córdova, Ebelia Del Ángel Meraz, Mayra Agustina Pantoja Castro, Laura Lorena Díaz Flores, Alida Elizabeth Cruz Pérez y Ma. Guadalupe Rivera Ruedas.

Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Licenciatura en Ingeniería Química, Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Km. 1, Colonia La Esmeralda, 86690, Cunduacán, Tabasco. ebelia.delangel@ujat.mx

RESUMEN

México emitió 683 millones de toneladas de bióxido de carbono equivalente (MtCO_2e) de gases efecto invernadero (GEI) en el 2015. El gas más relevante que emite nuestro país es el bióxido de carbono con 71% de las emisiones, seguido del metano con el 21%¹. Tabasco produce aproximadamente el 16% de petróleo crudo nacional de acuerdo a la información emitida por la secretaria de Energía (SENER) ². Tabasco, es uno de los principales estados que se dedican a la producción de petróleo en el país. El presente trabajo se llevó a cabo el cálculo de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el cual comprende algunas estimaciones de las emisiones del Sector Energía de la Región Sur (Tabasco-Chiapas), considerando como base de cálculo los años 2010 al 2019. Se realizó una base de datos para realizar las conversiones necesarias de datos de producción de petróleo y procesamiento de gas natural utilizando al software del IPCC versión 2006. Los cálculos de emisiones de GEI, se realizaron de acuerdo a las directrices establecidas por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC)³. Las emisiones de GEI se calcularon considerando información publicada en los Balances Nacionales de Energía de la Secretaría de Energía (SENER; 2010-2019) y se aplicaron los factores de emisiones para Nivel 1 establecidos en las directrices metodológicas del IPCC. Se registraron emisiones de Dióxido de Carbono (CO_2) por campo seleccionado. El campo Samaría es el que más CO_2 emite con un rango de 1.52E^{-04} a 7.65E^{-05} Gg para el año 2018, se observó que las emisiones de CO_2 disminuyen, conforme pasan los años. Por otro lado, la región sur emitió más CH_4 en comparación con el Litoral de Tabasco, presentando rangos de 1.81E^{-03} a 0.00074 (Gg). Para las emisiones de producción de gas seco en centros procesadores de gas se observó que el complejo Nuevo Pemex emitió más CO_2 , encontrando su punto máximo de emisión en el año 2011 con 0.00549 Gg, para el año 2019 disminuyó hasta 0.003929 Gg. El objetivo fundamental de un inventario de emisiones atmosféricas es organizar la información que permita a las entidades federales, estatales y municipales la planeación de estrategias para el control de emisiones, todo esto contribuirá con el proceso de gestión de la calidad del aire.

INTRODUCCIÓN

Los gases de efecto invernadero son compuestos químicos en estado gaseoso como el vapor de agua, el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) y el óxido nitroso (N_2O) que se acumulan en la atmósfera de la Tierra y que son capaces de absorber la radiación infrarroja del Sol, aumentando y reteniendo el calor en la atmósfera. Los gases efecto invernadero (GEI) contribuye al efecto invernadero intensificando sus efectos sobre el clima en la medida que aumentan⁴. El tratado internacional Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático realizado en 1992, se hizo con el objeto de encontrar una manera de minimizar los gases de efecto invernadero. Solicitando a los países participantes en la convención, la realización de inventarios que tuvieran precisión y se actualizarán los datos con regularidad ⁵.

En el sector de petróleo y gas se reportan las emisiones por la producción, transporte, distribución, procesamiento y uso de hidrocarburos en el país. Los datos de actividad derivan de información de Petróleos Mexicanos (Pemex) y del Sistema de Información Energética (SIE). Se estimaron las emisiones de CO_2 y CH_4 por la quema de combustibles que emplean distintos equipos de combustión; se incluye también un estimado de las fugas de CO_2 y CH_4 provenientes de los procesos de producción, quema, venteo y distribución de hidrocarburos. En 2013 el sector petróleo y gas emitió $80,455.26$ Gg de CO_2e que representó el 12.1% de las emisiones totales de GEI a nivel nacional.

El Inventario es un instrumento que nos permite conocer las emisiones de nuestro país que se originan por las actividades humanas en todo el territorio nacional. Es un ejercicio fundamental para diseñar las políticas de reducción de emisiones, entendiendo las principales fuentes y el papel que juegan los ecosistemas capturando parte de estas emisiones. Realizar un inventario, con apego a criterios científicos y técnicos establecidos por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), es un compromiso internacional de nuestro país, al ser signatario de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)³.

TEORÍA

Hoy en día son más que evidentes los problemas ambientales que la sociedad enfrenta, derivados del desmedido crecimiento poblacional, vinculado a la creciente demanda de bienes y servicios y su directa repercusión sobre la explotación de los recursos naturales⁴.

El uso intensivo de la energía basada en la quema de combustibles de origen fósil -como el petróleo, carbón y gas- ha sido uno de los principales insumos del crecimiento económico durante varias décadas, tanto en países desarrollados como en desarrollo. Sin embargo, la externalidad negativa asociada al consumo de este tipo de combustibles son las emisiones de gases efecto invernadero (GEI, por sus siglas en inglés, International Energy Agency)⁶. Con ello viene el aumento de la temperatura, el cual genera cambios importantes en el clima global como son: modificaciones en los patrones de precipitación, cambios en la intensidad o en la frecuencia de eventos climáticos extremos, reducción de la criósfera y alza del nivel de mar³. Estabilizar la temperatura media del planeta implica reducir los niveles de emisiones globales de dióxido de carbono equivalentes (CO₂e). En materia de políticas de mitigación del cambio climático se han planteado, entre otras alternativas, mejorar la eficiencia energética y racionalizar el uso de la energía; implementar procesos de captura de CO₂; y una de las principales recomendaciones, es la sustitución de fuentes de energía de origen fósil por energías renovables sin afectar el crecimiento económico⁶.

El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC por sus siglas en inglés) fue establecido por la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) en 1988. Su objetivo principal era evaluar la información científica, técnica y socioeconómica pertinente para la comprensión del cambio climático inducido por el ser humano, los impactos potenciales del cambio climático y las opciones de mitigación y adaptación. El IPCC ha completado informes de evaluación, ha elaborado directrices metodológicas para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, informes especiales y documentos técnicos³.

PARTE EXPERIMENTAL

Para realizar las estimaciones de CO₂ generados por la Producción de petróleo, se utilizó el Nivel 1, utilizando las directrices del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2006) para realizar estimaciones de gases de efecto invernadero³. Los pasos se detallan en la Figura 1 del Árbol de Decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión. Las etapas son; A) Recopilación de datos de sobre la producción de petróleo crudo y la producción de gas en el Sistema de Información Energética (SIE) de la secretaria de energía SENER y con esta información se realizó una base de datos en Excel. Se realizaron las conversiones necesarias para convertir los mmpc a petajoules. B) Estimación de emisiones de contaminantes de CO₂ de acuerdo al método de referencia IPCC (2006) nivel 1, se utilizó el software recomendado por el IPCC versión 2006, para el cálculo de las emisiones de gases de efecto invernadero. Usando la fórmula $C=A*B$.

Donde C= emisiones (CO₂ y CH₄) (Gg), A= Cantidad de petróleo crudo o gas y B= Factor de conversión (Gg de CO₂ y CH₄).

La elección del método está determinada por el grado de detalle de los datos de actividad disponibles, como puede verse en la Figura 1, "Árbol de decisiones para seleccionar el método de estimación de las emisiones de CO₂ procedentes de fuentes fijas de combustión.

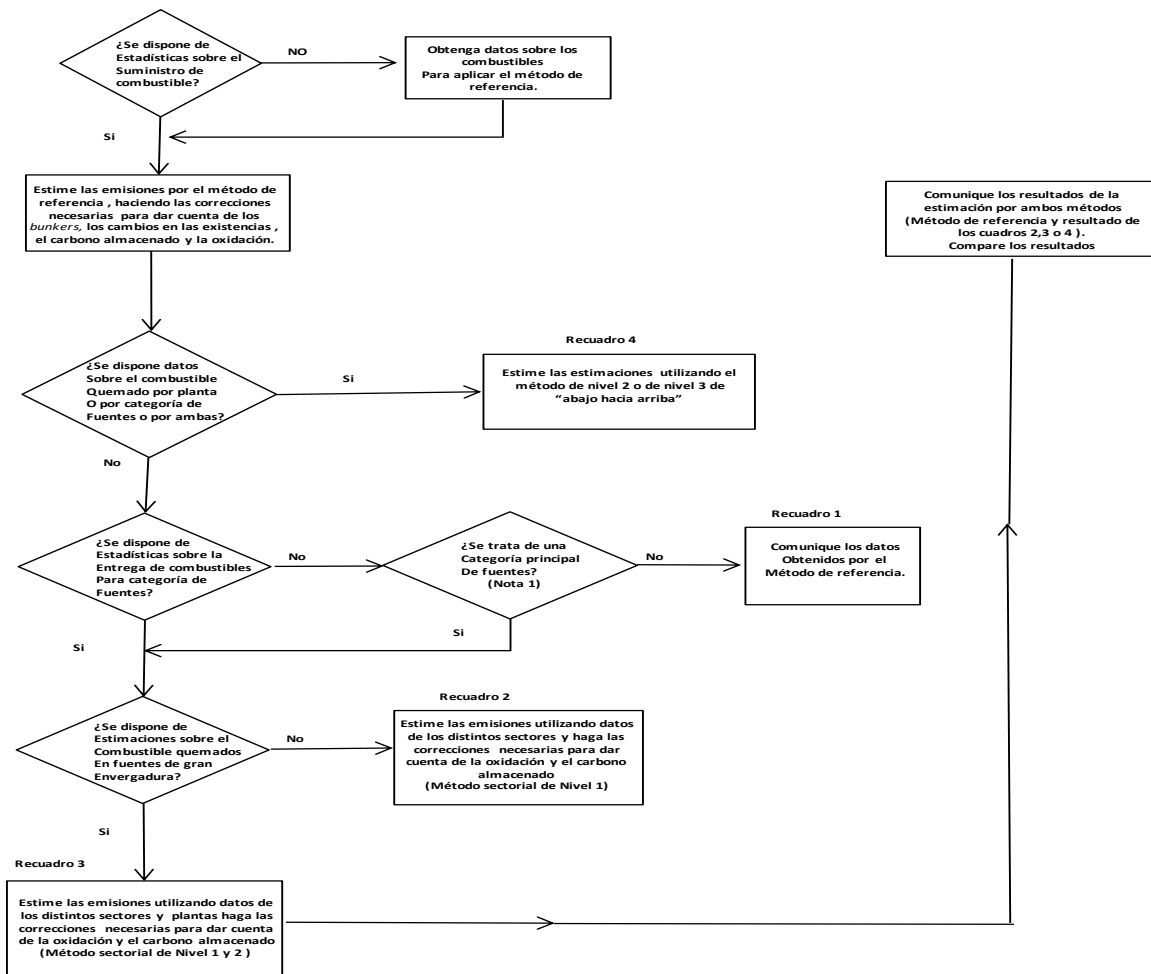


Figura 1.- Árbol de decisión para estimación de las emisiones del CO₂

RESULTADOS

Se calcularon las emisiones de CO₂ y CH₄ en los procesos de producción de petróleo y gas en el litoral de Tabasco con el Software oficial del IPCC, como se indicó en la Metodología, considerando la información de la secretaria de Energía (SENER) y los anuarios estadísticos de (PEMEX) y los Balances Nacionales de Energía. En la Tabla 1, se muestra la información estadística del petróleo producido (mbd) por Campo, para las estimaciones de GEI en Tabasco del año 2010 al 2019. En el litoral de Tabasco la producción de petróleo la podemos observar en el gráfico 1, donde se indica la producción de petróleo crudo producido en miles de barriles diarios (mbd) en los diferentes activos de producción durante los años 2010 al 2019, siendo en otros Pozos de Producción no identificados y Caparroso-Pijje-Escuintle en donde se tienen las mayores producciones de crudo como se aprecia en la Tabla 1. Es posible ver que la producción en Otros Pozos de producción no identificados disminuyó en el año 2018 y para el 2019 aumento, pero en menor producción con respecto a los años anteriores al 2018.

Tabla 1. Petróleo crudo producido (mbd) en Tabasco

Por Campos	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Samaria	101.13	96.41	88.78	104.72	122.30	106.37	76.13	60.14	50.99	0
Tizón	32.08	27.62	41.52	61.30	61.85	60.29	63.62	52.60	42.91	0
Costero	46.72	52.33	47.38	47.49	44.28	25.71	18.95	13.03	7.38	0
Jujo-Tecominoacán	100.10	69.16	57.88	50.67	40.68	25.18	23.46	20.75	20.30	0
Rabasa	16.82	28.15	32.24	40.02	40.47	42.27	39.22	33.99	25.83	0
Sen	126.85	133.95	113.54	66.79	31.06	15.86	11.37	9.77	7.44	0
Caparroso-Pijije-Escuintle	120.39	147.88	101.47	61.81	29.36	30.89	28.61	19.38	17.40	0
Teotleco	21.64	31.92	32.82	37.82	27.35	15.42	11.39	10.84	11.57	0
Otros	674.98	647.12	624.57	637.78	644.84	557.83	496.03	375.46	326.09	493.33
Total	1240.71	1234.54	1140.20	1108.40	1042.18	879.87	768.82	596.01	509.96	493.33

La Figura 2 muestra las emisiones de CO₂ (Gg) originadas por la producción de petróleo en los diferentes campos de explotación, se observa que las mayores emisiones se dan en otros campos de producción no identificados con emisiones de un rango de 0.00007425- 0.0000543 Gg, obteniendo el 54% de las emisiones totales. Después le continuó el Samaria, el cual tuvo su mayor punto de emisión en el año 2014 con un valor de 0.0000135 Gg.

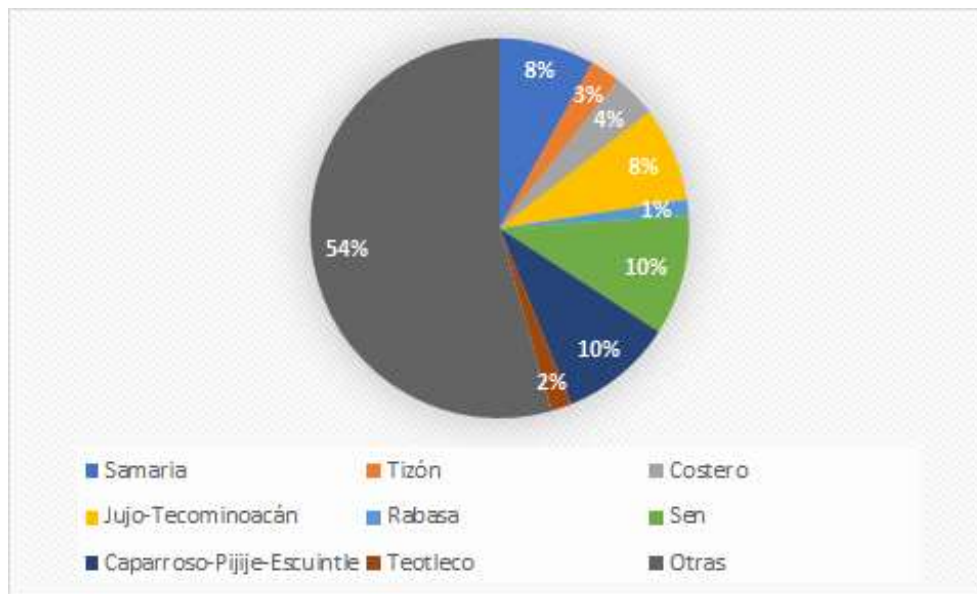


Figura 2. Petróleo crudo producido (mbd) en Tabasco

En la Tabla 2, se indica la producción de miles de pies cúbico diarios (mpcd) de gas natural seco del año 2010 al 2019, de los centros procesadores de gas ubicados en el estado de Tabasco y Chiapas, esta información fue extraída de los balances nacionales de energía. Como se puede ver, en el año 2013 las producciones fueron mayores con respecto a los demás años. Nuevo Pemex produjo más gas seco a diferencia del centro procesador de La Venta que obtuvo valores muy pequeños que fueron disminuyendo con el transcurso de los años oscilando con un rango de 123.9-86.714 mpcd.

Tabla 2. Producción de gas natural seco en miles de pies cúbico diarios (mpcd).

Producción de gas seco en centros procesadores de gas										
(millones de pies cúbicos diarios)										
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Producción	3,618.22	3,691.64	3,628.26	3,693.37	3,639.92	3,397.55	3,046.87	2,662.78	2,418.22	2,303.69
Cactus	761.6	815.7	770.2	745.9	829	783.57	716.00	541.10	521.95	449.42
Ciudad Pemex	756.8	715.0	786.9	734.5	738	680.69	610.42	612.67	600.40	609.71
La Venta	123.9	127.3	125.0	140.4	144	146.56	128.19	118.12	138.83	86.71
Nuevo Pemex	943.6	949.3	876.6	925.2	876	885.91	878.57	815.50	643.00	673.38

Fuente de PCN: Balance Nacional de energía- 2010-2020
Fuente de Datos: secretaria de energía (Prontuario)

Los datos anteriormente reportados se calcularon en el software del IPCC versión 2006 las emisiones de CO₂, generadas durante la producción de gas seco, como se muestra en la Figura 2. El complejo procesador que más emisiones de bióxido de carbono genera es el de Nuevo Pemex, las emisiones fueron disminuyendo en el transcurso de los años con valores en rango de 1.32E⁻⁰²-9.42E⁻⁰³ Gg. Seguido del centro procesador de Cactus el cual, tuvo mayores emisiones de CO₂ en el año 2011 con un valor de 1.14E⁻⁰² Gg el cual disminuyo en los años posteriores hasta llegar a 6.29E⁻⁰³ Gg en el año 2019.

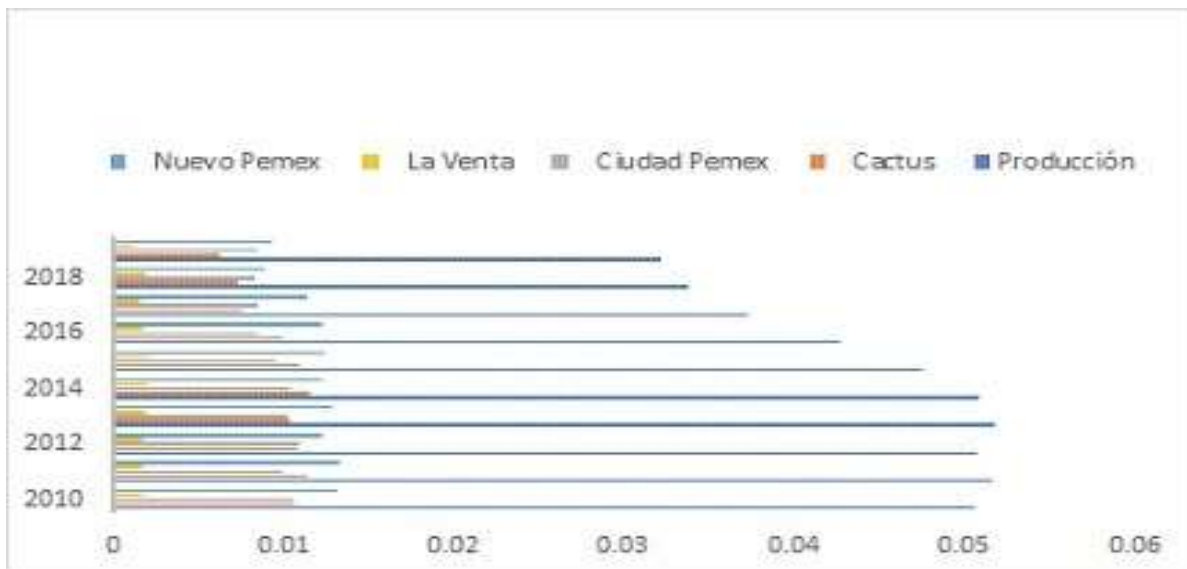


Figura 3. Emisiones de CO₂ (Gg) por producción de crudo por campo en los años 2010-2019

Emisiones fugitivas de metano

Las actividades del petróleo y gas natural generan emisiones de metano (CH₄), en la Tabla 3 se presentan el número de pozos perforados en los años correspondientes al 2010-2019, estos a su vez están divididos por resultado de exploración. En el año 2019, seis de los doce pozos que estaban terminados se mostraban improductivos, dos producían gas y cuatro extraían petróleo crudo en comparación del año 2010 en el cual había once pozos terminados de los cuales solo tres se encontraban improductivos, uno producía gas y siete producían petróleo crudo, es decir, había más actividad petrolera en el año 2010 que en el año 2019.

Tabla 3. Número de pozos perforados 2010-2019.

Pozos terminados:										
Por resultado Exploración	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Región sur	11	7	11	9	5	3	4	5	3	12
Crudo	7	4	3	5	0	1	0	2	0	4
Gas	1	0	1	0	0	1	0	1	1	2
Improductivo	3	3	7	4	5	1	4	2	2	6

Fuente: SENER

Los Factores de Emisión utilizados de la Tabla 4, obtenidos de las directrices del IPCC 2006, en donde se mencionan los rangos de los factores de emisión de CO₂ y CH₄ del Libro de trabajo de las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero, estos factores se usaron para realizar los cálculos en el software, para ello fue necesario hacer conversiones de unidades de los datos recopilados en Excel para tener unidades homogéneas en Gg.

Tabla 4. Factores de emisión según el IPCC

Factores de emisión de Nivel 1 para las emisiones fugitivas procedentes de petróleo y gas								
Categoría	Subcategoría	Fuente de emisión	Código del IPCC	CH ₄		CO ₂		Unidad de medida
				Valor	Incertidumbre	Valor	Incertidumbre	
Producción de gas	Todas	Fugitivas	I.B.2.b.iii.2	3.8 E-04 a 2.3 E-03	±100	1.4E-05 a 8.2E-05	±100	Gg por 10 ⁶ m ³
Producción de petróleo	Todas	Petróleo convencional	I.B.2.a.iii.2	1.5E-03 a 3.6E-03	±100	1.1E-07 a 2.6E-04	±100	Gg por 10 ³ m ³

Para calcular los equivalentes de CH₄ en Gg de CO₂ se utilizan los factores de emisión de la Tabla 4, en la cual se mencionan los rangos de los factores de emisión por defecto para la región "Otros Países Exportadores de Petróleo" que se presenta en la Tabla 5 del Libro de trabajo de las Directrices del IPCC para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero y en la última columna están los valores de los factores de emisión que se utilizaron para estimar las emisiones de metano de las diferentes fuentes en la producción de petróleo y gas, en el transporte, almacenamiento y refinación del petróleo crudo, y en el procesamiento, transmisión y distribución del gas en la industria del petróleo y gas en Tabasco.

Tabla 5. Factores de Emisión por defecto para la estimación de las emisiones de metano en equivalentes de CO₂.

Tipo de Fuente	Base	Factor emisión de (kg CH ₄ /PJ)	Factor de emisión utilizado (kg CH ₄ /PJ)
Producción de Petróleo y Gas			
Emisiones Fugitivas y otras emisiones que se presentan durante el mantenimiento en la producción de petróleo	Petróleo producido	300 - 5000	2650
Emisiones Fugitivas y otras emisiones que se presentan durante el mantenimiento en la producción de gas	Gas producido	46000 - 96000	71000

* El valor 288000 kg/PJ de gas producido se emplea solamente para la estimación de las emisiones elevadas.
 ** El valor 118000 kg/PJ de gas consumido se emplea solamente para la estimación de las emisiones bajas.

En la Figura 4 se muestran las emisiones de metano por la actividad de perforación de pozos en Gigagramos de CO₂ equivalentes. Se observa que las emisiones de CH₄ aumentaron del año 2018 con un valor de 8000 kg CH₄ a 32257 kg de CH₄ en el año 2019, para realizar este cálculo se multiplico el valor de la producción de la región sur en Petajoules por el factor de conversión que se encuentra en la tabla 4.



Figura 4.- Emisiones de Metano en Gg de CO₂ equivalentes por la perforación de pozos en la Región Sur.

Las emisiones de metano por la actividad de petróleo crudo en los diferentes activos de producción se muestran en la Figura 5, se observa que la Región Sur emite más metano con valores de $1.8127E^{-03}$ Gg para el año 2010 comparado con el Litoral de Tabasco que en el mismo año produjo $1.6E^{-03}$ Gg. El activo Sen en el año 2010 produjo $1.85E^{-04}$ Gg y para el año 2019 ya no se encontraba activo al igual que el Samaria, Tizón, Costero, Jujo-Tecominoacán, entre otros.

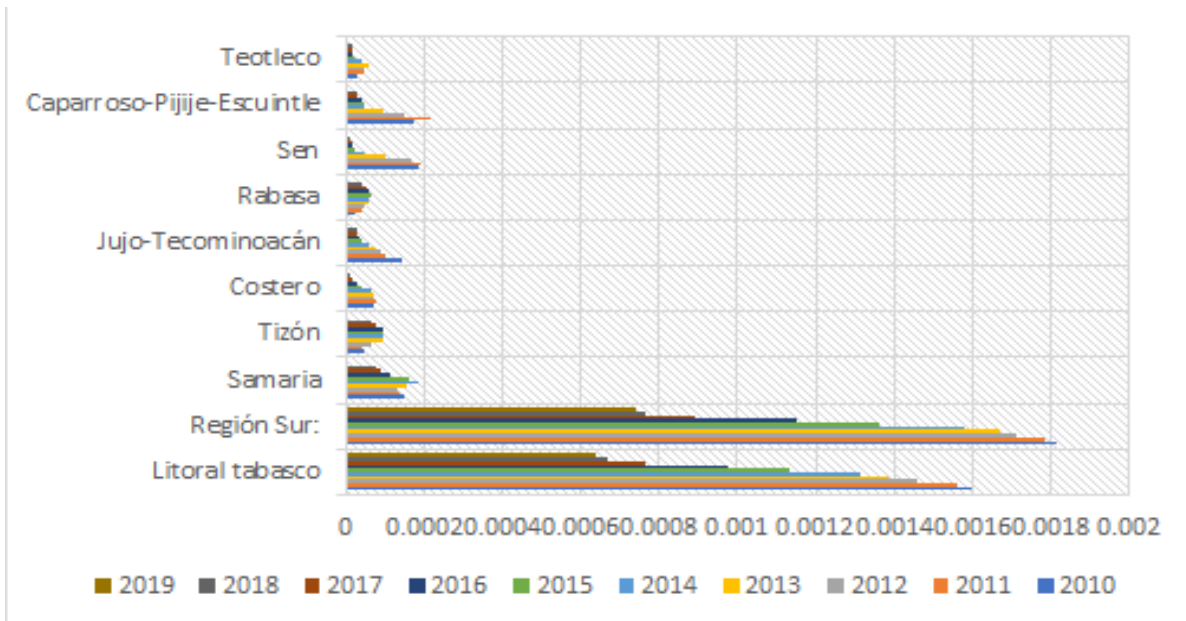


Figura 5. Emisiones de metano en Gg por la producción de petróleo crudo.

De manera desagregada podemos observar en la Figura 6, las emisiones de metano en Gg por las actividades de extracción del petróleo crudo en los campos seleccionados, donde se visualiza que los otros campos no identificados son los que más emisiones generaron siendo el año 2010 en el las emisiones alcanzaron su punto máximo con un valor de $1.01E^{-03}$ Gg y para el año 2019 disminuyeron a $7.4E^{-04}$ Gg, la disminución se debió a que la producción fue bastante baja en ese año.

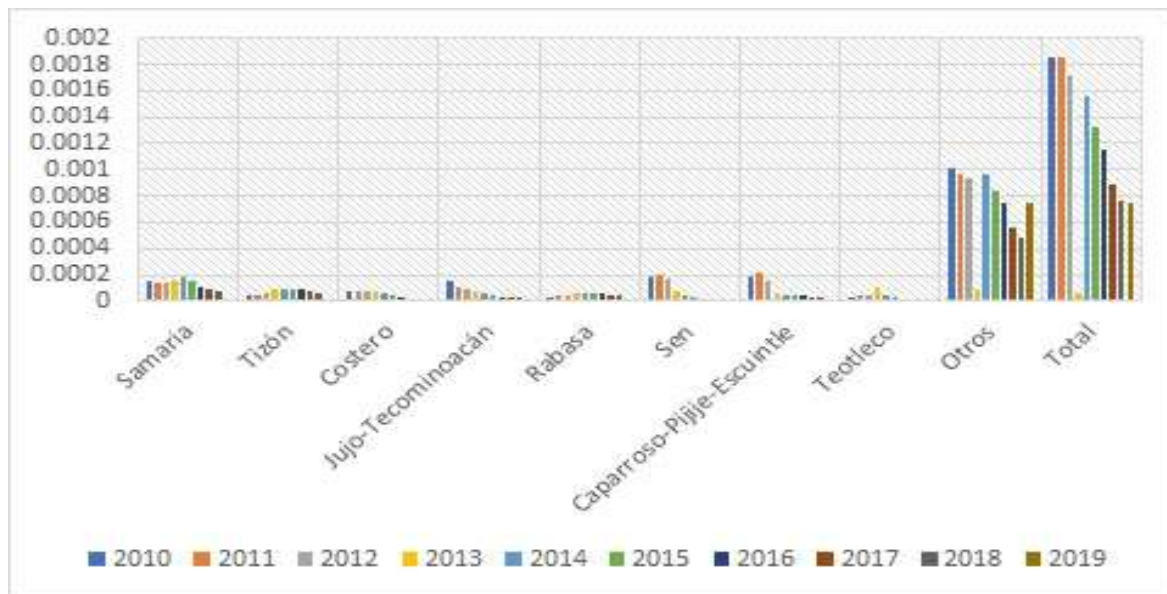


Figura 6. Emisiones de CH4 en Gg de CO2 equivalentes en campos de PEMEX (2010-2019)

En la Figura 7 se muestran las emisiones de CH4 equivalentes por activo integral en el que se observa que el litoral de Tabasco tuvo mayores emisiones de CO2 en el año 2016 con un valor de $5.08E^{-03}$ Gg y después le siguió el samaria Luna que alcanzó su mayor punto de emisión en el año 2010 con un valor de $4.03E^{-03}$ Gg y para el año 2019 disminuyó hasta alcanzar un valor de $2.01E^{-03}$

Gg. Sin embargo, Cinco presidentes mantuvo bajo su rango de emisiones en los años 2010-2019 con valores de $4.32E^{-04}$ - $6.48E^{-04}$ respectivamente.

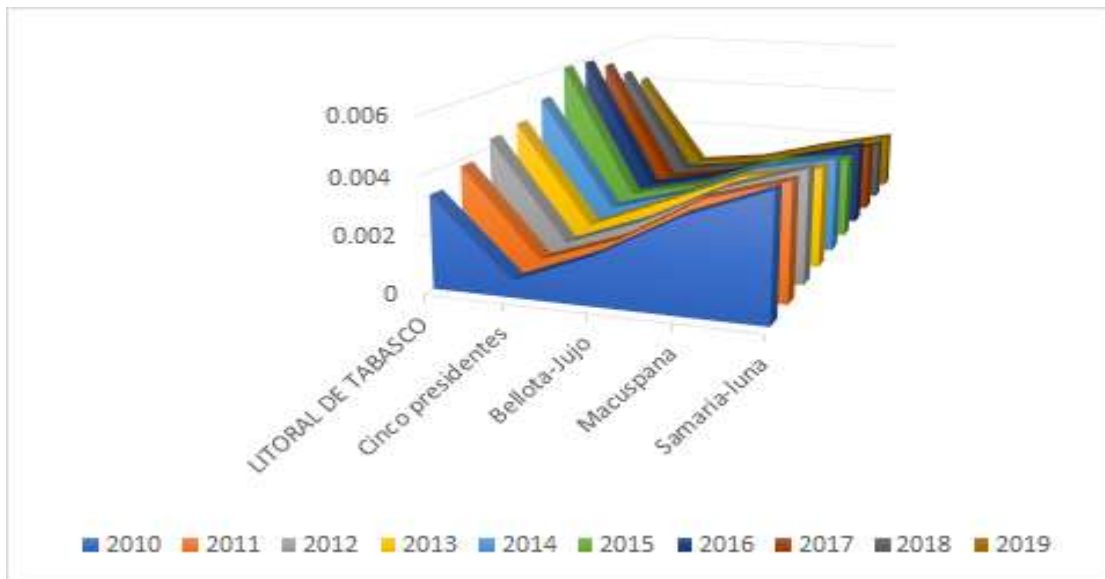


Figura 7. Emisiones de CO₂ por activo integral.

En la Figura 8 se muestran las Emisiones de CO₂ equivalentes por la actividad de producción/procesamiento de gas seco, se observa que Nuevo Pemex obtuvo mayores emisiones de CO₂. En el año 2012 emitió $5.56E^{-03}$ Gg equivalentes, aunque para el año 2019 disminuyeron sus emisiones a $3.92E^{-03}$ Gg, en comparación con La Venta que mantuvo niveles bajos de emisiones en los años 2010 a 2019 con valores que oscilan entre $5E^{-04}$ - $5.06E^{-04}$ Gg.

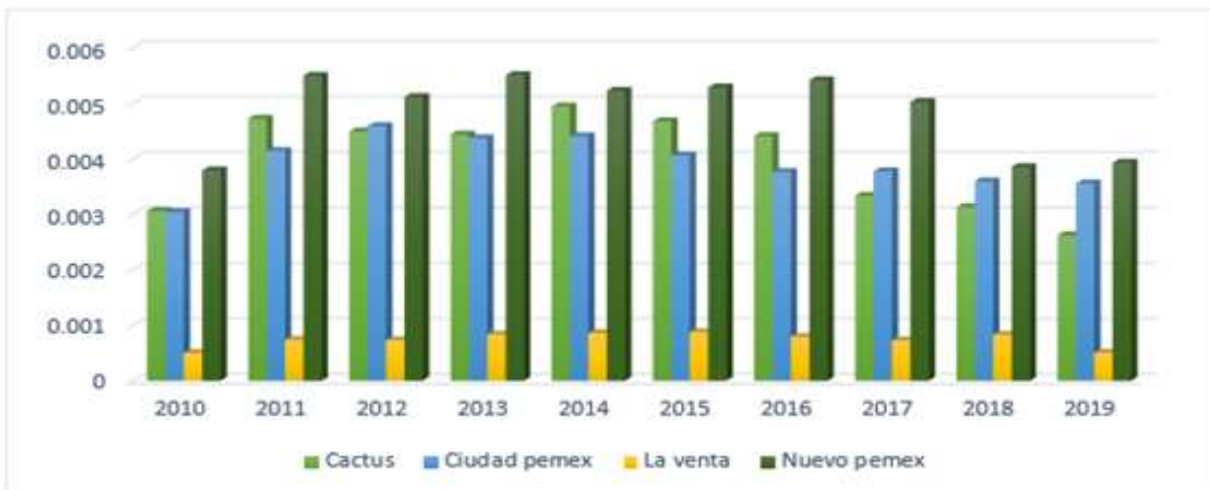


Figura 8. Emisiones de metano en Gg de CO₂ equivalentes por la actividad de producción/procesamiento de gas en campos seleccionados.

CONCLUSIONES

Se utilizaron para los cálculos el software y los factores de emisión del Panel Intergubernamental de Cambio Climático 2006, para la estimación de las emisiones de GEI's en los procesos de combustión en la Industria Petrolera tomando como año base el 2010 y las conclusiones que se desprenden del mismo son las siguientes:

1. La producción de petróleo en la región Sur fue de 531.872 mbd en el año 2010 y disminuyó considerablemente a 220.778 mbd en el año 2019 y, las emisiones de gases efecto invernadero directo como es el CO₂ por esta actividad se estimó en 1.32E⁻⁰⁴ Gg de CO₂ en el año 2010 y disminuyó a 5.42E⁻⁰⁵ Gg en el año 2019.
2. De acuerdo a la producción de petróleo crudo el activo más productivo es Sen y es por lo tanto el que más contribuye con emisiones de CO₂; en el año 2010 se estimó en 1.35E⁻⁰⁵ Gg y disminuyó a 0 Gg de CO₂ en el año 2019 debido a que el campo dejó de producir petróleo en mismo año.
3. La producción de petróleo crudo por campos: Los de mayor producción son, otros pozos no identificados con 7.42E⁻⁰⁵ Gg en el año 2010 y 5.43E⁻⁰⁵ Gg en el año 2009, seguido de Sen con 1.39E⁻⁰⁵ Gg en el año 2010 y 0 Gg en el año 2019, el total de las emisiones para los años 2010 y 2019 fue 1.36E⁻⁰⁵-5.43E⁻⁰⁵ Gg de CO₂ respectivamente.
4. En la producción de gas natural seco para el año 2010 en Nuevo Pemex fue de 943.6 mmpcd y en el año 2019 de 673.389 mmpcd. Las emisiones de CO₂ en Nuevo Pemex fueron de 1.32E⁻⁰² Gg en el año 2010 y 9.42E⁻⁰³ Gg en el año 2019.
5. Las emisiones totales de CO₂ por la producción de gas natural fue 1.31E⁻⁰² Gg en el año 2010 y 5.04E⁻⁰³ Gg en el año 2019, lo que nos indica que las emisiones fueron disminuyendo con respecto a los años.
6. De acuerdo a este inventario de emisiones de gases efecto invernadero Tabasco contribuye con cerca de un 16% a nivel nacional debido a las actividades de la Industria Petrolera.
7. Las producciones de petróleo y gas fueron disminuyendo con el transcurso de los años provocando que los gases de efecto invernadero disminuyeran al menos en este sector.
8. Se concluye que a mayor producción de gas o petróleo, mayor serán sus emisiones de metano y dióxido de carbono.

BIBLIOGRAFÍA

1. INEGI (2021). Inventario Nacional de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2010-2019, Instituto Nacional de Ecología. Disponible: <https://www.gob.mx/inecc/acciones-y-programas/inventario-nacional-de-emisiones-de-gases-y-compuestos-de-efecto-invernadero>
2. SIE (2010-2019). Sistema de Información Energética. Secretaria de Energía, México. Disponible: <http://sie.energia.gob.mx>
3. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) (2021). Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, versión revisada en 2006, J.T. Houghton y otros, IPCC/OCDE /AIE, París (Francia).
4. Martínez-Prado, M.A. (2016). ESTIMACIÓN DE LAS EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO PARA EL ESTADO DE DURANGO, MÉXICO. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 15(2),575-601. [Fecha de Consulta 29 de abril de 2021]. ISSN: 1665-2738. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=62046829023>
5. Dr. Dick Homero Cuateconzti Santa Cruz, Instituto Mexicano del Petróleo “Emisiones de metano fugitivo y gases precursores de ozono en la Inventario nacional de emisiones de gases de efecto invernadero, (2000) industria del petróleo y gas natural y carbón” México.
6. International Energy Agency (IEA) (2018). CO₂ emissions from fuel combustion 2018. Highlights. <https://webstore.iea.org/publications>
7. Cai, Y., Sam, C. Y. y Chang, T. (2018). Nexus between clean energy consumption, economic growth and CO₂ emissions. Journal of Cleaner Production, 182. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.02.035>

ESTUDIO DE LA CONSERVACIÓN DE LA ENERGÍA MECÁNICA EN UN SISTEMA NO CONSERVATIVO UTILIZANDO JUGUETES DE FÁCIL ACCESO

Adrián Castellanos Sandoval¹, Eduardo Andre Camacho Zuñiga¹, Claudia Carolina Vaca García², Cuauhtémoc Acosta Lúa², Lucila del Carmen Arias Patiño² y María Eugenia Sánchez Morales².

¹ Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Ciénega, ² Cuerpo Académico de Ciencias Aplicadas a la Ingeniería UDG-CA-871 Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Ciénega.
adrian.csandoval@alumnos.udg.mx

RESUMEN

Una de las grandes deficiencias que existen en las escuelas públicas es la falta de equipo para realizar prácticas de laboratorio, pues muchas ocasiones no se tienen los equipos para realizarlas, por lo que decidimos generar una serie de prácticas donde se utilicen juguetes de fácil acceso para realizar prácticas a nivel medio superior.

En el XVII Encuentro de la Mujer en la Ciencia y publicado en la Miscelánea Científica en México Tomo V, bajo el nombre de “Estudio de la conservación de la energía mecánica utilizando juguetes de fácil acceso”, en dicho trabajo se consideró la conservación de la energía suponiendo un sistema conservativo, en el presente trabajo se utilizó una rampa de una vuelta completa en esta ocasión fabricada con cartón donde se realizó el análisis de sistema no conservativo. Así también se utilizó Tracker (software libre) para realizar el análisis de la trayectoria.

En lo particular se identificó un gran interés del alumnado en el análisis de temas “complejos” como lo son la conservación de la energía mediante prácticas sencillas y con un requerimiento mínimo e inclusive nulo de equipo avanzado.

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se presenta la fabricación de una pista para un automóvil de juguete y como se puede considerar un análisis no conservativo de la energía así también el uso de herramientas digitales para la utilización graficar el movimiento que sucede durante el movimiento a analizar.

El trabajo se pretende presentar a alumnos de pregrado como los primeros semestres de ingenierías una vez que hayan trabajado conservación de la energía, la redacción del trabajo consta de tres partes en la primera como se debe construir la pista para que no tengan que gastar en compra de equipo, se dan sugerencias de que puede ser cambiado para realizar la misma. En una segunda parte cómo se realizaría las mediciones y cálculos del movimiento que está sucediendo (giro de 360°) y por último los resultados que se pueden obtener utilizando la herramienta de modelado y análisis de video, en este análisis presentaremos cómo se logra captar el movimiento circular dentro de la pista. Cada una de las secciones son independientes por lo que no es necesario realizar cada una de ellas.

TEORÍA

Se dice que un cuerpo tiene energía cuando es capaz de producir trabajo [1]. La energía puede ser mecánica, química, eléctrica, solar, entre otras formas más que existen de esta misma. Para efectos del presente trabajo, nos enfocaremos únicamente en la energía mecánica.

La energía mecánica es la suma de las energías potencial y cinética, donde la primera depende de la posición y forma del objeto, misma que a su vez se subdivide en energía potencial gravitacional y energía potencial elástica, mientras que la segunda depende del movimiento del objeto. La fórmula de la energía mecánica de un objeto es:

$$E_m = E_c + E_p = E_c + (E_{pg} + E_{pe}) = \frac{mv^2}{2} + \left(mgh + \frac{kx^2}{2} \right)$$

La conservación de la energía nos dice que la cantidad de energía de un objeto es la misma independientemente de la posición de este, es decir que no hay ningún trabajo que se oponga al cambio de posición de nuestro objeto [2].

Por otra parte, la aceleración centrípeta, es la aceleración que determina el cambio de dirección de la velocidad en los cuerpos que rotan o se mueven por trayectorias curvas. Esta aceleración recibe

el nombre de centrípeta porque siempre está dirigida hacia el centro de rotación. Cualquier movimiento sobre un camino curvo, representa un movimiento acelerado, y por tanto requiere una fuerza dirigida hacia el centro de la curvatura del camino. Esta fuerza se llama fuerza centrípeta.

$$a_c = \frac{v^2}{r}$$

$$F_c = ma_c$$

Para que el carrito pueda dar una vuelta de 360° es necesario una velocidad mínima (v_B) que mantenga su dirección recta tangencial al entrar en cierto circuito curvo y que conforme se vaya modificando su módulo de velocidad siempre sea diferente de cero para que la fuerza de gravedad no lo derribe cuando el cuerpo se encuentre a 180° (v_C) y así cumpla con el objetivo.

La velocidad mínima que necesita el carrito para no colapsar por la fuerza de gravedad en un circuito curvo de 360° se calcula con ayuda de la ley de conservación de la energía donde nos dice que en el punto crítico (180° después de entrar en el circuito curvo) hay una fuerza centrípeta que es igual al peso del carro.

$$F_c = P$$

Dicho de otra manera

$$\frac{mv_c^2}{r} = mg$$

$$\therefore v_c = \sqrt{rg}$$

Realizando el análisis de conservación de la energía de nuestro carrito a través de la pista, es decir, igualando las energías en los puntos A, B y C (refiérase a la Figura 1) nos queda de la siguiente manera

$$E_{mA} = E_{mB} = E_{mC}$$

$$\frac{k\Delta x^2}{2} = \frac{mv_B^2}{2} = \frac{mv_C^2}{2} + 2mgr$$

Generalmente, cuando se estudian estos temas se considera que el sistema con el que se trabaja es conservativo, sin embargo, si consideramos el teorema trabajo-energía que dice "El trabajo efectuado por la fuerza neta sobre una partícula es igual al cambio de energía cinética de la partícula [3]:

$$W_{tot} = E_2 - E_1 \quad (\text{teorema trabajo - energía})$$

Podemos llegar a la conclusión que existe un trabajo negativo que se opone al movimiento del objeto, ya que $E_2 < E_1$

El trabajo al que se enfrenta el carrito no es más que la fuerza de fricción derivada del contacto con la pista durante el recorrido, si lo vemos desde otro punto de vista, lo que pasa con la energía es que se transforma en calor debido al rozamiento de los objetos. Para comprender de mejor manera lo anterior, es necesario conocer de qué se trata la fuerza de fricción.

La fuerza de fricción es una fuerza que va en sentido contrario al desplazamiento del cuerpo y se origina cuando un cuerpo se desliza sobre otro o rueda sobre su superficie. Dicha fuerza viene dada por la siguiente fórmula:

$$F_f = \mu N$$

Donde μ es el coeficiente de fricción, que no es más que la constante de proporcionalidad entre la fuerza de rozamiento y la fuerza normal N . La fuerza normal, con base en la segunda ley de Newton, es la fuerza resultante del peso de un cuerpo sobre una superficie, esta fuerza es de igual magnitud al peso, sin embargo, el sentido es diferente. La dirección del peso es siempre vertical a la superficie de la tierra, mientras que la fuerza normal, será siempre perpendicular a la superficie sobre la que se encuentre el cuerpo.

Aplicando lo anterior a nuestro sistema, y considerando que se ha realizado el análisis por medio de energías, debemos considerar que la fuerza de fricción es aplicada en una distancia determinada,

que es el recorrido del sistema. Para poder el análisis de una manera más sencilla, analizaremos la energía del carrito del punto A al B, y del punto B al C, donde obtenemos que:

$$E_A - F_F d_1 = E_B$$

$$\frac{k\Delta x^2}{2} - \mu N d_1 = \frac{mv_B^2}{2}$$

Ya que la superficie de A hasta B es recta y paralela al suelo, la fuerza normal del carrito es igual al peso de este por lo que

$$\frac{k\Delta x^2}{2} - \mu mg d_1 = \frac{mv_B^2}{2} \quad [1]$$

Por otra parte

$$E_B - F_F d_2 = E_C$$

$$\frac{mv_B^2}{2} - \mu N d_2 = \frac{mgr}{2} + 2mgr$$

En este caso, debido a la forma de la forma de la superficie, la fuerza normal es igual a la fuerza centrípeta del carrito y ésta a su vez es igual al peso de este, de la misma forma, la distancia que recorre el carrito es un medio del perímetro de la circunferencia de la vuelta, así que

$$\frac{mv_B^2}{2} - \mu mg \pi r = \frac{mv_C^2}{2} + 2mgr \quad [2]$$

Con ayuda de las fórmulas 1 y 2, despejamos para encontrar μ , k y Δx

$$\mu = \frac{v_B^2 - 5gr}{2\pi gr} \quad [3]$$

$$k = \frac{mg}{\Delta x^2} (\pi r v_B^2 + d v_B^2 - 5dgr) \quad [4]$$

$$\Delta x = \sqrt{\frac{mg}{k} (5r + 2\mu\pi r + 2\mu g d_1)} \quad [5]$$

ILUSTRACIONES

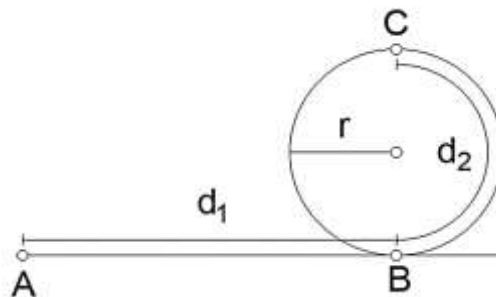


Figura 1: Vista lateral del circuito



Figura 2: Modelo 3D del sistema



Figura 3: Sistema montado

PARTE EXPERIMENTAL

Se dividirá en tres la parte experimental, la parte uno engloba la construcción de la pista con materiales de fácil acceso, mientras la segunda y tercera contienen los pasos para el análisis del sistema.

MATERIALES

Una cartulina cascarón de 100 cm x 80 cm

Pistola para barras de silicón

10 Barras de silicón

Carro Hot Wheels

Plumón de aceite Rojo

2 Ligas de tamaño medio

Compás

Tijeras

Cúter

Regla

Dispositivo de grabación a cámara lenta

PARTE 1

1. Con ayuda de la regla dibuje en la cartulina de cascaron una línea a 15 cm del borde y recórtela con el cúter, teniendo como resultado una base de 100 cm x 15 cm.
2. Con la regla dibuje el carril de la pista con las siguientes medidas 4 cm de ancho y 100 cm de largo.
3. Con ayuda del compás dibuje 2 círculos de 25 cm de diámetro cada uno, dentro de cada círculo dibuje un círculo adicional de 24 cm, después de haber realizado esto se tendrá como

resultado un borde de 1cm de grosor, teniendo esto se procederá a recortar todo el borde formado de las 2 circunferencias.

4. Con ayuda de la pistola y las barras de silicón proceda a unir los bordes de la circunferencia con el carril, esto con la finalidad de formar una pista de tipo Hot Wheels de 360° de 25 cm de diámetro.
5. Fije la pista sobre la base utilizando el silicón caliente.
6. A continuación se realizará el lanzador del carrito, para esto se dibujaran 2 trapecios y estos se recortaran a la mitad, también se dibujaran 4 piezas rectangulares de 1 cm x 25 cm, además se dibujara una pieza rectangular de 4 cm x 10 cm.
7. Ahora se procederá a unir las piezas recortadas para formar el lanzador, para esto nos apoyaremos en las Figuras 2 y 3 para unirlos de manera correcta.
8. Para finalizar, se perforará el lanzador y la base de la pista, esto para colocar las ligas y esté finalizado por completo nuestra pista.

NOTA: Es recomendable que el diámetro de la circunferencia este en un rango de 20 cm hasta 30 cm, esto por motivos prácticos ya que si dejamos el radio demasiado corto es probable que el carro choque con las paredes de la pista y esto ocasione que no se complete el giro correctamente. Por otro lado, si el diámetro queda demasiado largo el material para hacer la pista probablemente no alcance a cubrir todo el giro de 360°.

PARTE 2

1. Posicione el carrito en el carril pegado al lanzador cuidando que no se estiren las ligas y marque con la ayuda de un lápiz una línea paralela y colineal al frente del carrito sobre la pista.
2. Con ayuda de un flexómetro o una regla, mida la distancia entre la línea que marcó en el paso anterior y el punto B y regístrela a continuación.

$$d_1 = 29.7\text{cm}$$

3. En caso de que se haya modificado el radio de la circunferencia de la pista ya establecido, regístrelo a continuación.

$$r = 12.5\text{cm}$$

4. Dibuje un cuadro de 3 cm x 3 cm y recórtelo, en el centro del cuadro se dibujara un círculo que abarque la mayor parte del espacio, con la ayuda del plumón rojo pinte el círculo, por último, se fijará al carrito con ayuda del silicón caliente.

NOTA: Para realizar los siguientes pasos es necesaria la colaboración de al menos 2 personas, en donde la persona uno se encargará de grabar en cámara lenta, mientras que la persona dos, se encargará de colocar y lanzar en carrito a través de la pista con la ayuda del lanzador.

5. La persona uno se instalará para grabar; la cámara debe enfocar desde el límite máximo de estiramiento del lanzador hasta el final de la vuelta. Procure tener un fondo blanco en el lugar donde se enfocará la cámara
6. La persona dos posicionará el carrito en el lanzador y esperará a que la persona uno esté en posición para lanzar el carro. NOTA: Ambas personas deben estar coordinadas, para que al momento de lanzar el carro la grabación inicie al mismo tiempo.
7. Repita el paso anterior las veces que sean necesarias hasta que en la grabación se mire que el carro pasó el giro de 360° correctamente.
8. Después de obtener un video grabado correctamente, analizar el video con ayuda de Tracker y registre la velocidad en el punto B, para los siguientes cálculos

NOTA: Si se tuvo la oportunidad de grabar con un dispositivo de grabación a cámara lenta, el tiempo que registre Tracker de dicho video, deberás dividirlo entre el factor de velocidad de grabación de la cámara, de otro modo, los valores de velocidad serán incorrectos.

$$V_B = 3.453 \frac{m}{s}$$

9. Con Ayuda de las Fórmula (3) y (4) calcula μ y K. Registra los resultados a continuación

$$\mu = 0.752$$

$$k = 472.037 \frac{N}{m}$$

10. Con los datos calculados anteriormente calcular la distancia mínima desde el cual debe ser lanzado el carrito

$$\Delta x = 6.20\text{cm}$$

11. Lancé el carrito desde la distancia calculada en el paso anterior, y corrobore si en efecto el carrito puede dar la vuelta sin separarse de la pista

PARTE 3

Para corroborar el movimiento que se realizó el análisis a través de Tracker el cual es una herramienta gratuita de análisis y modelado de video construida sobre el marco de Java Open Source Physics (OSP)[4].

El video se grabó en cámara lenta pues la velocidad que alcanza el automóvil es muy rápida y al software no podía obtener los datos, una vez dado los parámetros de referencia ver Figura 2, línea de calibración (línea azul), ejes de coordenadas y origen (líneas rosas) y el centro de masa (círculo rojo) se le solicita a Tracker realice el seguimiento de la trayectoria.

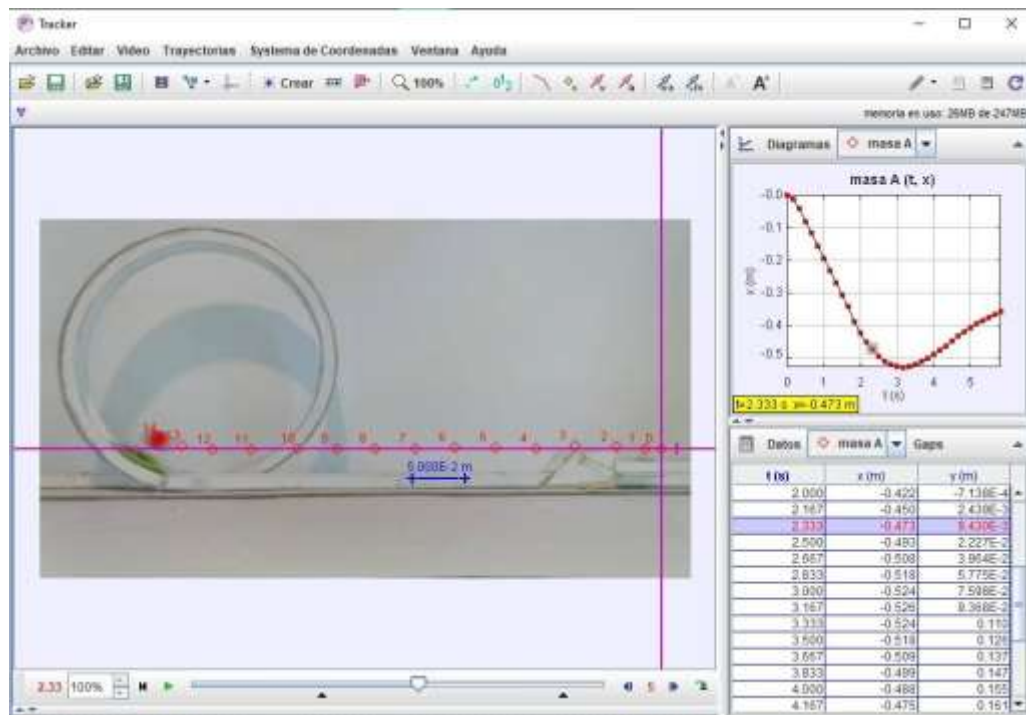


Figura 4: Captura de pantalla del software Tracker donde se realizó el seguimiento de la trayectoria.

La Figura 3 muestra la trayectoria dentro de la pista en los ejes x e y donde se reproduce el movimiento en 360° que realiza el carrito dentro de la pista, debido a la velocidad que adquiere existen algunos puntos que se pierden dentro de la trayectoria, pero se observa el giro completo que da el automóvil. La figura 4 muestra la velocidad con la que se mueve el automóvil de juguete en la trayectoria, en donde se observa que la velocidad con la que ingresa a la pista es de 3.37 m/s y de acuerdo a la parte teórica es de 3.42 m/s dándonos un error porcentual del 1% .

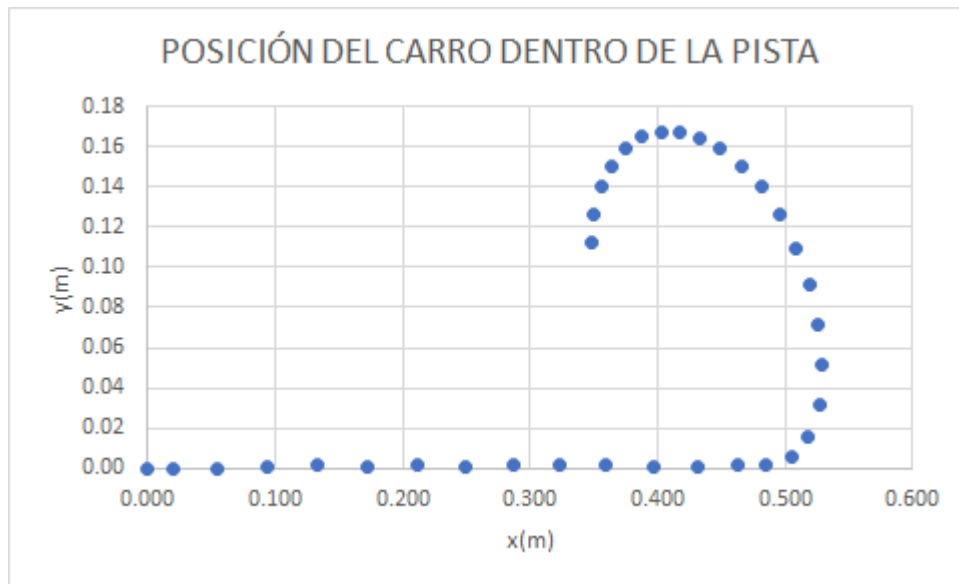


Figura 5: Gráfica obtenida de los puntos que arroja Tracker.

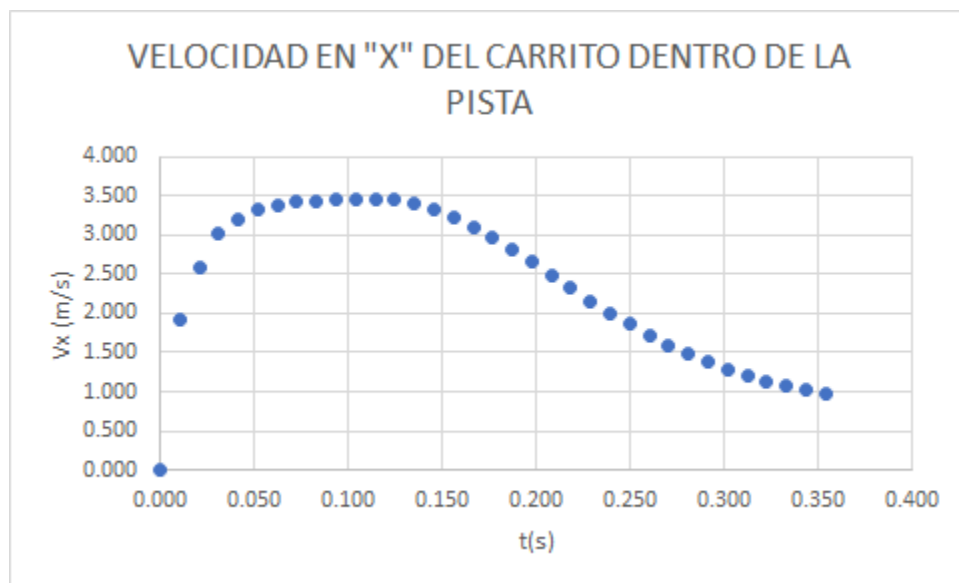


Figura 6: Gráfica de velocidad vs. tiempo.

CONCLUSIONES

Se logró realizar una pista con un giro de 360° con ayuda de material de fácil así también que el automóvil de juguete lograra dar el giro completo tras calcular la distancia mínima a la que debía ser lanzado considerando la fuerza de fricción a la que se enfrentaba el mismo. Lo anterior gracias al análisis teórico del movimiento del carrito dentro de un sistema no conservativo, de la misma forma con ayuda del software Tracker, se analizó el movimiento del carrito dentro de la pista; al comparar los resultados teóricos y experimentales, se encontró un error de apenas el 1% en la velocidad del objeto dentro del sistema.

Como trabajo a futuro, el análisis realizado en el presente trabajo se pretende aplicar en próximas prácticas de laboratorio con la intención de que al alumno le sea interesante y sencilla de realizar.

ANEXO

- $E_m = \text{Energía mecánica}$
 $E_c = \text{Energía cinética}$
 $E_p = \text{Energía potencial}$
 $E_{pg} = \text{Energía potencial gravitacional}$
 $E_{pe} = \text{Energía potencial elástica}$
 $m = \text{Masa}$
 $v = \text{Velocidad}$
 $g = \text{Constante de gravedad}$
 $h = \text{Altura}$
 $k = \text{Constante elástica de una liga}$
 $\Delta x = \text{Diferencia longitudinal de un muelle}$
 $a_c = \text{Aceleración centrípeta}$
 $r = \text{Radio de la circunferencia de la pista}$
 $F_c = \text{Fuerza centrípeta}$
 $P = \text{Peso}$
 $E_{mA} = \text{Energía mecánica en el punto A (lugar de donde será soltado el carrito)}$
 $E_{mB} = \text{Energía mecánica en el punto B (punto antes de que el carro ingrese a la vuelta de } 360^\circ)$
 $E_{mC} = \text{Energía mecánica en el punto C (altura máxima dentro de la vuelta, paralelo al punto B)}$
 $v_B = \text{Velocidad en el punto B}$
 $v_C = \text{Velocidad en el punto C}$
 $F_f = \text{Fuerza de fricción}$
 $N = \text{Fuerza normal}$
 $\mu = \text{Coeficiente de fricción}$

BIBLIOGRAFÍA

1. Gispert, C., Gay, J., & Guisán, S. (1995). FÍSICA 1. En *Enciclopedia Autodidáctica Océano Color Vol. 3* (págs. 842-852). Barcelona: OCEANO.
2. Hugh D, Y., & Roger A, F. (2009). *Física universitaria Vol. 1. Decimosegunda edición*. México: PEARSON.
3. Young, H. D., & Freedman, R. A. (2009). *Física Universitaria 1 (12.a ed.)*. PEARSON EDUCACION DE MEXICO.
4. Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. (s. f.). Tracker. Recuperado 31 de julio de 2021, de <https://physlets.org/tracker/>

DESARROLLO DE UN BIOPLÁSTICO BIODEGRADABLE Y CON ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA PARA EMPACADO DE ALIMENTOS

Migdalia Alvarado-Portilla, Maribel Jiménez-Fernández, Ebner Azuara-Nieto

Centro de Investigación y Desarrollo en Alimentos, Universidad Veracruzana.
eazuara@uv.mx

RESUMEN

En la actualidad, los materiales poliméricos de fuentes no renovables, como las bolsas de supermercado y empaques de alimentos, entre otros; se han convertido en artículos indispensables para la vida cotidiana. Sin embargo, el uso desmesurado de los plásticos y su escasa biodegradación es una de las causas de la contaminación a nivel global. A nivel mundial se fomenta la creación de nuevos materiales comprometidos con la conservación del medio ambiente; por lo que, el desarrollo de empaques biodegradables es de suma importancia. El colágeno es una proteína ideal para la elaboración de bioplásticos, debido a sus excelentes propiedades gelificantes, emulsificantes y estabilizantes. Además, es la proteína que se encuentra mayormente en diferentes tejidos de animales y puede obtenerse fácilmente de los desechos que se producen durante el procesamiento. A esto se le conoce como una economía circular la cual busca un reciclaje inteligente que se asemeje a procesos de la naturaleza para la disminución de la contaminación. En este trabajo se elaboraron películas con colágeno extraído de escamas de pescado, que fue mezclado con alginato de sodio, glutaraldehído como reticulante y glicerol como plastificante. A estas películas se le realizaron pruebas de permeabilidad al vapor de agua, fuerza máxima de fractura (FMF), elongación máxima antes de la fractura (EM) y actividad inhibitoria de bacterias *Staphylococcus aureus* (Gram +) y *Escherichia coli* (Gram -). La permeabilidad al vapor de agua de las películas fue de 4.69×10^{-11} g/Pa·m·s, por lo que pueden ser utilizadas para elaborar empaques de alimentos. La mezcla de colágeno con alginato de sodio provoca la formación de puentes de hidrógeno que favorecen la formación de una red que disminuye la permeabilidad al vapor de agua comparada con la obtenida en películas elaboradas con colágeno puro. Las películas fueron capaces de inhibir el crecimiento de *S. aureus* y *E. coli*, a pesar de que el colágeno fue extraído de un desecho, debido probablemente a la adición de alginato de sodio y glutaraldehído que tienen propiedades antimicrobianas [1]. Las pruebas de tensión mostraron que en las películas se produce un aumento de la fuerza máxima de ruptura (FMF) cuando disminuye la humedad relativa del ambiente; así como también la EM fue favorecida por la proporción colágeno/alginato de sodio (2.5/1) utilizada. El glutaraldehído ayuda a incrementar la EM, pues interviene en la reticulación del colágeno que está asociada con la distribución y generación de interacciones intra e intermoleculares [2]. La película de colágeno/alginato de sodio tiene buenas propiedades mecánicas, permeabilidad al vapor de agua aceptable, es biodegradable, no es tóxica, tiene propiedades antimicrobianas y fue elaborada utilizando escamas de pescado recolectadas de desechos; todo esto sugiere que es un material ideal para elaborar empaques de alimentos y otros productos similares.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años la gran demanda de alimentos ha generado el aumento de desperdicios alimenticios y de empaques en nuestro ambiente, los cuáles contaminan debido al uso excesivo de plásticos que no son compatibles con el medio. Estos plásticos, derivados de petróleo, han sido de gran ayuda por sus propiedades únicas ya que son perfectas para la industria alimentaria, sin embargo, afectan de manera importante a nuestro ambiente. Por lo cual en la actualidad se ha buscado la sustitución de esta materia prima por una más "amigable" con nuestro medio ambiente, como lo son diferentes polisacáridos y proteínas. Estas materias primas pueden ser extraídas a su vez de los mismos desechos que causan contaminación en el suelo, aire, mantos acuíferos y mares, como pieles de animales, escamas, huesos, entre otros.

El colágeno ha llamado mucho la atención debido a que es una proteína con propiedades interesantes. Este tiene características de adhesión, crecimiento y supervivencia celular, y en comparación con otros polímeros naturales, muestra biodegradabilidad, antigenicidad y biocompatibilidad. Es la proteína más abundante en los diferentes tejidos conectivos de los animales,

por lo que es perfecta para reticulaciones; ya que el colágeno tiene la función en los animales y seres humanos de mantener unidos los tejidos.

En la actualidad se han elaborado películas a base de colágeno y alginatos, debido a que estos últimos son polímeros biodegradables y biocompatibles, que tienen una gran facilidad para la formación de geles gracias a su poder aglutinante, espesante, gelificante y formador de películas delgadas. Así mismo el glutaraldehído, es un aldehído muy utilizado para la reticulación de películas que contienen proteína, pues mejora sus propiedades físicas y mecánicas.

TEORÍA

Una película biodegradable podría definirse como un envase primario hecho de polímeros biodegradables y aditivos de calidad alimentaria. Una capa delgada de material biodegradable se puede convertir en una película y se puede usar como envoltura de alimentos sin cambiar los ingredientes originales o el método de procesamiento del alimento [3]. Las películas biodegradables aparecieron por razones ambientales, para evitar el uso excesivo de plásticos sintéticos [4], que se obtienen de recursos no renovables como el petróleo y además contaminan el ambiente, porque no son biodegradables [5].

Se han propuesto diferentes materias primas para la elaboración de bioplásticos biodegradables, de las cuales resaltan los polisacáridos, proteínas y lípidos. Sin embargo, frecuentemente estas materias primas se obtienen de papa, yuca, maíz, soya, tejidos animales, entre otros; lo que afecta indirectamente la disponibilidad de estos recursos para el consumo humano y eleva los precios de las películas biodegradables. Actualmente se ha incrementado la investigación para obtener estas materias primas de diferentes desechos vegetales y animales, con el fin de solucionar la contaminación excesiva del ambiente y disminuir los costos de producción de los bioplásticos [6].

Las películas a base de colágeno son bioplásticos comerciales exitosos, ya que se utilizan en la industria alimentaria principalmente como material de embalaje para productos cárnicos o envolturas de salchichas [7]. Tradicionalmente la principal fuente de colágeno es la piel de mamíferos porcinos y bovinos; pero esta materia prima ha provocado graves problemas, pues algunas veces el colágeno extraído produce reacciones alérgicas y también tiene el riesgo de enfermedades transmisibles como la encefalopatía espongiiforme bovina (enfermedad de las vacas locas), tembladera ovina y caprina y otras zoonosis [8].

De modo que el colágeno extraído a partir de productos marinos beneficia la economía en la industria pesquera ya que los desechos de las plantas de procesamiento de pescados pueden representar hasta el 75% del peso total del pescado [9]. Debe resaltarse que la industria pesquera genera alrededor de un 50-80% de residuos, sean sólidos o líquidos, durante las etapas del procesamiento. Dichos residuos son desechados en vertederos, incinerados o incluso depositados en cuerpos de agua causando graves daños al ambiente [10].

Por lo tanto, la utilización de residuos del procesamiento de pescados es una excelente alternativa para generar nuevos materiales biodegradables con valor agregado y amigables al ambiente siguiendo una economía circular, donde se propone un nuevo modelo social que utiliza y optimiza el flujo de materiales, energía y residuos para garantizar la eficiencia de los recursos.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la extracción de colágeno se recolectaron escamas de pescado que pertenecen a las especies *Argyrosomus regius* y *Dicentrarchus labrax*, las cuales se lavaron con agua y jabón para retirar cualquier residuo y se dejaron secar al medio ambiente. Posteriormente se realizó una desmineralización para remover el calcio que contienen las escamas, usando una solución de HCl conforme a lo descrito por Zhang et al. (2011). Después de la desmineralización se secaron las escamas en un secador de lecho fluidizado a una temperatura de 60°C y un flujo de aire de 50 m³/h, para posteriormente molerlas en un procesador de alimentos. Se tamizó la molienda con un tamiz número 60. Esto último para tener una mayor área de contacto en la extracción. Finalmente, para la hidroextracción se utilizó una relación 1:30 p/v con agitación constante en una parrilla a temperatura de 90°C durante una hora [12].

En la elaboración de las películas se utilizó el sobrenadante de la extracción (aprox. 150-170ml) al cual se le agregaron 25 ml de glutaraldehído en solución acuosa al 25%, se dejó en agitación constante durante 20 min, posteriormente se agregaron 10 gotas de glicerol (0.5 g) y se dejó agitar

por 5 min, Pasado este tiempo se agregó poco a poco 1 g de alginato de sodio. Cuando todo estaba mezclado homogéneamente se sometió a un baño ultrasónico con frecuencia de 40KHz durante 60 min para la desgasificación de la muestra y evitar la formación de burbujas al mezclar. Finalmente se vaciaron 50 ml en cajas petri y se dejaron secar al ambiente hasta que se gelificaran, para después meterlas en la estufa de vacío a 35°C [13,14].

La prueba inhibitoria de crecimiento bacteriano se realizó con base en la metodología de Sivaranjanj y Pandimadevi (2017) con ciertas modificaciones. Se utilizaron dos cultivos *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli*, así mismo se usó agar Muller Hinton el cual se esterilizó, se vertió sobre cajas petri y se dejó solidificar bajo flujo laminar de aire. Posteriormente se estiraron las cajas petri con ambos cultivos mencionados, usando una concentración de entre 1×10^8 - 2×10^8 UFC/ml. Esta concentración fue obtenida mediante la escala de McFarlan para que ambas bacterias tuvieran la misma concentración. Finalmente se colocaron en la caja petri un corte de la película, el control positivo que contenía antibiótico y el control negativo que era un pedazo de papel filtro.

Las propiedades físicas que se evaluaron en la película fueron espesor, porcentaje de humedad, actividad de agua y permeabilidad de vapor de agua (PVA). Para la determinación del espesor se utilizó un micrómetro digital, realizando la medición en 5 puntos de la película (en el centro y alrededor de la película) [15]. La humedad se determinó pesando la película formada antes (peso inicial) y después (peso seco) de ser colocada en un desecador con pentóxido de fósforo (0%HR, 25°C) durante 7 días. Para calcular el porcentaje de humedad se utilizó la fórmula (1) [16]. La actividad de agua (a_w) de las películas se midió con un higrómetro (AquaLab, serie3, EUA).

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso de la muestra inicial} - \text{Peso de la muestra seca}}{\text{Peso de la muestra inicial}} \times 100 \quad (1)$$

$$PVA = \frac{m \cdot e}{A \cdot \Delta P} \quad (2)$$

La prueba de permeabilidad de vapor de agua se llevó a cabo por el método gravimétrico propuesto por la norma ASTM E96-05 con ciertas modificaciones. Se utilizaron celdas de permeabilidad de vidrio, las cuales se llevaron a peso constante dentro de un desecador antes de la prueba, se colocaron 10 ml de agua destilada para tener una humedad relativa del 100%, se fijó la película en la parte superior de la celda y para sellarla se colocó un disco de acero inoxidable con un diámetro correspondiente a la muestra de exposición (5 cm). Las celdas se colocaron en un desecador que contenía en el fondo una solución saturada de cloruro de sodio, para producir una humedad relativa del 75% a una temperatura de 25 °C. El desecador se colocó dentro de una estufa para mantener la temperatura constante y se midió la ganancia de peso en intervalos de 1 hora. Los cambios de peso se reportaron en función del tiempo y se calculó la pendiente (m) de la línea obtenida. Posteriormente se calculó la diferencia en presiones (ΔP) de acuerdo con Shen et al. (2010), y siguiendo la fórmula (2) donde A es el área de contacto y e es el promedio de tres mediciones del espesor, se calculó la permeabilidad al vapor de agua (PVA) de las películas.

Para la prueba de tensión se utilizó un analizador de textura (TA-XT2i, Stable Micro System, Inglaterra) con pinzas A/MTG, de acuerdo con la norma ASTM D882-10. Se midió la fuerza máxima de fractura (FMF) y la elongación máxima antes de la fractura (EM) usando muestras rectangulares de 6cm x 2cm y una velocidad de deformación de 1mm/s. Antes de realizar la prueba se acondicionaron las películas a diferentes humedades relativas [16].

La estabilidad térmica de las películas se estudió con calorimetría diferencial de barrido (DSC), utilizando un calorímetro Discovery DSC. Las muestras de las películas se sellaron en celdas de aluminio, y se procesaron con una rampa de temperatura de -5 a 250 °C usando una velocidad de calentamiento de 5°C/min en un flujo de nitrógeno [17].

RESULTADOS

La película elaborada es de color amarillento, superficie lisa, flexible, sin grietas y sin burbujas o poros visibles (Figura 1). En la Tabla 1 están reportados su espesor, humedad, actividad de agua y permeabilidad de vapor de agua.

En la Figura 2 se muestran las cajas Petri en donde se llevó a cabo el ensayo para la inhibición de bacterias *S. aureus* y *E. coli*, indicando la ubicación de la película, el control positivo y el control negativo. La película desarrolló un halo de inhibición al igual que el control positivo, confirmando que tiene la capacidad de inhibir el crecimiento de las bacterias ya mencionadas. Dicha propiedad se atribuye a la contribución del alginato de sodio reconocido por la FDA como un aditivo alimenticio inocuo y seguro, y también al efecto del glutaraldehído que tiene una actividad antimicrobiana contra todo tipo de microorganismos [18].

La variación del porcentaje de alginato de sodio no afecta el espesor de las películas elaboradas con alginato y colágeno [19]; sin embargo es necesario usar una placa de vidrio nivelada para obtener películas más delgadas. Wang y Rhim (2015) elaboraron una película de colágeno con una placa de vidrio nivelada y obtuvieron un espesor de 0.059 mm; que es menor al obtenido en este trabajo, donde no se utilizó la placa de vidrio.



Figura 1. Película elaborada

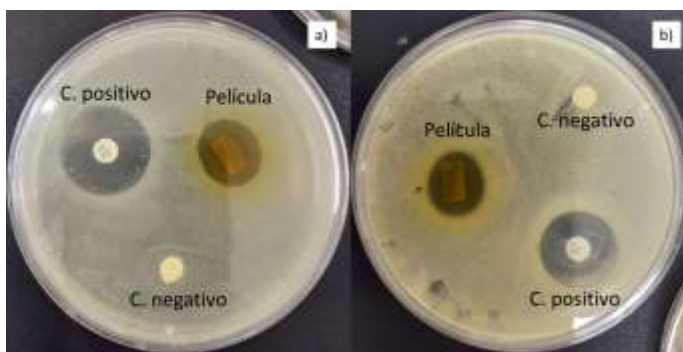


Figura 2. Zonas de inhibición de crecimiento bacteriano *S. aureus* (a) y *E. coli* (b)

La permeabilidad al vapor de agua (PVA) es una propiedad importante de las películas biodegradables, pues su valor determinará la utilidad del bioplástico como empaque de alimentos. En este trabajo se obtuvo una PVA de 4.690×10^{-11} g/Pa·m·s, que es aceptable ya que se utilizó proteína, que es hidrofílica, para su elaboración. Al agregarle alginato de sodio a la película se forman más enlaces de hidrógeno con el agua y así el agua es atrapada firmemente en la red del polímero [20]. Cabe resaltar que no se deben utilizar grandes cantidades de alginato de sodio, dado que su naturaleza es hidrofílica y atrae moléculas de agua que crean regiones móviles con distancias entre cadenas más grandes, que compiten con el agua en los sitios activos de la matriz polimérica provocando la acumulación de agua [21].

En la tabla 2 se muestra la fuerza máxima de fractura (FMF), resistencia a la tracción (RT) y elongación máxima antes de la fractura (EM) de la película a diferentes humedades relativas (HR). La RT explica la resistencia mecánica de la película debido a las fuerzas de cohesión entre cadenas, mientras que EM mide su plasticidad, que es la capacidad de una película para extenderse antes de romperse [22]. La película demostró diferencias significativas ($P < 0.05$) en todas las variables (FMF, RT y EM). Como se observa en la FMF y RT al aumentar la HR estas disminuyen, a diferencia de la EM que aumenta. Esto sucede debido a que al disminuir la HR se pierde una gran cantidad de agua con la que puede interactuar la película lo que provoca que esta sea más quebradiza y no tenga cierta elongación, debido a que el agua es un plastificante natural que la película necesita para poder tener una mejor elongación.

Tabla 1. Propiedades físicas de la película a 25°C

Propiedades físicas de la película			
Espesor (mm)	Humedad (%)	a_w	PVA (g/Pa·m·s) $\times 10^{-11}$
0.168 ± 0.04	12.395 ± 0.13	0.585 ± 0.03	4.690 ± 0.15

En la Figura 3 se muestra la calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la película de colágeno-alginato de sodio, en la cual se observa que existe cierta reversibilidad (línea azul). El primer pico se presenta a una temperatura de 67.20 °C, mostrando un cambio de estado en la película o una posible desnaturalización, en la cual existe cierta reversibilidad. De acuerdo con Figueiró et al. (2004) el glutaraldehído estabiliza las moléculas de colágeno y conduce a un aumento moderado de la temperatura de desnaturalización; a diferencia de lo que ellos encontraron en una película de colágeno con galactomanano, en la cual obtenían dos picos ya que tenían dos estructuras diferentes, una era la parte reticulada del colágeno con galactomanano y la otra que no logró reticularse. Por esta razón nuestra película logró que toda la estructura estuviera muy bien reticulada ya que no existieron esas dos transiciones.

Tabla 2. Prueba de tensión a diferentes humedades relativas (HR)

Película	FMF (N)	RT (MPa)	EM (%)
HR 21.6%	9.93 ± 2.71 ^c	4.60 ± 0.72 ^c	2.43 ± 2.19 ^a
HR 43.2%	8.96 ± 4.23 ^{bc}	3.55 ± 1.34 ^c	2.23 ± 1.11 ^a
HR 58.5%	6.64 ± 1.56 ^b	2.40 ± 0.36 ^{ac}	3.20 ± 3.15 ^a
HR 67.1%	2.99 ± 0.37 ^a	1.34 ± 0.35 ^{ab}	12.36 ± 0.71 ^c
HR 83.6%	1.91 ± 0.56 ^a	0.69 ± 0.25 ^b	19.30 ± 5.71 ^b

Media ± SD con diferentes superíndices que demuestran diferencias significativas (P < 0.05, n=4)

El segundo pico se encontró a una temperatura de 182.79 °C, que de acuerdo con Sionkowska (1999) este pico se debe a que el colágeno es único en su grado de hidratación ya que supera ampliamente al de otras proteínas y la hidratación de la proteína juega un papel importante en la estabilización de la estructura de triple hélice. Por lo tanto, este pico sugiere que hay una liberación de agua unida al colágeno.

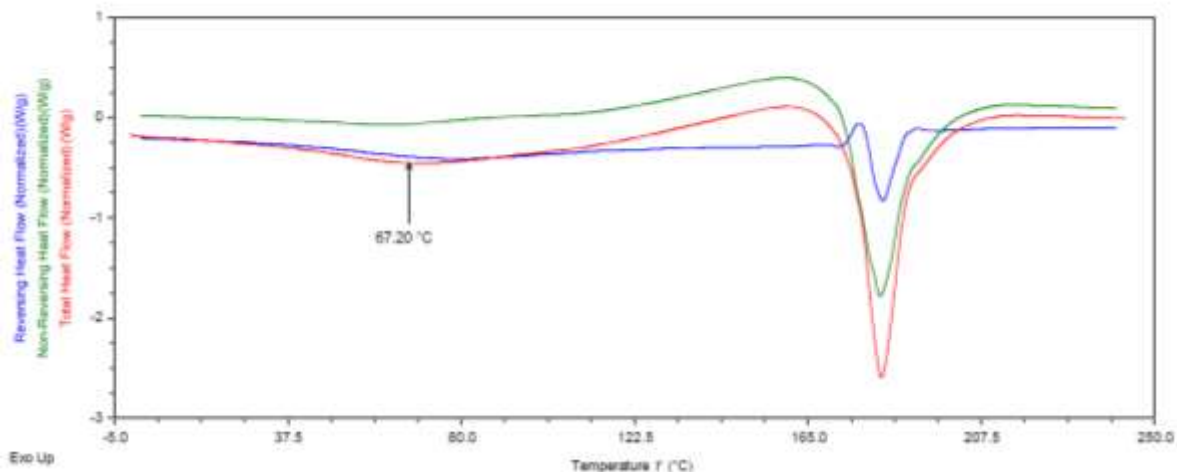


Figura 3. Calorimetría diferencial de barrido (DSC) de la película

CONCLUSIONES

El uso de alginato de sodio, glutaraldehído y glicerol en la elaboración de películas de colágeno extraído de escamas de pescado mejora las propiedades físicas y mecánicas de la película. Lo anterior debido a que a pesar de ser una película elaborada con un desecho alimenticio, logra inhibir el crecimiento de *S. aureus* y *E. coli* que son muy conocidas por provocar infecciones a través de los alimentos. Por esta razón este bioplástico puede ser utilizado como empaque de alimentos para evitar el crecimiento de estas dos bacterias y tener un alimento inocuo y seguro como se espera en un control de calidad en alimentos.

La permeabilidad al vapor de agua de la película mejoró al agregarle alginato de sodio, debido a que el colágeno y este son compuestos hidrofílicos que compiten por el agua disponible y se logra mayor número de enlaces de hidrógeno. La proporción (colágeno/alginato de sodio) utilizada en este trabajo resultó ser la adecuada, pues disminuyó la PVA de las películas en comparación con películas elaboradas con puro colágeno.

La prueba de tensión demostró que la película necesita estar en ambientes con una humedad relativa mayor del 50%, para evitar que se vuelve quebradiza por disminución del plastificante. A su vez con la calorimetría diferencial de barrido se demostró que la película puede ser utilizada en ambientes con temperaturas menores de 67°C; por lo que puede utilizarse para empacar diferentes alimentos que no necesitan refrigeración hasta los que si necesitan de esta. Además, la DSC también comprobó que la película realizada tuvo una buena reticulación debido al uso del glutaraldehído.

BIBLIOGRAFÍA

1. Russell, A. (1994). Glutaraldehyde: Current Status and Uses. *Infection Control & Hospital Epidemiology*, 15(11), 724–733.
2. K. Wang, W. Wang, R. Ye et al., (2017) “Mechanical properties and solubility in water of corn starch-collagen composite films: Effect of starch type and concentrations,” *Food Chemistry*, vol. 216, pp. 209–216.
3. Galus, S., & Kadzinska, J. (2015). Food applications of emulsion-based edible films and coatings. *Trends in Food Science & Technology*, 45(2), 273-283.
4. Gómez-Guillén, M. C., Pérez-Mateos, M., Gómez-Estaca, J., López-Caballero, E., Giménez, B., & Montero, P. (2009). Fish gelatin: a renewable material for developing active biodegradable films. *Trends in Food Science & Technology*, 20(1), 3-16.
5. Dias, A. B., Müller, C. M. O., Larotonda, F. D. S., & Laurindo, J. B. (2010). Biodegradable films based on rice starch and rice flour. *Journal of Cereal Science*, 51(2), 213-219.
6. Zubair, M., & Ullah, A. (2019). Recent advances in protein derived bionanocomposites for food packaging applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–29.
7. Tang L., Chen S., Su W., Weng W., Osako K. and Tanaka M. (2015). Physicochemical properties and film-forming ability of fish skin collagen extracted from different freshwater species. *Process Biochemistry*. 50: 148-155.
8. Bhagwat P. K. and Dandge P. B. (2016). Isolation, characterization and valorizable applications of fish scale collagen in food and agriculture industries. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 7:234-240.
9. Huang C.-Y., Kuo J.-M., Wu S.-J and Tsai H.-T. (2016). Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis sp.*) by a novel extrusion–hydro-extraction process. *Food Chemistry*. 190: 997–1006.
10. Bhuimbar M. V., Bhagwat P. K. and Dandge P. B. (2019). Extraction and characterization of acid soluble collagen from fish waste: Development of collagen-chitosan blend as food packaging film. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 7:102983.
11. Zhang, F., Wang, A., Li, Z., He, S., & Shao, L. (2011). Preparation and Characterisation of Collagen from Freshwater Fish Scales. *Food and Nutrition Sciences*, 02(08), 818–823.
12. Huang, C. Y., Kuo, J. M., Wu, S. J., & Tsai, H. T. (2016). Isolation and characterization of fish scale collagen from tilapia (*Oreochromis sp.*) by a novel extrusion–hydro-extraction process. *Food Chemistry*, 190, 997–1006.

13. Pandimadevi, M., & Sivaranjani. (2017). Preparation and characterization of collagen /alginate biocomposite functionalized with graphene oxide for wound healing applications. *International Journal of ChemTech Research*, 10(6), 754–769.
14. Yang, H., Guo, X., Chen, X., & Shu, Z. (2014). Preparation and characterization of collagen food packaging film. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 6(6), 740–745.
15. Basiak E., Lenart A. and Debeaufort F. (2017). Effect of starch type on the physico-chemical properties of edible films. *International Journal of Biological Macromolecules*. 98: 348–356.
16. Shen X. L., Wu J. M., Chen Y. and Zhao G. (2010). Antimicrobial and physical properties of sweet potato starch films incorporated with potassium sorbate or chitosan. *Food Hydrocolloids*. 24: 285, 290.
17. He, L., Mu, C., Shi, J., Zhang, Q., Shi, B., & Lin, W. (2011). Modification of collagen with a natural cross-linker, procyanidin. *International Journal of Biological Macromolecules*, 48(2), 354–359.
18. Russell, A. D. (1994). Glutaraldehyde: Current status and uses. *Infection control and hospital epidemiology*, 724–733.
19. Wang, L. F., & Rhim, J. W. (2015). Preparation and application of agar/alginate/collagen ternary blend functional food packaging films. *International Journal of Biological Macromolecules*, 80, 460–468.
20. M.Maizura, A. Fazilah, M. H. Norziah, and A. A. Karim, (2007) “Antibacterial activity and mechanical properties of partially hydrolyzed sago starch-alginate edible film containing lemongrass oil,” *Journal of Food Science*. 72 (6),C324–C330.
21. M. He, B. Zhang, Y. Dou, G. Yin, and Y. Cui, (2017) “Blend modification of feather keratin-based films using sodium alginate,” *Journal of Applied Polymer Science*. 134(15).
22. Chen, X., Zhou, L., Xu, H., Yamamoto, M., Shinoda, M., Tada, I., . . . Yamane, H. (2019). The structure and properties of natural sheep casing and artificial films prepared from natural collagen with various crosslinking treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 135, 959–968.
23. Figueiro, S., Goes, J., Moreira, R., & Sombra, A. (2004). On the physico-chemical and dielectric properties of glutaraldehyde crosslinked galactomannan–collagen films. *Carbohydrate Polymers*, 56(3), 313–320.
24. Sionkowska, A., Wisniewski, M., Skopinska, J., Poggi, G., Marsano, E., Maxwell, C., & Wess, T. (2006). Thermal and mechanical properties of UV irradiated collagen/chitosan thin films. *Polymer Degradation and Stability*, 91(12), 3026–3032.

INTERFAZ GRÁFICA PARA EL CÁLCULO DEL CENTROIDE DE UN CUERPO COMPUESTO

Juan Carlos Solorio Leyva, Margarita Torres Figueroa, Claudia Janett Cázarez Coss y León

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de La Piedad
juancsol@hotmail.com

RESUMEN

Hoy en día, es común encontrar actividades en los cursos del área de ingenierías donde se pide al alumno realizar, casi de forma manual, una cantidad considerable de operaciones numéricas. Lo anterior, además de tedioso, suele distraer al estudiante de aspectos importantes del objetivo de los cursos. En el caso del estudio de los centroides y centros de masa de cuerpos compuestos en el plano, es común dividir el cuerpo compuesto en un determinado número de cuerpos más simples, y a partir de ello, determinar los centroides de cada uno de ellos. Después se elabora una tabla con datos específicos, a partir de los cuales se determina el centro de masa o centroide del cuerpo compuesto. En este trabajo, se presenta el desarrollo de una interfaz gráfica, empleando las herramientas con las que cuenta la aplicación de uso libre Geogebra, con el propósito de ilustrar el cálculo automático del centroide y centro de masa, en dos casos particulares. En la interfaz, es posible hacer algunas modificaciones a la forma de los cuerpos y observar cómo se modifican los valores tanto en las tablas respectivas, como en los resultados para el centroide o centro de masa. La aplicación se encuentra disponible en línea para su utilización y el URL se lista al final del presente trabajo.

INTRODUCCIÓN

Diversos conceptos y definiciones dentro del área de ingenierías suelen ser difíciles de comprender para la mayoría de los estudiantes del Tecnológico Nacional de México. Por ejemplo, la definición de los conceptos de centroide, centro de masa y centro de gravedad involucran, en su forma más general, el uso de integrales. Algunos de los libros de texto más utilizados en estas asignaturas [1,2] suelen presentar este tema de dos maneras: a partir de su definición y mediante el uso de tablas. El uso de tablas, busca facilitar el cálculo de las coordenadas del centroide o centro de masa, pero, aun así, se requiere de un número considerable de operaciones para el cálculo de las coordenadas del centroide o centro de masa, cuando el cuerpo de análisis lo componen diversos elementos.

Contar con herramientas computacionales que lleven a cabo los cálculos numéricos de forma automática, permiten al estudiante mantener su atención en el análisis y facilitan la comprensión de los conceptos. Un applet en línea con estas características es sin duda un apoyo fundamental en el proceso de formación de los estudiantes de las áreas de ingeniería.

El software libre Geogebra, es una herramienta de uso libre para cálculos matemáticos que cuenta con funciones que permiten llevar a cabo diversas operaciones de manera interactiva entre elementos gráficos, expresiones algebraicas y tablas de valores [4]. En ella, es posible desarrollar applets (aplicaciones) en la forma de interfaz gráfica muy amigables e intuitivas para el usuario.

En el presente trabajo, se presenta el desarrollo de una herramienta para el cálculo del centroide y centro de masa de una figura compuesta en el plano, mediante una aplicación en Geogebra en la forma de interfaz gráfica de usuario [3]. Primeramente, en la sección de teoría, se lista un procedimiento para el cálculo del centroide y centro de masa de un cuerpo compuesto, usando tablas. Luego, en el apartado de resultados, se describe la estructura de la aplicación y su funcionamiento, siguiendo paso a paso las operaciones para ilustrar el cálculo del centro de masa y centroide de un cuerpo compuesto, al variar las dimensiones de sus elementos básicos y sus respectivas densidades. Por último, se presentan las conclusiones del trabajo.

TEORÍA

En [1] se define el centroide de un área de la siguiente manera:

“Si un área se encuentra en el plano xy y está delimitada por la curva $y = f(x)$, entonces su centroide pertenecerá a este plano y podrá determinarse a partir de

$$\bar{x} = \frac{\int_A \tilde{x} dA}{\int_A dA} ; \quad \bar{y} = \frac{\int_A \tilde{y} dA}{\int_A dA} \quad (1)$$

De forma similar, para el centro de masa de un cuerpo en el plano se tiene:

$$\bar{x} = \frac{\int_A \tilde{x} dm}{\int_A dm} ; \quad \bar{y} = \frac{\int_A \tilde{y} dm}{\int_A dm} \quad (2)$$

Para el caso de cuerpos compuestos, en [1] se enuncia que

“Un cuerpo compuesto consiste en una serie de cuerpos “más simples” conectados, los cuales pueden ser rectangulares, triangulares, semicirculares, etcétera. Un cuerpo de este tipo a menudo puede ser seccionado o dividido en sus partes componentes y, si se conocen el área (la masa) y la ubicación de cada una de esas partes, es posible eliminar la integración para determinar el centroide (centro de masa) de todo el cuerpo.

Así, para un cuerpo compuesto en el plano, el centroide se podrá encontrar a partir de

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}A}{\sum A} ; \quad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}A}{\sum A} \quad (3)$$

Y el centro masa estará dado por

$$\bar{x} = \frac{\sum \tilde{x}m}{\sum m} ; \quad \bar{y} = \frac{\sum \tilde{y}m}{\sum m} \quad (4)$$

\bar{x}, \bar{y} representan las coordenadas del centroide (centro de masa) del cuerpo compuesto.

\tilde{x}, \tilde{y} representan las coordenadas del centroide (centro de masa) de cada parte componente del cuerpo.

$\sum A$ ($\sum m$) es la suma de las áreas (masas) de todas las partes componentes del cuerpo, es decir, el área (la masa) total del cuerpo.

Por lo anterior, para determinar el centroide (centro de masa) de un cuerpo compuesto en el plano es útil construir una tabla como la siguiente:

Tabla1: Cantidades necesarias para el cálculo del centroide (centro de masa) de un cuerpo compuesto (tres elementos) en el plano

Elemento	Área (masa)	\tilde{x}	\tilde{y}	$\tilde{x} A$ ($\tilde{x}m$)	$\tilde{y} A$ ($\tilde{y}m$)
Elemento 1					
Elemento 2					
Elemento 3					
Suma	$\sum A$ ($\sum m$)			$\sum \tilde{x} A$ ($\sum \tilde{x} m$)	$\sum \tilde{y} A$ ($\sum \tilde{y} m$)

Las coordenadas del centroide de los “elementos simples” simples se obtienen a partir de tablas [1,2]. Por ejemplo, para los elementos rectangular y circular es relativamente simple y directo determinar su centroide. Para el elemento triangular se utiliza el hecho de que su centroide se encuentra a un tercio de su altura.

Así, empleando las fórmulas (3), para el centroide, y (4), para el centro de masa, será posible calcular sus respectivas coordenadas a partir de los resultados que se presentan en el último renglón de la tabla.

RESULTADOS

Partiendo del método presentado en la sección anterior para el cálculo del centroide y centro de masa de un cuerpo compuesto en el plano, se elaboró una actividad (applet) en Geogebra para ilustrar el cálculo de dichas cantidades. Este applet es interactivo, y cuenta con una interfaz principal en la cual el usuario puede elegir si se desea encontrar el centroide o el centro de masa del cuerpo compuesto que se presenta en la gráfica del lado izquierdo de la interfaz. Véase la figura 1.

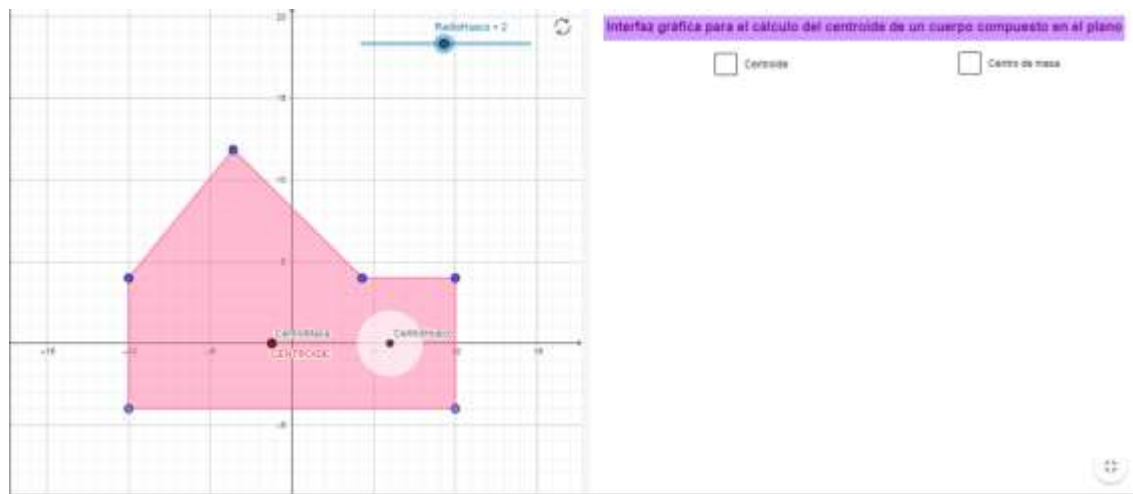


Figura 1. Interfaz gráfica para el cálculo del centroide o centro de masa de un cuerpo compuesto en el plano.

El cuerpo compuesto se conforma de tres cuerpos “más simples”. Uno triangular, uno rectangular y un hueco circular. Es posible modificar las dimensiones de los elementos que conforman el cuerpo compuesto moviendo los puntos que aparecen en su perímetro. Sin embargo, el movimiento de dichos puntos se limita a la forma de los elementos que lo conforman. Por ello, siempre se mantendrán las formas del triángulo, el rectángulo y el círculo. Para el hueco circular se puede modificar la posición de su centro simplemente moviendo el punto etiquetado “CentroHueco”. También es posible modificar la longitud de su radio a través del deslizador etiquetado como “RadioHueco” que aparece en la parte superior derecha de la gráfica. Es importante mencionar que el hueco circular solo se podrá mover dentro de los límites del elemento rectangular, por lo que su radio no podrá exceder en longitud la mitad del ancho del área del elemento rectangular de la figura. De igual manera, las dimensiones del elemento triangular están limitadas. Su base no podrá exceder el largo de la región rectangular y su altura no podrá ser mayor del ancho de la región rectangular. Si se elige la casilla etiquetada como “Centroide”, se tendrá la interfaz que se muestra en la figura 2. En este ejemplo en particular, se tiene un rectángulo con vértices en los puntos (-10, -4), (10, -4), (-10,4) y (10,4); un triángulo con vértices en los puntos (-10,4), (0,4) y (-10,10); y un hueco circular con centro en (6,0) y radio igual a 2.

Se pueden observar en la columna derecha de la interfaz los siguientes elementos. Una tabla, similar a la tabla 1, donde aparecen calculadas las cantidades necesarias para determinar el centroide del cuerpo compuesto de la figura. Así, se puede ver que las coordenadas del centroide del elemento rectangular son (0,0), del elemento triangular (-6.67, 6) y del hueco circular (6,0). También nos muestra las áreas para cada elemento, siendo para el elemento rectangular de 160 m^2 , para el elemento triangular de 29.95 m^2 y para el hueco circular de -12.57 m^2 . En el último renglón aparecen las sumas de: el área total del cuerpo que es de 177.38 m^2 , el área por la coordenada x del centroide de cada elemento que es de -275.07 m^3 y el área por la coordenada y del centroide de cada elemento que es de 179.61 m^3 .

Con estos datos la aplicación realiza el cálculo de las coordenadas del centroide, obteniéndose los siguientes resultados: $\bar{x} = -1.55 \text{ m}$ y $\bar{y} = 1.01 \text{ m}$. Si se mueven los puntos, se modificarán las dimensiones y forma general del cuerpo compuesto y la aplicación actualizará los cálculos de forma automática.

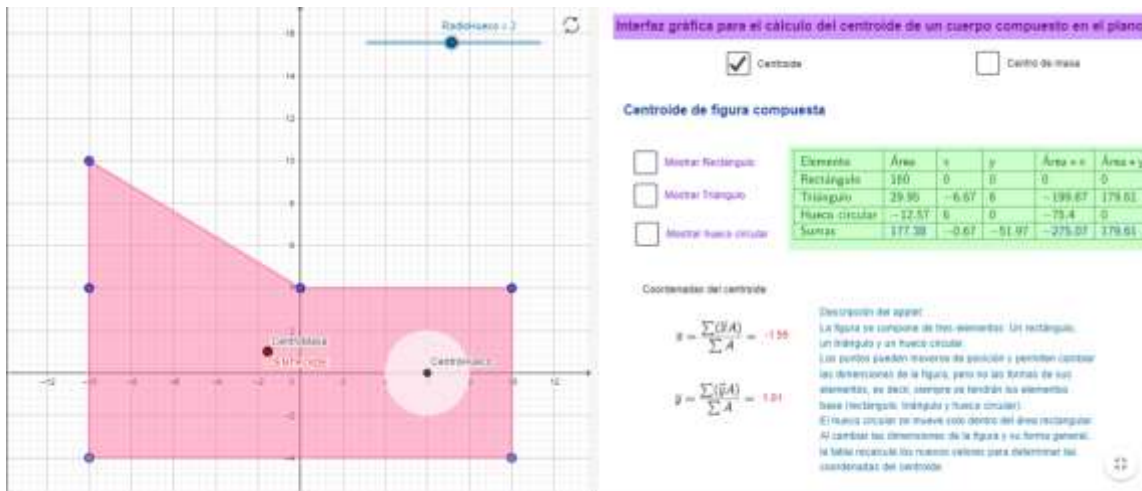


Figura 2. Cálculo del centroide de cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular).

En caso de marcarse alguna de las casillas para mostrar los elementos que conforman el cuerpo compuesto, dichos elementos aparecerán de manera sombreada en la gráfica de la interfaz. En nuestro ejemplo, se ha marcado la casilla “Mostrar triángulo”, por lo que la gráfica muestra de forma sombreada la región triangular del cuerpo compuesto, como se muestra en la figura 3.

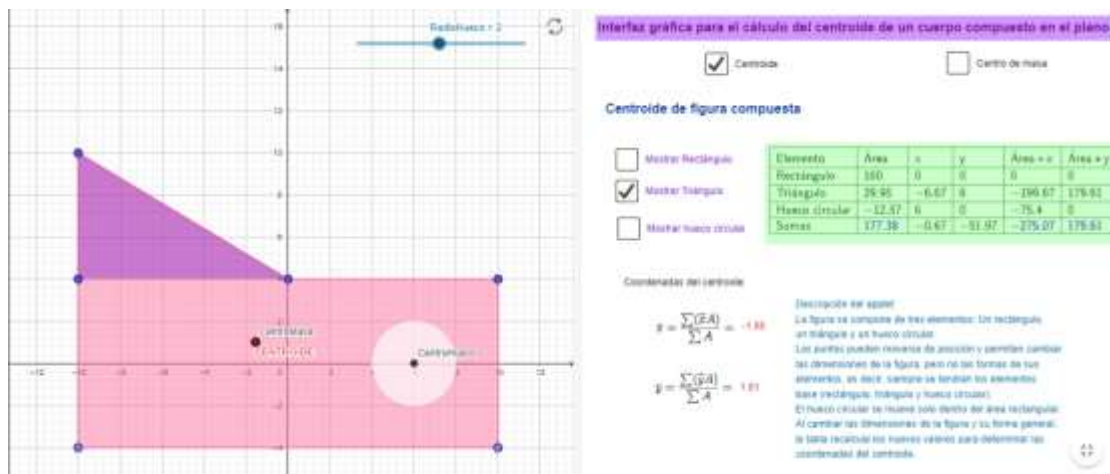


Figura 3. La grafica muestra de forma sombreada el elemento triangular del cuerpo compuesto.

Para calcular las coordenadas del centro de masa del cuerpo compuesto, se marca la casilla “Centro de masa” en la parte superior de la columna derecha de la interfaz, por lo que se tendrá la interfaz que se muestra en la figura 4. Considerando el mismo cuerpo compuesto empleado en la determinación del centroide, en el apartado anterior, se pueden observar en la columna derecha de la interfaz los siguientes elementos.

Casillas de entrada para las densidades de los elementos rectangular, triangular y hueco circular. En este ejemplo, las densidades son iguales para todos los elementos, y tienen un valor de 8 kg/m^2 . Una tabla, similar a la tabla 1, donde aparecen calculadas las cantidades necesarias para determinar el centro de masa del cuerpo compuesto de la figura. Así, se puede ver que las coordenadas del centroide del elemento rectangular son (0,0), del elemento triangular (-6.67, 6) y del hueco circular (6,0). También nos muestra las masas para cada elemento, siendo para el elemento rectangular de 1280 kg , para el elemento triangular de 239.61 kg y para el hueco circular de -100.53 kg . En el

último renglón aparecen las sumas de: masa total del cuerpo que es de **1419.08 kg**, la masa por la coordenada x del centroide de cada elemento que es de **-2200.58 kg · m** y la masa por la coordenada y del centroide de cada elemento que es de **1436.87 kg · m**.

Con estos datos la aplicación realiza el cálculo de las coordenadas del centro de masa, obteniéndose los siguientes resultados: $\bar{x} = -1.55 \text{ m}$ y $\bar{y} = 1.01 \text{ m}$. Como era de esperarse, estos datos coinciden con los valores calculados para el centroide ya que se tiene la misma densidad para todos los elementos.

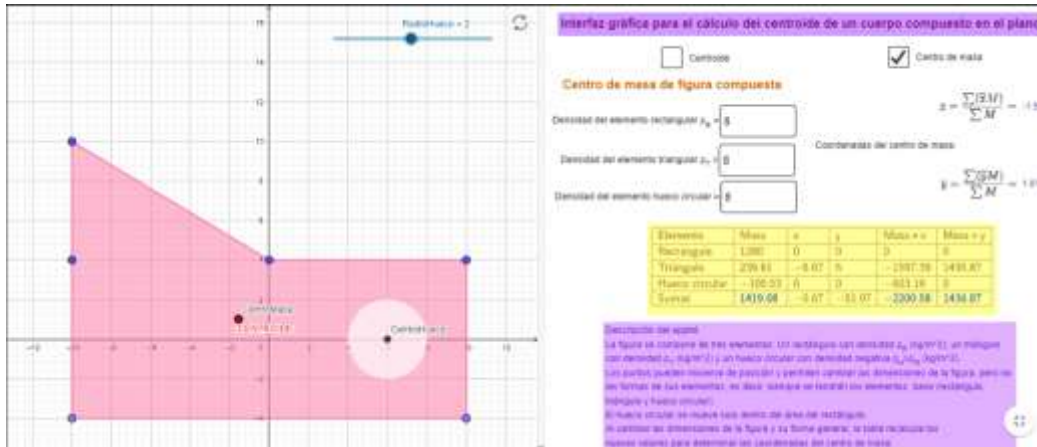


Figura 4. Cálculo del centro de masa de cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular). Mismas densidades para los elementos.

Se puede observar en la figura 4 que los puntos que representan el centroide, etiquetado como “CENTROIDE”, y al centro de masa, etiquetado como “CentroMasa”, coinciden en este caso en particular, en el cual todos los elementos del cuerpo compuesto tienen la misma densidad.

Si cambiamos el valor de la densidad para el elemento triangular a **2 kg/m²**, por ejemplo, la aplicación recalcula los valores de la tabla, y se obtienen las siguientes coordenadas para el centro de masa: $\bar{x} = -0.81 \text{ m}$ y $\bar{y} = 0.29 \text{ m}$. Obsérvese la figura 5.

En la figura 5 se puede observar que el centro de masa se ha desplazado un poco más hacia abajo y a la derecha, con respecto al caso anterior en el que se tenían las mismas densidades para todos los elementos del cuerpo compuesto. Esto era de esperarse, ya que el elemento triangular tiene una menor densidad que los otros elementos.

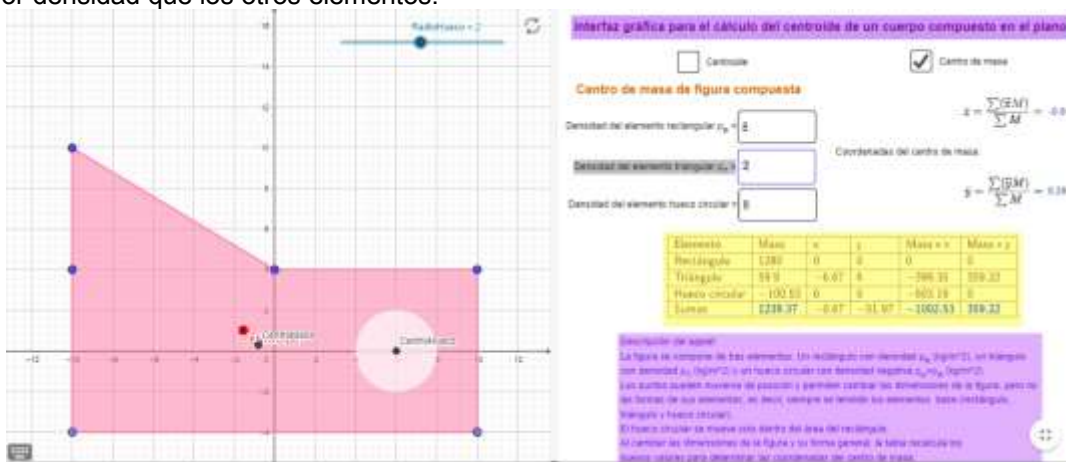


Figura 5. Cálculo del centro de masa de cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular). Densidad de elemento triangular igual a **2 kg/m²**.

Por el contrario, si se incrementa la densidad del elemento triangular a 14 kg/m^2 , las coordenadas del centro de masa son: $\bar{x} = -2.13 \text{ m}$ y $\bar{y} = 1.57 \text{ m}$, observándose un desplazamiento del centro de masa del cuerpo compuesto hacia arriba y hacia la izquierda, con respecto a la posición del centroide, como era de esperarse. Véase la figura 6.

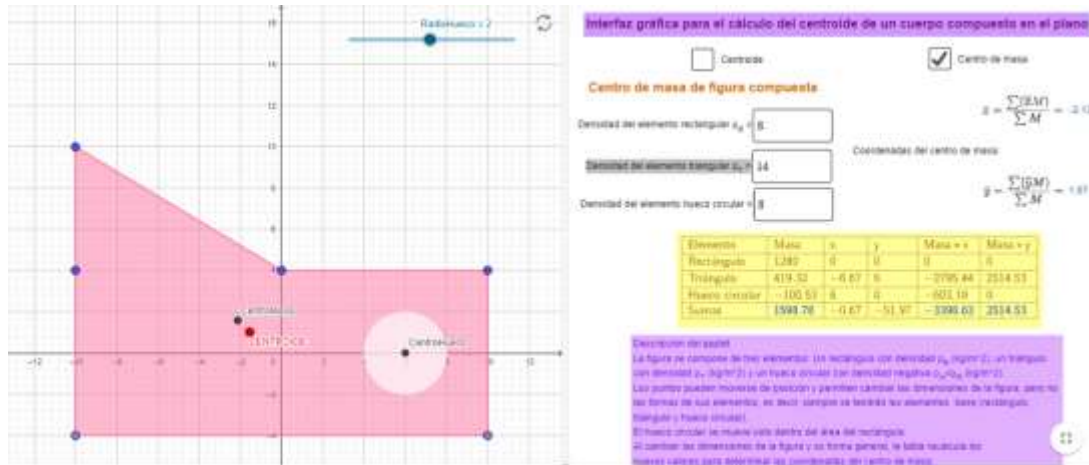


Figura 6. Cálculo del centro de masa de cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular). Densidad de elemento triangular igual a 14 kg/m^2 .

Si consideramos el caso en el que la altura del triángulo es igual a cero, que sería equivalente a tener solamente el elemento rectangular con el hueco circular, la aplicación nos da los siguientes valores para las coordenadas del centroide: $\bar{x} = -0.51 \text{ m}$ y $\bar{y} = 0 \text{ m}$. Véase la figura 7.

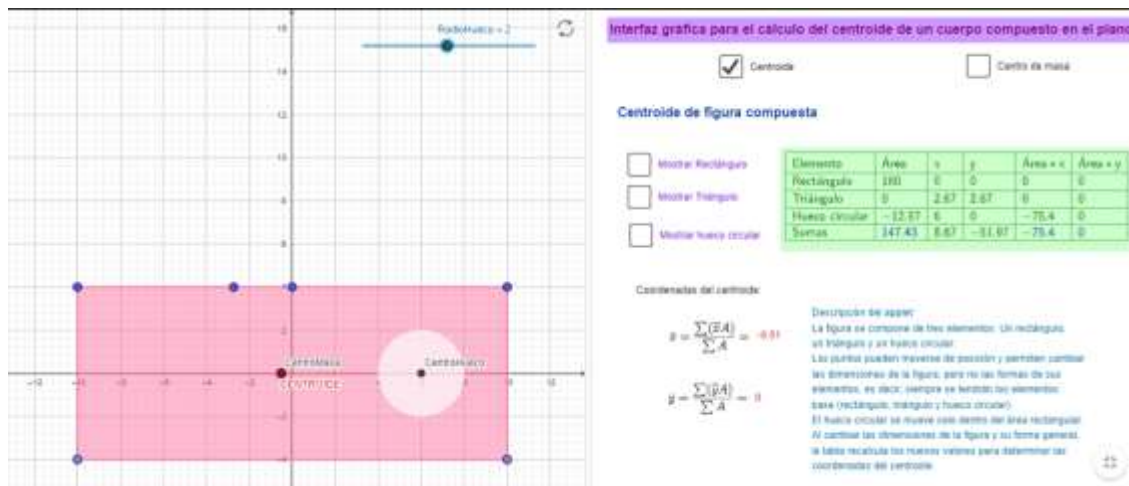


Figura 7. Cálculo del centroide del cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular). Altura del triángulo igual a 0 m .

Por último, si consideramos un triángulo con altura diferente de cero, pero con una densidad igual a 0 kg/m^2 , la aplicación nos da unas coordenadas del centro de masa que coinciden con el caso en el que el triángulo tenía altura igual a 0 m , es decir, $\bar{x} = -0.51 \text{ m}$ y $\bar{y} = 0 \text{ m}$. Véase la figura 8. Nótese que las coordenadas del centroide para este caso no son las mismas que las del centro de masa, ya que en el cálculo del centroide si se considera el elemento triangular, aunque su masa sea igual a cero.

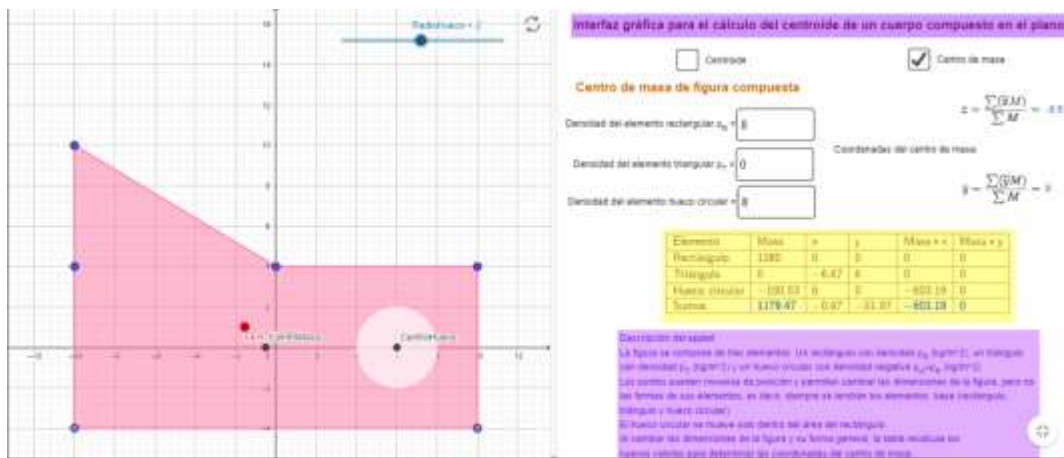


Figura 8. Cálculo del centroide y centro de masa del cuerpo compuesto (triángulo, rectángulo y hueco circular). Altura del triángulo igual a 6 m y densidad de 0 kg/m^2 .

CONCLUSIONES

El cálculo del centroide y centro de masa de cuerpos compuestos involucra el desarrollo de muchas operaciones que pueden ser tediosas para los estudiantes. La herramienta que se presenta en el presente trabajo permite al estudiante dejar de lado, por el momento, la tarea del desarrollo de operaciones (tabla y fórmulas), por lo que su atención podría centrarse en los conceptos en sí. Se ha diseñado una interfaz gráfica, por medio de un applet en Geogebra, amigable e intuitiva que permite realizar de manera interactiva y automática el cálculo del centroide y centro de masa de un cuerpo compuesto por tres elementos: uno rectangular, uno triangular y un hueco circular. Si se modifican las dimensiones y forma general del cuerpo compuesto, la aplicación recalcula automáticamente los valores de las tablas para determinar el centroide y centro de masa del cuerpo compuesto. La representación gráfica del centroide y centro de masa de manera simultánea en la interfaz ayudan a entender las diferencias entre estos dos conceptos.

Es importante mencionar que la capacidad de realizar las operaciones que se requieren en los métodos presentados, se limita a las posibilidades que ofrecen las herramientas de Geogebra, por lo que podrían presentarse algunos casos en los que el funcionamiento no sea el adecuado.

La URL de la aplicación en línea es: <https://www.geogebra.org/m/rmhwpst7>

BIBLIOGRAFÍA

1. R. C. Hibbeler, "Centro de Gravedad y Centroides," in *Ingeniería Mecánica: estática* (Prentice Hall, MÉXICO, 2010), Capítulo 9, pp. 447-507.
2. F. P. Beer, E. R. Johnston Jr., D. F. Mazurek, "Fuerzas distribuidas: Centroides y centro de gravedad," in *Mecánica vectorial para ingenieros: estática* (Mc Graw Hill, MÉXICO, 2013), Capítulo 5, pp. 179-192.
3. Solorio Leyva, J.C. (2021) "Interfaz gráfica para el cálculo del centroide y centro de masa para un cuerpo compuesto en el plano". Geogebra/TecNM Campus La Piedad, <https://www.geogebra.org/m/rmhwpst7>
4. Comandos. (2020). En Geogebra recuperado el 7 de junio de 2020 de <https://wiki.geogebra.org/es/Comandos>

SECADO DE REBANADAS DE PAPAYA POR VENTANA DE REFRACTANCIA.

Paulina Aguirre Lara, Guadalupe del Carmen Rodríguez Jiménez, José Manuel Tejero Andrade, Miguel Ángel García Alvarado.

Tecnológico Nacional de México / IT Veracruz-UNIDA, M. A. De Quevedo, 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver., 91897, Mexico.
Paulina.agla@gmail.com.

RESUMEN

El secado es una operación unitaria ampliamente utilizada en la industria alimenticia, ya que permite reducir el contenido de agua, lo que evita la descomposición de los alimentos por reacciones enzimáticas o por la presencia de microorganismos. Los métodos convencionales de secado utilizan mecanismos conductivos de transferencia de calor. El secado representa entre el 12 y 20% de la energía consumida en la industria alimentaria. Por ello es necesario desarrollar nuevas y mejores tecnologías de secado que permitan obtener resultados óptimos usando condiciones que favorezcan la eficiencia del proceso. El Secado por Ventana de Refractancia™ (SVR) es un método de secado de cuarta generación utilizado principalmente para deshidratar frutas y verduras en forma de purés, jugos y/o rodajas¹. El SVR utiliza agua por debajo del punto de ebullición, entre 60 y 98 °C, cuya energía de radiación se transfiere a través de una película plástica con baja absorbancia a la radiación infrarroja sobre la cual se coloca el alimento. Las principales variables de operación durante el SRV son: temperatura del agua, espesor del alimento, tipo de película de soporte, entre otras². Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la radiación en el secado de rebanadas de papaya (*Carica papaya* L.) por ventana de refractancia usando como películas de soporte Mylar y Mylar-aluminio. Se diseñó y construyó un prototipo de secador por ventana de refractancia³. Se utilizaron rebanadas de 2 mm de espesor usando tres temperaturas de agua (60 °C, 75 °C y 90 °C) y dos películas de soporte (Mylar y Mylar-aluminio). Los resultados obtenidos muestran que el equilibrio del secado se alcanza a 195, 90 y 45 minutos a 60, 75 y 90 °C, respectivamente empleando Mylar como película de soporte. Mientras que con Mylar-aluminio el equilibrio de secado es alcanzado a un mayor tiempo: 210, 165 y 90 minutos a 60, 75 y 90 °C, respectivamente. Estos resultados demuestran el efecto de la radiación en el secado por ventana de refractancia a 75 y 90 °C, efecto al cual se le atribuyen las ventajas de este tipo de secado frente a otros métodos convectivos. El SVR puede ser un proceso alternativo a los métodos convencionales.

INTRODUCCIÓN

La papaya es una fruta tropical originaria de México y América Central, dentro de su composición nutricional se encuentran vitaminas (C, B1, B2) y carotenoides. Esta especie es típica de las regiones tropicales y subtropicales, requiere temperaturas de entre 21 y 33 °C y no tolera el clima frío (menos de 15 °C). La papaya se cultiva en casi todos los países tropicales de América (América Central, América del Sur y el estado de Hawái), en la India, Sri Lanka y varios países asiáticos, así como las Antillas y África tropical. Actualmente, México es el líder mundial en la exportación de papaya, con una elevada brecha respecto de los otros principales proveedores y es el quinto productor a nivel mundial, con un 6.2 %. La papaya es altamente perecedera, principalmente debido a su alto contenido de humedad (entre 80 y 85 % b.h.), por lo que es importante buscar alternativas para su conservación y/o procesamiento⁴.

El secado es una operación de estabilización y conservación, en especial de alimentos, ya que los microorganismos que provocan la descomposición de los alimentos no pueden crecer y multiplicarse en ausencia de agua. Además, muchas de las enzimas que causan los cambios químicos en alimentos y otros materiales biológicos no pueden funcionar sin agua⁵. Aproximadamente más del 85 % de los secadores industriales son de tipo convectivo ya sea con aire caliente o gases de combustión como el medio de transferencia de calor. El secado convectivo es un proceso complejo que involucra la transferencia simultánea de calor y masa. El proceso de secado representa aproximadamente el 12 – 20 % de la energía consumida en la industria alimentaria. La calidad del producto en términos de atributos nutricionales, funcionales y sensoriales es otra preocupación importante. Con los métodos de secado convencionales que dependen de modos conductivos de

transferencia de calor, la calidad del producto final puede ser afectada, por ello es necesario desarrollar nuevas y mejores técnicas de secado que permitan obtener resultados óptimos empleando condiciones que favorezcan la eficiencia del mismo, la conservación de la calidad y propiedades de los productos, y que además, sean métodos rentables^{6,7}.

El secado por Ventana Refractancia™ (SVR), un método de secado de alimentos y materias primas de cuarta generación empleado principalmente para deshidratar frutas y verduras en forma de purés, jugos y rodajas⁸. El SVR emplea agua por debajo del punto de ebullición, entre 75 y 98 °C, cuya energía de radiación se transfiere a través de una película plástica con baja absorbancia a la radiación infrarroja sobre la cual se coloca la materia prima. Las principales variables de operación durante el secado por ventana de refractancia son la temperatura del agua de secado, el espesor de la materia prima, el tipo de película de soporte, entre otras. Las ventajas del SVR son el bajo costo de operación, debido a que opera a presión y temperatura comparativamente más bajas con respecto a otros métodos de secado, proporcionando tiempos de secado más cortos y mejor retención de color, sabor y de nutrientes, como vitaminas y antioxidantes, lo que da como resultado productos de calidad superior⁹. En el SVR el calor se transfiere por tres mecanismos (radiación, conducción y convección), aunque se caracteriza por el empleo de radiación infrarroja en el rango medio emitida por el agua caliente que atraviesa la película de soporte la cual posee una elevada permeabilidad a esta radiación y por consecuencia da lugar a un secado eficiente. Sin embargo, las contribuciones relativas de estos mecanismos de transferencia no se han estudiado fenomenológicamente.

TEORÍA

Por lo anterior surge la hipótesis de que al cubrir la membrana de plástico transparente a la radiación (película de secado) con un material reflector, la transferencia de calor por radiación del agua caliente al alimento se reduciría, y la transmisión de energía se produciría principalmente por conducción. Por lo anterior, este método de secado es una opción viable y atractiva a la necesidad de secado en el área alimentaria, por lo cual se propone la evaluación del efecto de la radiación emitida por el agua sobre el proceso de secado en rebanadas de papaya.

PARTE EXPERIMENTAL

Diseño y construcción de un Secador por Ventana de Refractancia.

Se diseñó un secador por lotes por ventana de refractancia que incluye:

- Un tanque cuya función es contener el agua caliente.
- Película de polímero Mylar que se encuentra en contacto directo con el agua.
- Una cubierta superior de acero inoxidable con dos ventiladores en su cara superior para la extracción de la humedad retirada del alimento.
- Dos resistencias de calentamiento.
- Un sistema de control de temperatura.

Secado por ventana de refractancia

Se utilizó papaya maradol (Carica Papaya L.) como materia prima, fue comprada en el mercado local, seleccionando aquellas con estadio de madurez 6 (en escala 1-6) en el que toda la cascara presentó un color amarillo / naranja se consideró óptima para el secado y se almacenó en refrigeración hasta el momento de su uso. La materia prima se acondicionó removiendo el epicarpio y fue cortada en rebanadas con un espesor de 2 mm, para lo cual se utilizó un rebanador manual.

Las cinéticas de secado tuvieron como propósito observar la evolución del contenido de humedad de las rebanadas de papaya de 2 mm de espesor durante el secado y determinar el tiempo necesario para alcanzar la humedad de equilibrio utilizando 2 películas de soporte diferentes, Mylar y Mylar cubierto de aluminio. Se realizó el seguimiento del contenido de humedad por duplicado a través de pruebas destructivas de la materia prima siguiendo la metodología AOAC 32.1.03, 1995. Esta técnica consiste en pesar la muestra en una balanza analítica, y posteriormente introducirla en una estufa de vacío a 60 °C y 100 mmHg, mantener bajo estas condiciones hasta que la muestra se encuentre en peso constante. Para finalmente, pesar nuevamente y por pérdida de peso determinar la humedad. Para este análisis se tomó una muestra periódicamente cada 15 minutos hasta que otra muestra monitoreada llegó a peso constante.

RESULTADOS

Diseño y construcción de un Secador por Ventana de Refractancia.

El secado de las rebanadas de papaya se efectuó en un prototipo de secador por ventana de refractancia, el cual consta de un tanque cuya función es contener el agua caliente responsable de la emisión de la energía infrarroja necesaria para realizar el secado del producto húmedo colocado sobre una película de polímero Mylar que se encuentra en contacto directo con el agua. El área de secado se aisló por medio de una cubierta superior de acero inoxidable en cuya cara superior se ubican dos ventiladores para la extracción de la humedad retirada del alimento, y dos cubiertas laterales removibles para permitir la manipulación del producto durante el secado. El tanque del SVR, así como la cubierta superior y laterales son presentadas en la Figura 2.

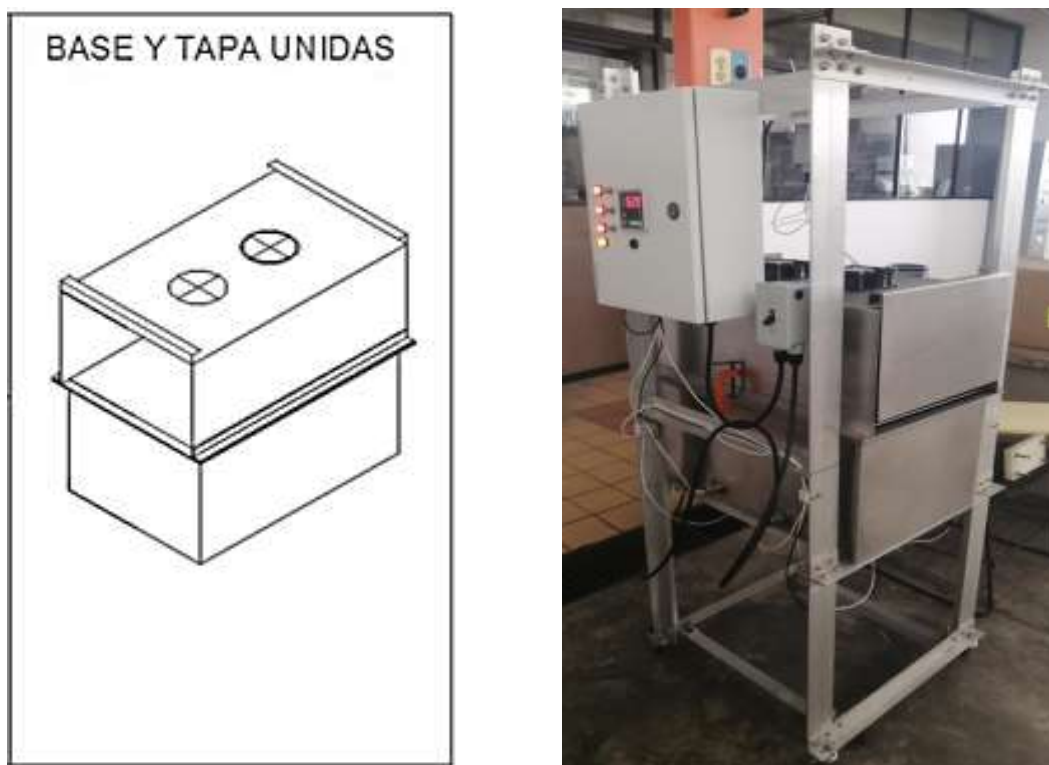


Figura 2. Estructura del prototipo del secador por ventana de refractancia.

El secador cuenta con cuatro resistencias eléctricas de inmersión con rosca de montaje NPT como la fuente primaria de energía para incrementar y mantener la temperatura del agua adecuada para el correcto desarrollo del secado, el número de resistencias necesarias se definió con la relación entre la capacidad de litros totales del tanque (60 kg) y la potencia de los calefactores (500 W) para obtener un estimado del tiempo que tomaría calentar el agua ($P = \frac{\Delta E}{\Delta t}$), y con base a una relación tiempo – precio se decidió usar 4 resistencias de inmersión. El control de la temperatura del secador se lleva a cabo con un controlador proporcional On-Off con conexión a un sensor RTD. Las conexiones entre las resistencias y el controlador de temperatura es través de un relevador de tipo estado sólido.

Cinéticas de humedad

El secado de las rebanadas de papaya se efectuó en el prototipo de SVR previamente descrito, el cual fue construido y diseñado en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos, empleando como película de soporte Mylar y Mylar-Aluminio en el área de secado de 0.24 m². A continuación se presentan los resultados de los parámetros evaluados durante el secado. Como se observa en la Figura 3 existe una marcada diferencia entre las cinéticas utilizando las dos diferentes películas de soporte a 75 y 90 °C. Al usar Mylar - aluminio se requiere más tiempo para alcanzar la humedad de equilibrio, por

lo que a estas temperaturas de operación existe un efecto de la emisión de radiación infrarroja por parte del agua durante el secado.

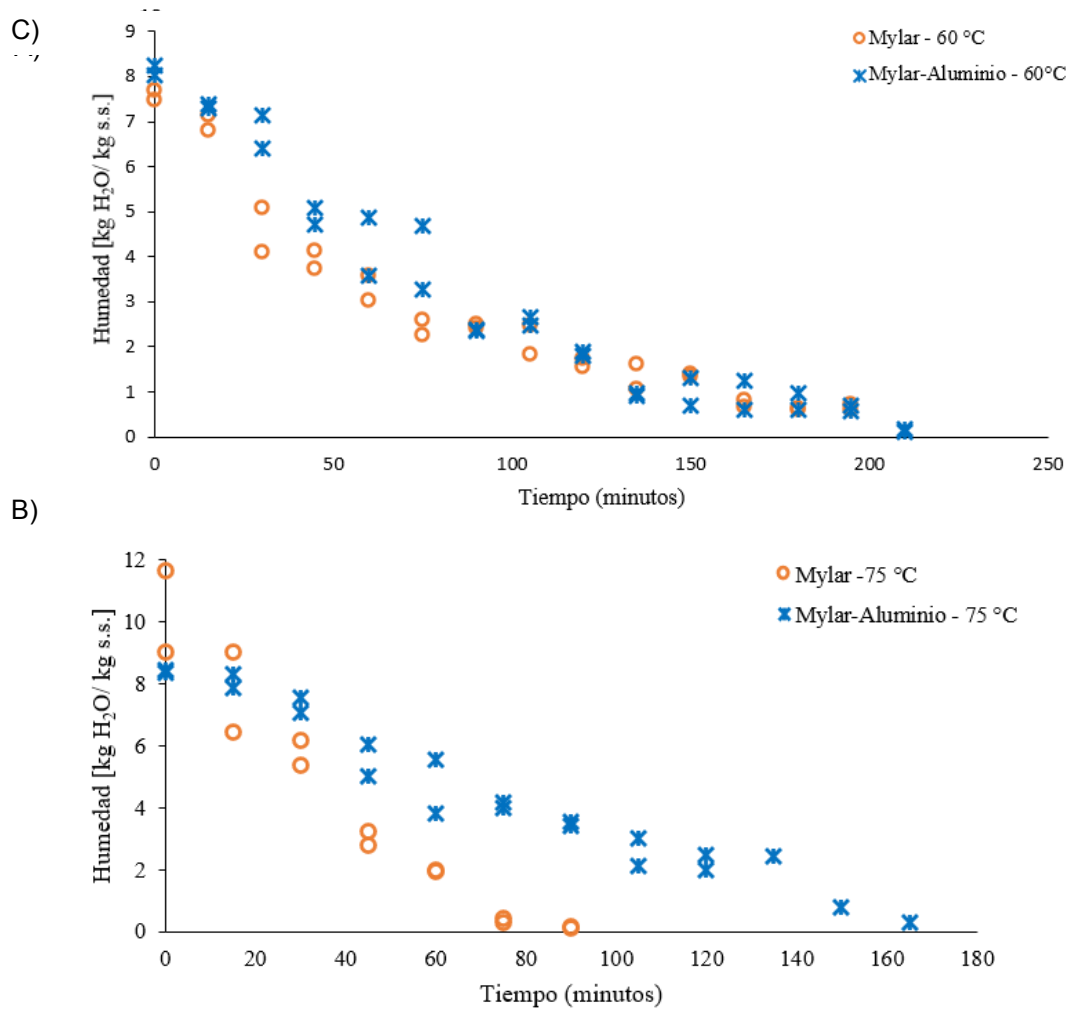


Figura 3. Cinética de humedad durante el secado de rebanadas de papaya de 2 mm de espesor a 60 (A), 75 (B) y 90 (C) °C utilizando Mylar y Mylar-aluminio como película de soporte.

Este efecto se puede explicar tomando en cuenta la longitud de onda de la radiación infrarroja emitida por el agua a las tres temperaturas empleadas durante los secados realizados 8.67, 8.32 y 7.98 a 60, 75 y 90 °C respectivamente, estas longitudes de onda se calcularon a partir de la Ley de desplazamiento de Wien, y establece que hay una relación inversa entre la longitud de onda en la que se produce el pico de emisión de un cuerpo negro y su temperatura. Al ubicar estas longitudes de onda en el gráfico de transmitancia del Mylar presentado en la Figura 4, se obtienen porcentajes cercanos a 40 % para las temperaturas de 75 y 90 °C mientras que a 60 °C este porcentaje disminuye hasta un valor cercano a 0 % impidiendo el paso de la energía infrarroja emitida por el agua hacia el alimento, por lo que el mecanismo de secado es principalmente por conducción.

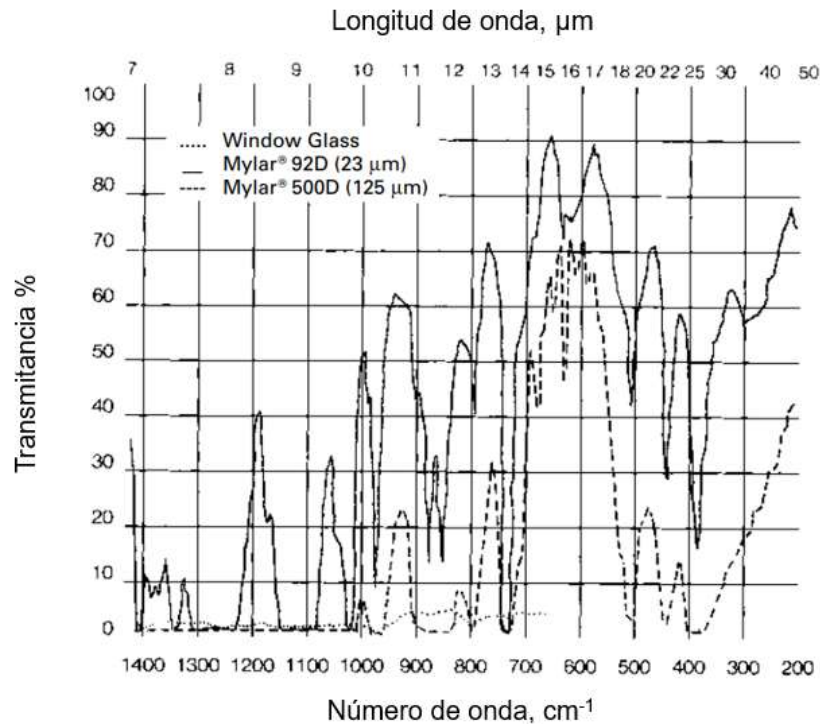


Figura 4. Gráficas de transmitancia de Mylar tipo D (DuPont Teijin Films, 2003).

CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó un secador por ventana de refractancia por lotes con un área efectiva de secado de 0.24 m² conformado por un tanque de almacenamiento de agua caliente, película de polímero Mylar tipo D, cubierta superior de acero inoxidable con dos ventiladores en su cara superior para la extracción de la humedad retirada del alimento, dos resistencias de calentamiento y un sistema de control de temperatura.

Como se esperaba, a mayor temperatura de operación menor es el tiempo requerido para alcanzar la humedad de equilibrio, el secado a 90 °C es 2 veces más rápido que a 75 °C y 4 veces más que a 60 °C utilizando Mylar como película de soporte, mientras que con Mylar-aluminio el secado a 90 °C es 2 veces más rápido que a 75 °C y 1.8 veces más que a 60 °C.

Los tiempos de equilibrios obtenidos en las cinéticas de secado demuestran que a 60 °C no existe efecto de la radiación emitida por el agua entre las 2 películas de soporte (Mylar y Mylar - Aluminio) empleadas. Mientras que a 75 y 90 °C el efecto de la radiación es evidente entre ambas películas de soporte. Esto se debe a la diferencia en la permeabilidad del Mylar entre las temperaturas empleadas, ocasionando que a 75 y 90 °C haya una mayor transmisión de la radiación infrarroja del agua hacia el alimento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Nindo, C. I., y Tang, J. (2007). Refractance window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying technology*, 25(1), 37-48.
2. Ortiz-Jerez, M. J., Gulati, T., Datta, A. K., & Ochoa-Martínez, C. I. (2015). Quantitative understanding of refractance window™ drying. *Food and Bioproducts Processing*, 95, 237-253.
3. Aguirre-Lara, P. (2018). Diseño y construcción de un secador por ventana de refractancia. Reporte final de residencias. Tecnológico Nacional de México / IT Veracruz-UNIDA.
4. SAGARPA. 2017. Planeación agrícola nacional, 2017-2030. Papaya mexicana.
5. Geankoplis, C.J.1998. Procesos de transporte y operaciones unitarias. 3ª edición. Minnesota: CECSA.
6. Moses, J. A., Norton, T., Alagusundaram, K., y Tiwari, B. K. 2014. Novel drying techniques for the food industry. *Food Engineering Reviews*, 6(3), 43-55.
7. Ahmed, N., Singh, J., Chauhan, H., Anjum, P. G. A., y Kour, H. 2013. Different drying methods: their applications and recent advances. *International Journal of Food Nutrition and Safety*, 4(1), 34-42.
8. Ortiz. M.J. 2014. Modelación matemática del secado de alimentos por el método de Ventana de Refractancia. Universidad del Valle. Cali, Colombia.
9. Nindo, C. I., y Tang, J. 2007. Refractance Window dehydration technology: a novel contact drying method. *Drying Technology*, 25(1), 37-48.

DETECCIÓN DE NEUMONÍA EN IMÁGENES RADIOLÓGICAS DEL ÁREA TORÁCICA EMPLEANDO PROCESAMIENTO DE IMÁGENES Y REDES NEURONALES

Diana Bueno Hernández¹, Karla Flores Mosqueda², Alfonso Castillero Murillo³

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología, Instituto Politécnico Nacional, Av. Acueducto, La Laguna Ticomán, Gustavo A. Madero, 07340 Ciudad de México, México. dbuenoh@ipn.mx¹, Karla_scout@hotmail.com², alfcastmuri@hotmail.com³

RESUMEN

La neumonía es una enfermedad que presenta un alto riesgo en países en etapas de desarrollo, los cuales tienen un alto índice de contaminación en el aire. En México, la neumonía es la causa de muerte n°9, anualmente se registran alrededor de 120 mil nuevos casos, y una tasa de mortalidad cerca del 16 %¹, debido a la falta de atención o un mal diagnóstico. Es por ello que el uso de radiografías para la detección de casos de neumonía es sumamente importante como herramientas de diagnóstico, sin embargo, también puede llegar a ser algo compleja debido a otra serie de afecciones en los pulmones. El objetivo de este proyecto es desarrollar un algoritmo que sea capaz de reconocer de manera automática una radiografía de un paciente sano a un paciente con neumonía, con el análisis de imágenes radiológicas en la sección del tórax, mediante el uso de deep learning. Para esto se elaboró un programa desarrollado en lenguaje python, con el uso de librerías avanzadas de apoyo como numpy, pandas, keras, Sklearn, entre otras. El dataset está compuesto de 3182 imágenes radiológicas de tórax. En el modelo planteado de red neuronal fue utilizado el modo Adam como optimizador y la entropía cruzada como pérdida emplea la función de activación Relu, excepto en la última capa donde se utilizó Softmax. La red está compuesta con 1 capa de entrada aunada de 32 neuronas, 4 capas convolucionales compuestas por su respectiva capa convolucional, Max pooling y normalización por lote, 3 capas de aplanamiento y finalmente una capa de salida. Para el cálculo de los pesos se realizaron 10 épocas, obteniendo una convergencia visible en el decremento del porcentaje de validación y de pérdidas, obteniendo un máximo de precisión del 87%. El modelo propuesto logra una buena precisión en el reconocimiento de imágenes, sin embargo, los diagnósticos médicos requieren un mayor porcentaje de asertividad para poder ser considerados viables para diagnóstico. Ciertos problemas en las imágenes como la presencia de electrodos, cables mal posicionados, mala posición del paciente o la profundidad de la respiración pueden alterar la apariencia de la radiografía lo que dificulta el entrenamiento, es necesario considerar hacer una mejora al algoritmo que logre reconocer dichos errores para poder diferenciar de las imágenes que sirvan para un mejor entrenamiento del modelo.

INTRODUCCIÓN

En el campo de la medicina, una de las disciplinas que más ha evolucionado es el radiodiagnóstico, innovando con más y mejores técnicas de adquisición de imágenes que nos permiten visualizar y detectar con mejor calidad, las posibles afecciones de un paciente. La radiografía convencional fue la primera herramienta de radiodiagnóstico, su relativo bajo costo, practicidad, la hacen una de las técnicas más utilizadas y básicas para el diagnóstico de casi cualquier dolencia.

La radiografía convencional es una técnica exploratoria que somete la sección de un cuerpo a un rayo de alta energía de fotones (rayos X), haciéndolo pasar a través de él, para obtener una imagen de las estructuras corporales, las cuales se representan gracias a la atenuación o bloqueo de los rayos, la imagen es captada por una película radiográfica o por detectores digitales. Por otro lado, las radiografías digitales se adquieren sometiendo las imágenes captadas a procesamiento mediante software, pudiendo así proyectar una imagen que puede ser visualizada en pantalla e imprimirse en película específica para ese propósito o almacenarse en CD.

En la actualidad la tecnología ha facilitado la aparición de equipos radiológicos con sistemas de captura digital u ODT (Opción Digital Total). Gracias a la implementación de estos sistemas digitales, es posible la integración de un sistema de archivo único DICOM (*el estándar en Imagenología Digital y Comunicaciones en Medicina*) y comunicaciones que permita el flujo de datos con la información, que en el caso de las imágenes radiológicas se denominan PACS (Picture Archiving and Communications System). Una de las mayores ventajas de los sistemas ODT es poder disminuir el

número de retomas en cada paciente por errores de técnica radiográfica ya que se pueden hacer correcciones de brillo y contraste de manera electrónica directamente en los monitores de visualización. Mediante la conexión a una red, los equipos hacen un intercambio rápido de información, gracias al formato de archivo único (DICOM 3), permitiendo la posibilidad de enviar los resultados por vía electrónica (Internet) a los Centros de referencia de los pacientes. Así se posibilita la creación de un sistema de Telemedicina integrado con imágenes radiográficas.

En la radiología convencional las imágenes obtenidas tienen un nivel de nitidez y contraste naturalmente bajo, debido a la atenuación que sufre la energía debido a la densidad de tejidos, de los cuales se distinguen 5 tipos de densidades atenuantes, los cuales son:

Medio	Contraste
Aire:	Por completo radiolúcido.
Grasa	De forma moderada radiolúcida
Líquido	Moderada radiopaco, hueso, en especial radiopaco.
Metal	Del todo radiopaco.

Tabla 42. Tipos de medios de contraste

La región del tórax contiene las principales estructuras vitales del cuerpo humano, protegidas por la caja torácica, haciendo de vital importancia su estudio con imágenes. Esta área proporciona una gran cantidad de información acerca del sistema respiratorio, como el estado del parénquima pulmonar, la posición de la tráquea, los bronquios o afecciones como tumores, del sistema circulatorio es posible reconocer la silueta cardíaca, venas y arterias principales, entre otros.

Es indispensable realizar estudios de imagen que ayuden a confirmar un diagnóstico ya que de la radiografía de tórax podemos obtener resultados anormales que nos permitan visualizar la afección del paciente, las principales afecciones que podemos ver en los pulmones son cuadros de neumonía, tumores pulmonares (canceroso o no canceroso) o tuberculosis. Mientras que del corazón, se aprecian posibles problemas con el tamaño, la forma, la posición, forma de las arterias mayores o incluso evidencia de insuficiencia cardíaca.

Las técnicas de radiología se encaminan hacia el manejo computarizado, electrónico y en línea, por lo que es indispensable la creación de herramientas que se adapten al ambiente rápidamente cambiante y evolutivo del radiodiagnóstico. Existen herramientas de procesamiento de imágenes, que mediante el uso de algoritmos, pueden detectar patrones de comportamiento y así, facilitar el reconocimiento de las estructuras del área torácica y posibles lesiones; además de errores en la adquisición de la imagen que interfieran en una interpretación médica.

El procesamiento digital de imágenes (PDI) consiste en un conjunto de técnicas y procesos para extraer mediciones, datos o información contenida en una imagen. Para ello es necesario pasar por distintas etapas de procesamiento y filtrado, donde se examina la imagen y se adecua para su aplicación específica. El PDI de manera general propone 3 métodos para poder tratar dichas imágenes y su información: La digitalización y codificación de imágenes que busca facilitar la retransmisión, representación y almacenamiento de las mismas; la restauración de una imagen, proceso que consiste en la mejora de la información contenida para su mejor interpretación y por último, la caracterización y segmentación de imágenes para aplicaciones de tratamiento de datos de manera estadística o por medio de inteligencia artificial. Dado este panorama existen herramientas de PDI como lo es machine learning, que mediante el uso de algoritmos, que detectan patrones de comportamiento de datos, llevan a cabo el reconocimiento de estructuras dentro de una imagen.

TEORÍA

La radiología simple cobra una gran importancia al ser utilizada para el radiodiagnóstico y estudio de las enfermedades respiratorias. Esto se debe a diversos factores, entre ellos encontramos: su

simplicidad, debido a que no son molestas para el paciente; su rapidez, su baja dosis de radiación (0.4mGy en la proyección posteroanterior) y, además, que es más económica a comparación de otras técnicas.

De acuerdo con lo establecido en la guía de equipamiento de la unidad de imagenología, de la CENETEC, en el área de rayos X simples se pueden atender hasta 100 pacientes diarios por equipo, con 2 placas promedio por paciente, teniendo una duración de 10 minutos promedio para placas simples y 45 minutos para estudios con medio de contraste, lo cual nos indica que una unidad de rayos X tiene una carga de trabajo igual a 61,600 placas por año.

De acuerdo a la secretaría de salud, cada año se diagnostican alrededor 500 mil casos nuevos y ocurren 1.7 millones de decesos por cáncer pulmonar en México, ubicando a este padecimiento de manera constante en el séptimo lugar de causa de muerte. En la última década se ha incrementado su incidencia en 30 por ciento, por lo que de continuar con esta tendencia en el 2030 se tendrán 2.7 millones de casos nuevos. También se diagnosticaron 117 mil 731 casos nuevos de neumonía en 2018, sin embargo, debido a la reciente crisis sanitaria ocasionada por el virus de Covid-19, se han aumentado considerablemente los casos de esta enfermedad, siendo esta la principal complicación y causa de muerte. Es fundamental considerar las afecciones antes mencionadas ya que para su diagnóstico requiere de la adquisición de imágenes radiológicas de la sección del tórax.

La finalidad y objetivo principal de esta y todas las técnicas de radiodiagnóstico, es, para el médico, observar las estructuras internas del cuerpo para diagnosticar la causa de síntomas, detectar enfermedad o comprobar el resultado de un tratamiento; y para el paciente, prolongar su vida al obtener detecciones y seguimientos de las enfermedades que pueda llegar a tener. A medida que las radiografías aumentan en demanda año con año, la interpretación y diagnóstico eficiente de estas imágenes, exige que el personal que las lleva a cabo esté adecuadamente formado y capacitado.

La metodología de la capacitación de los médicos en cuanto a la interpretación de las imágenes radiológicas en el sistema de salud mexicano, cuenta con las bases teóricas sólidas necesarias, sin embargo, pueden llegar a existir errores humanos al momento de realizar la respectiva interpretación de la imagen para el diagnóstico del paciente; es por ello que existe una gran necesidad médica de desarrollar herramientas de soporte y diagnóstico automatizado, para mejorar la calidad del diagnóstico y reducir el tiempo de análisis en las imágenes de rayos X.

Es por ello que el objetivo de este proyecto es desarrollar un algoritmo que sea capaz de reconocer de manera automática una radiografía de un paciente sano a un paciente con neumonía, con el análisis de imágenes radiológicas en la sección del tórax, mediante el uso de deep learning.

El beneficio de la implementación de estas tecnologías en un programa es que se puede garantizar análisis de imágenes con un porcentaje de error muy inferior al que puede presentarse con el error humano en el tratamiento de diagnósticos médicos.

En los últimos años, el machine learning y el deep learning (DL, acrónimo del inglés), se han convertido en tecnologías de gran interés en el campo de la medicina. Mientras que el machine learning consiste en el aprendizaje de procesos y algoritmos, a partir de una cantidad de datos relacionados, permitiendo así predicciones sobre nuevos datos de muestra, el DL forma parte del aprendizaje automático basado en algoritmos con estructura de red neuronal multicapa, inspirado en el cerebro humano. Aunque estos no son conceptos nuevos, el rápido crecimiento de la informática y la disponibilidad de conjuntos de datos etiquetados de imágenes torácicas permiten su aplicación para la resolución de problemas que tienen relación con el análisis de imágenes, pudiendo así, alterar significativamente la forma en que se practica la medicina. Estos algoritmos son capaces de aprender de sus errores y de reorganizar sus redes neuronales, con lo que, igual que los seres humanos, están sometidos a un constante aprendizaje.

El aprendizaje automático o machine Learning, busca mediante el procesado de datos la identificación de patrones comunes que permitan la elaboración de predicciones cada vez más perfeccionadas. Siguiendo la evolución del machine Learning surge en los últimos años el conocido como deep learning o aprendizaje profundo. Este, a diferencia del aprendizaje automático entiende el mundo como una jerarquía de conceptos, permitiendo reorganizar la información en diferentes capas mediante el uso de módulos, que transforman su representación en un nivel más alto y abstracto. Esto permite la amplificación de la información relevante y eliminar información innecesaria.

Las redes neuronales artificiales o neural networks son modelos matemáticos que tratan de emular el comportamiento natural de las redes neuronales biológicas. Se establece una red de unidades lógicas o neuronas interceptadas entre sí que procesan la información recibida y emiten un resultado a la siguiente capa determinado por una función de activación que tiene en cuenta el peso de cada entrada, dotando así de mayor importancia a conexiones entrantes concretas. Las redes neuronales multicapa organizan y agrupan las neuronas artificiales en niveles o capas. Cuentan con una capa de entrada y otra de salida y entre ellas puede contar con un número indefinido de capas ocultas o hidden layers.

Las redes neuronales multicapa organizan y agrupan las neuronas artificiales en niveles o capas. Cuentan con una capa de entrada y otra de salida y entre ellas puede contar con un número indefinido de capas ocultas o hidden layers. Las computadoras perciben las imágenes de diferente forma que los humanos, para estos una imagen consiste en un vector bidimensional con los valores relativos a los píxeles. Contando con un canal para imágenes en escala de grises o tres para el color (RGB).

Las redes neuronales convolucionales (RNC) consisten en poder tomar un grupo de píxeles de la imagen de entrada y realizar un producto escalar con un “kernel” o filtro, el kernel recorrerá todas las neuronas de entrada y obtendremos una nueva matriz, la cual será una de las capas ocultas. Las RNC consisten en múltiples capas de filtros convolucionales de una o más dimensiones. Después de cada capa, por lo general se añade una función para realizar un mapeo causal no-lineal, el submuestreo derivado de dicho proceso reduce la dimensión de la matriz de entrada dividiéndola en subregiones y permitiendo generalizar las características. Por otra parte, el submuestreo reduce la dimensión de la matriz de entrada dividiéndola en subregiones y permitiendo generalizar las características.

Entre los lenguajes de programación más utilizados en el campo de la inteligencia artificial destaca especialmente Python. En lo relativo a deep learning el claro dominador es Python, en parte debido al amplio número de bibliotecas y frameworks desarrollados para este lenguaje como pueden ser PyTorch, TensorFlow o Keras. Es por ello que se ha optado por Python en su versión 3.8 para este proyecto. Además se emplearán distintas bibliotecas implementadas para este lenguaje con el objetivo de facilitar el proceso de desarrollo.

PLANTEAMIENTO

El aprendizaje automático o machine Learning, busca mediante el procesado de datos la identificación de patrones comunes que permitan la elaboración de predicciones cada vez más perfeccionadas. Siguiendo la evolución del machine Learning surge en los últimos años el conocido como deep learning o aprendizaje profundo. Este, a diferencia del aprendizaje automático entiende el mundo como una jerarquía de conceptos, permitiendo reorganizar la información en diferentes capas mediante el uso de módulos, que transforman su representación en un nivel más alto y abstracto. Esto permite la amplificación de la información relevante y eliminar información innecesaria. Las redes neuronales artificiales o neural networks son modelos matemáticos que tratan de emular el comportamiento natural de las redes neuronales biológicas. Se establece una red de unidades lógicas o neuronas interceptadas entre sí que procesan la información recibida y emiten un resultado a la siguiente capa determinado por una función de activación que tiene en cuenta el peso de cada entrada, dotando así de mayor importancia a conexiones entrantes concretas. Las redes neuronales multicapa organizan y agrupan las neuronas artificiales en niveles o capas. Cuentan con una capa de entrada y otra de salida y entre ellas puede contar con un número indefinido de capas ocultas o hidden layers.

Las redes neuronales multicapa organizan y agrupan las neuronas artificiales en niveles o capas. Cuentan con una capa de entrada y otra de salida y entre ellas puede contar con un número indefinido de capas ocultas o hidden layers. Las computadoras perciben las imágenes de diferente forma que los humanos, para estos una imagen consiste en un vector bidimensional con los valores relativos a los píxeles. Contando con un canal para imágenes en escala de grises o tres para el color (RGB).

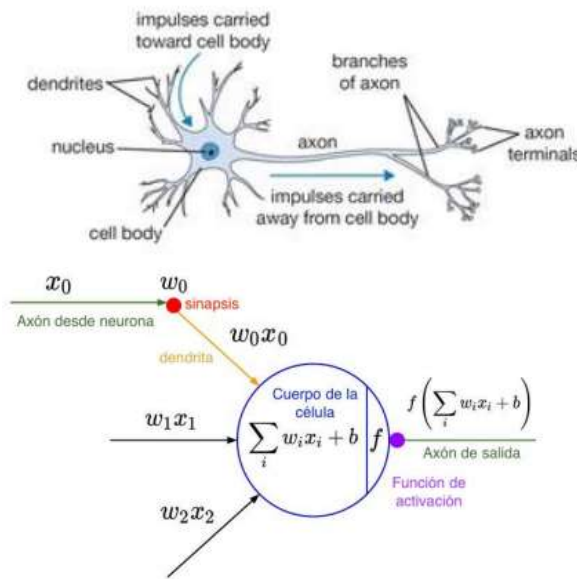


Ilustración 17 similitud de funcionamiento de una neurona con respecto a una red neuronal

Con la excepción de las neuronas de la capa de entrada, cada neurona x_i de la red recibe valores de las neuronas de la capa anterior que proporcionaron para x_i . Por lo tanto, la entrada de la red neuronal calculada como una combinación lineal ponderada de las entradas es 1:

$$1 \quad a_i = \sum_i w_i x_i + b$$

Las redes neuronales convolucionales (CNN) consisten en poder tomar un grupo de píxeles de la imagen de entrada y realizar un producto escalar con un “kernel” o filtro, el kernel recorrerá todas las neuronas de entrada y obtendremos una nueva matriz, la cual será una de las capas ocultas. Las CNN consisten en múltiples capas de filtros convolucionales de una o más dimensiones. Después de cada capa, por lo general se añade una función para realizar un mapeo causal no-lineal, el submuestreo derivado de dicho proceso reduce la dimensión de la matriz de entrada dividiéndola en subregiones y permitiendo generalizar las características. Por otra parte, el submuestreo reduce la dimensión de la matriz de entrada dividiéndola en subregiones, permitiendo generalizar las características y convirtiéndola al final en un único vector de puntuación de clase, que es la salida.

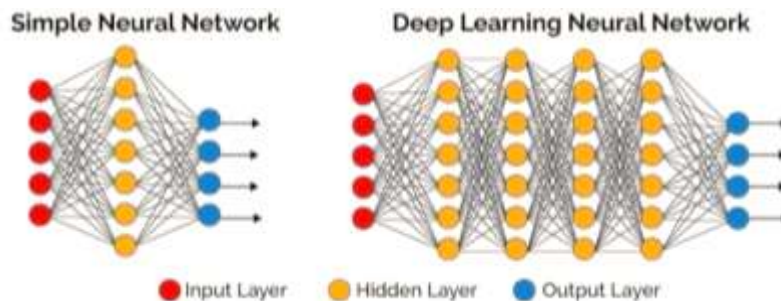


Ilustración 18 comparativa entre una red neuronal simple y una convolucional

Hay 5 capas primordiales que se apilan para edificar arquitecturas de redes neuronales convolucionales enteras, transformando los valores de los píxeles de la imagen original a un puntaje de clase finales. Las capas pueden variar en función de la constitución de la red neuronal prepuesta, pero principalmente se componen de los siguientes elementos:

Entrada	Extrae las características de los píxeles de la imagen y sus respectivas capas
Convolucionales	Este grupo se compone por distintos Kernels que “aprenden” las características que diferencian o buscan cada capa, Cada capa calcula la salida de las neuronas conectadas a la región de entrada local. Cada cálculo es el producto del peso y el área pequeña a la que está conectada el volumen de entrada.
Submuestreo o Pooling	Esta capa reduce el tamaño de los datos de entrada, filtrando la información irrelevante. Esta reducción se hace en lo largo y ancho de los muestreos matriciales, tomando los valores de respuesta mas altos (Maxpooling) o el promedio (Meanpooling) y generando un mapa bidimensional de los sectores que muestren características importantes.
ReLU	Esta capa calcula con las salidas en función de $f(x) = \max(0, x)$

Tabla 43 componentes base de las CNN

PARTE EXPERIMENTAL

A continuación, se hará una breve explicación de la metodología y el procedimiento empleado para el desarrollo de este proyecto. Podemos resumir el flujo de trabajo con el esquema propuesto a continuación:



Ilustración 19 Metodología

El diseño propuesto es una conjunción entre el machine learning clásico y la categorización realizada por las redes convolucionales, este método permite saltarnos la clasificación y detección de características “manual” y realizarla de manera automática.

Para este proyecto se emplearon herramientas que cumplan los requisitos necesarios para el desarrollo del software, los cuales son principalmente VSCODE como el entorno de desarrollo, la base de datos de imágenes radiológicas digitalizadas, programación en Python 3.4, tarjeta gráfica NVIDIA GTX2060 con sus respectivos controladores compatibles con CUDA y las siguientes librerías:

- NumPy, enfocada a la computación científica, aporta vectores o arrays así como potentes herramientas matemáticas sobre ellos.
- Pandas para el análisis de datos, principalmente la lectura de los distintos archivos CSV con los que se trabaja. Permitiendo el rápido acceso y lectura de estos, así como el potente tratamiento de sus datos.
- Scikit-learn, una biblioteca de machine learning, con potentes herramientas estadísticas que usaremos principalmente durante el preprocesado de los datos, previo a la implementación de la red neuronal.
- Python Imaging Library (PIL) empleada para la lectura y conversión de las imágenes.

- Matplotlib que permite la creación de gráficos. En concreto se ha utilizado únicamente para la visualización y obtención de imágenes, originales y procesadas, durante la elaboración de este documento. Por tanto carece de relevancia y utilidad en las versiones finales.
- TensorFlow, desarrollada por Google con el fin de satisfacer sus necesidades en el ámbito del machine learning, TensorFlow es una biblioteca para cálculos numéricos mediante el uso de diagramas de flujos de datos. Publicada bajo licencia de código abierto en 2015 se ha situado como uno de los referentes en el desarrollo de sistemas de aprendizaje profundo y redes neuronales.
- Keras, nace con la flexibilidad y usabilidad en mente, se trata de una biblioteca para redes neuronales de alto nivel desarrollada para Python que busca simplificar en gran medida su desarrollo. Permite ejecutarse sobre bibliotecas como TensorFlow, Theano o CNTK como backend, entendiéndose más como una interfaz más que como un framework. En 2017 Keras fue integrado en el código fuente de TensorFlow permitiendo su desarrollo con un nivel mayor de abstracción.

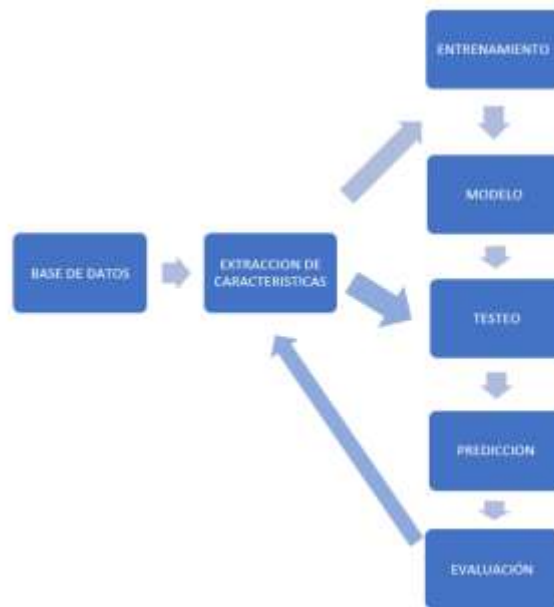


Tabla 44 flujo de trabajo de la red CNN propuesta

La base de datos fue obtenida para un estudio realizado por el Laboratorio de Fisiología Computacional del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), la cual ha puesto en la plataforma Kagel de libre acceso. La base de datos está compuesta por 5863 en formato JPG, divididas en 2 categorías; pacientes sanos y con neumonía.

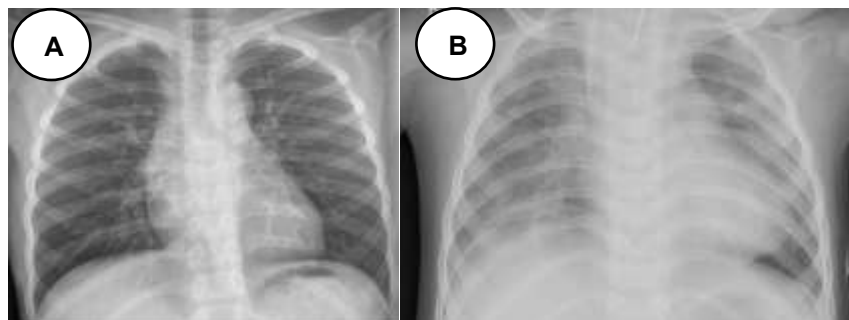


Ilustración 20 radiografía de tórax de paciente (A) sin neumonía y (B) con neumonía

Después del filtrado de la base de datos se redujo la base de datos a un total de 3182 con los cuales se compensó la cantidad de imágenes para el entrenamiento y testeo, divididas respectivamente en 70% para entrenamiento y 30% para la comprobación de resultados

En el modelo planteado de red neuronal fue utilizado el modo Adam como optimizador y la entropía cruzada como pérdida emplea la función de activación Relu, excepto en la última capa donde se utilizó Softmax, además del maxpooling entre cada capa.

CAPA	TIPO	ENTRADA	KERNEL
ENTRADA	Entrada	N/A	N/A
CONV1	Convolución	150x150x1	3x3
POOL1	Max pooling		2x2
CONV2	Convolución	150x150x1	3x3
POOL2	Max pooling		2x2
CONV3	Convolución	150x150x1	3x3
POOL3	Max pooling		2x2
CONV4	Convolución	150x150x1	3x3
FLATTEN	Aplanamiento	150x150x1	2x2
DENSE	Interconexión	4096x1	2x2
SOFTMAX	Interconexión	4096x1	2x2

Tabla 45 Descripción de las capas de la CNN

RESULTADOS

El diagnóstico médico debe estar respaldado por estudios que demuestren que es importante desde el punto de vista estadístico, clínico y social. La validez de dichas pruebas esta limitado por los parámetros que se pueden obtener de las pruebas clínicas, fijando gran peso en la sensibilidad y la especificidad de los resultados lo que se supone que mide la prueba.

Los resultados obtenidos se muestran en la gráfica mostrada a continuación:

CURVA DE ENTRENAMIENTO

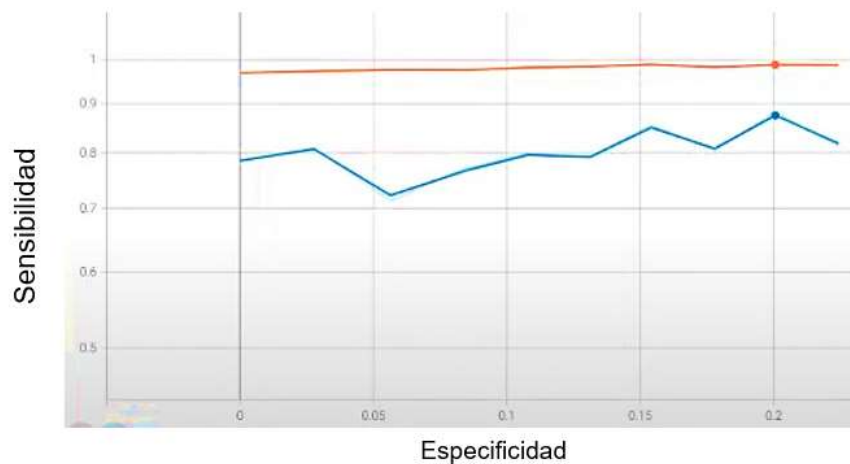


Ilustración 21 grafica de curva de entrenamiento vs testeo

Utilizando callbacks para el entrenamiento pudo lograrse un alto entrenamiento, para la determinación de los pesos fue propuesto un análisis de 10 épocas, para poder así determinar un entrenamiento con una sensibilidad que nos permita determinar los pesos que nos permitan obtener la mayor precisión posible. El modelo pudo lograr una precisión del 87% en la octava época, obteniendo una convergencia visible en el decremento del porcentaje de validación y de pérdidas, siendo este el porcentaje de acierto con mayor exactitud obtenida.

Name	Smoothed	Value	Step	Time	Relative
20210716-015558\train	0.9886	0.9892	8	Fri Jul 16, 02:10:15	12m 2s
20210716-015558\validation	0.8752	0.8819	8	Fri Jul 16, 02:10:15	12m 2s

Tabla 46 resultados obtenidos de la época con mayor sensibilidad

CONCLUSIONES

El modelo propuesto logra una buena precisión en el reconocimiento de imágenes, sin embargo, los diagnósticos médicos requieren un mayor porcentaje de asertividad para poder ser considerados viables para diagnóstico. Ciertos problemas en las imágenes como la presencia de electrodos, cables mal posicionados, mala posición del paciente o la profundidad de la respiración pueden alterar la apariencia de la radiografía lo que dificulta el entrenamiento, es necesario considerar hacer una mejora al algoritmo que logre reconocer dichos errores para poder diferenciar de las imágenes que sirvan para un mejor entrenamiento del modelo.

REFERENCIAS

1. Briones, R. N. I., & Rodríguez, S. D. (2019). Imagenología (Spanish Edition)[Kindle] (4th ed.). Retrieved from <https://www.amazon.com.mx/Imagenología-Nidia-Isabel-Ríos-Briones/dp/6074480842>
2. Red JC. Radiología torácica. Patrones radiológicos y diagnóstico diferencial. Barcelona: Ed. Doyma; 1993
3. Vargas Romero, J. (2008). Radiología. Radiología de tórax. <https://www.neumosur.net/files/EB03-04%20radiologia%20general.pdf>
4. Salud, S. (1019). 145. Cada año mueren cerca de ocho mil mexicanos por cáncer de pulmón. gob.mx. <https://www.gob.mx/salud/prensa/145-cada-ano-mueren-cerca-de-ocho-mil-mexicanos-por-cancer-de-pulmon?idiom=es#:~:text=En%20M%C3%A9xico%20el%20c%C3%A1ncer%20de,frecuencia%20en%20el%20s%C3%A9ptimo%20lugar.&text=2018%20Categor%C3%ADa%20Comunicado-En%20M%C3%A9xico%20el%20c%C3%A1ncer%20de%20pulm%C3%B3n%20se%20ubica%20por%20su,causa%20de%20muerte%20por%20c%C3%A1ncer>
5. M., G. C. (2003). ANATOMIA DEL ERROR EN RADIOLOGIA. https://scielo.conicyt.cl.https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082003000300006
6. Martínez Llamas, J. (2020). Reconocimiento de imágenes mediante redes neuronales convolucionales (Grado de ingeniería). Escuela técnica superior de ingeniería de sistemas informáticos.
7. GARCIA M., César. ANATOMIA DEL ERROR EN RADIOLOGIA. Rev. chil. radiol. [online]. 2003, vol.9, n.3 [citado 2021-01-29], pp.144-150. Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-93082003000300006&lng=es&nrm=iso. ISSN 0717-9308. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082003000300006>.
8. INSTALACIONES, RESPONSABILIDADES SANITARIAS. NORMA Oficial Mexicana NOM-229-SSA1-2002, Salud ambiental. Requisitos técnicos para las instalaciones, responsabilidades sanitarias, especificaciones técnicas para los equipos y protección radiológica en establecimientos de diagnóstico médico con rayos X.

9. HWANG, Eui Jin, et al. Deep learning for chest radiograph diagnosis in the emergency department. *Radiology*, 2019, vol. 293, no 3, p. 573-580.
10. Corbacho Abelaira, María Dolores, Ruano-Ravina, Alberto y Fernández Villar, Alberto. National Center for Biotechnology Information. [En línea] 22 de Octubre de 2020. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC7578193/#bib0080>.
11. Chest X-Ray Images (Pneumonia). (2018, 24 marzo). Kaggle. <https://www.kaggle.com/paultimothymooney/chest-xray-pneumonia>

ALEACIONES DE LI-CO DOPADOS CON TIERRAS RARAS PARA SU USO EN BATERIAS

María del Rosario González García¹, Antonieta García Murillo¹, Felipe de Jesús Carrillo Romo¹

¹Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIITEC), Instituto Politécnico Nacional (IPN).
rossgg679@gmail.com

RESUMEN

Actualmente se ha buscado satisfacer las necesidades de las nuevas tecnologías y la disminución del uso de combustibles fósiles con la finalidad de cuidar el medio ambiente, esto se puede lograr con la ayuda de dispositivos de almacenamiento de energía capaces de realizar reacciones reversibles, en este sentido las baterías recargables hoy en día han tenido una gran demanda debido a sus diferentes áreas de aplicación (celulares, industria automotriz, computadoras, entre otros).

Existen diferentes baterías recargables, como las de ion-litio basadas en diferentes composiciones [1,2,3], el elemento principal para su funcionamiento es el litio, sin embargo, en su estado puro tiende a ser muy reactivo, por lo que es utilizado como un óxido metálico para obtener estabilidad química. Su alta tendencia a la pérdida de electrones (alto potencial electroquímico) lo hace funcional para las reacciones de óxido-reducción.

Las baterías de ion-litio presentan propiedades como bajo peso, voltaje alto y reversibilidad iónica, ya que están diseñadas con electrodos positivo y negativo (cátodo y ánodo) en donde se logra la intercalación y desintercalación de iones litio, por lo que, el uso de los óxidos laminares mixtos tipo LMO_2 ($M = \text{Co}, \text{Ni}, \text{Mn}, \text{etc.}$) o en capas son excelentes candidatos para la formación de los cátodos.

Uno de los materiales más utilizados como cátodo en las baterías recargables ha sido el LiCoO_2 debido a su alta capacidad teórica (274 mAhg^{-1}) y voltaje (3.9V), sin embargo, experimentalmente su capacidad es mucho más baja (140 mAhg^{-1}) debido al depósito del litio en una misma área de la superficie del cátodo, además de ser tóxico y caro [3].

En consecuencia, se han buscado alternativas para mejorar las propiedades electroquímicas y los ciclos de carga/descarga aprovechando las ventajas de las rutas de síntesis, parámetros y la incorporación de las tierras raras dentro de la estructura. Por otro lado, la eficiencia depende directamente de la cantidad de los dopantes dentro de la matriz, con el objetivo de generar una mayor estabilidad de la capa y mejor movilidad de los iones de litio.

Con el objetivo de estudiar nuevos sistemas que sean susceptibles de ser utilizados dentro de las baterías de iones de litio, se utilizó el método sol-gel para sintetizar la matriz de LiCoO_2 incorporando los iones dopantes Eu^{3+} , La^{3+} y Tb^{3+} a bajas concentraciones molares de 0.01, 0.03 y 0.05%mol utilizando el ácido cítrico como agente quelante. La formación e identificación de la fase cristalina se llevó a cabo posterior a los tratamientos térmicos realizados en un intervalo desde 300°C hasta 800°C . Las matrices obtenidas fueron analizadas mediante Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) y Difracción de Rayos X (DRX) para determinar sus propiedades químicas y estructurales.

INTRODUCCIÓN

El uso de dispositivos capaces de almacenar energía a un determinado voltaje y capacidad ha aumentado considerablemente, debido a la exigencia de disminuir el uso de combustibles fósiles y satisfacer las necesidades tecnológicas, ambientales y de innovación.

Desde los años 90's la primera empresa en desarrollar una batería de ion-litio fue Sony Energytech, sin embargo, al paso de los años han generado grandes problemáticas como bajos rendimientos electroquímicos en los ciclos de carga/descarga, inestabilidad térmica y iónica, lo cual resulta una corta vida útil de la batería, por lo tanto, la búsqueda de resolver estas desventajas es uno de los retos más importantes hoy en día en diversas áreas de investigación y a nivel industrial [4].

Las baterías de ion-litio realizan reacciones de óxido reducción reversibles, por lo tanto, los componentes que lo conforman requieren de ciertas características y propiedades siendo primordial la composición, estructura y morfología, de lo que dependerá la eficiencia o deficiencia de la actividad electroquímica. Principalmente para los electrodos negativos se utiliza convencionalmente el óxido laminar mixto LiCoO_2 por su alta capacidad teórica de 274 mAhg^{-1} , un voltaje de 3.9V, sin embargo,

experimentalmente alcanza una capacidad menor por lo que se han estudiado diversos materiales novedosos con mejores propiedades electroquímicas [5].

En este sentido, la incorporación de tierras raras dentro de la estructura de los materiales catódicos en bajas concentraciones es de alto interés debido a que pueden conducir a una mayor movilidad de los iones de litio por sus altos radios iónicos, mejor rendimiento electroquímico y estabilidad térmica [6].

TEORÍA BATERÍAS

Las baterías de ion-litio surgieron a base de las limitaciones que presentaban las baterías con el uso de litio metálico debido a sus propiedades de inestabilidad, principalmente en el proceso de carga y además a la falta de reversibilidad en las reacciones de óxido reducción.

Generalmente una batería está constituida por varias celdas apiladas entre sí, con dos electrodos con carga positiva y negativa, nombrados cátodo y ánodo respectivamente, un electrolito para la conductividad iónica entre electrodos, un separador con características especiales como porosidad para evitar un contacto directo, es decir, impedir la producción de un corto circuito, y por ende una explosión, finalmente de una fuente externa para el transporte de los electrones entre los electrodos [7].

Para la liberación de una mayor cantidad de energía durante las reacciones de óxido reducción reversibles y además que sean ligeras en peso y tamaño, es necesario contemplar una combinación adecuada de los componentes que conformaran la batería, así mismo, prolongar el tiempo de vida útil y ser amigables con el medio ambiente. [8] Algunas de las propiedades relevantes de las baterías de ion-litio se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Características de las baterías de ión-litio.

Características	Descripción
Voltaje de operación	Una monocelda: Aproximadamente 3.6V
Potencial de carga	Rápido, 80-90% de la capacidad total en un tiempo de 60 minutos
Temperaturas de operación	-20 a 60°C
Autodescarga	Baja tasa entre 8-12% por mes
Ciclabilidad	Alta, superior a los 500 ciclos
Forma	Compacta, ligera, alta densidad de energía
Eficiencia alta	Energética y coulombica
Periodos de almacenamiento	5 años, se requiere reacondicionamiento
Efecto memoria	No tiene
No contaminante	Sin metales tóxicos pesados

El funcionamiento de las baterías recargables está basado en la química de intercalación; Durante el proceso de carga y descarga se efectúan reacciones de óxido reducción reversibles, cediendo o tomando electrones para generar una transferencia de carga entre los electrodos y el electrolito.

En el proceso de carga, se le proporciona energía eléctrica al sistema en forma de corriente eléctrica, los iones de litio del electrodo positivo se desintercalan dirigiéndose hacia el electrodo negativo por medio del electrolito, intercalándose entre las capas con lo que resulta en un aumento del potencial de la celda. [9]

Por otro lado, en el proceso de descarga el electrodo negativo se oxida y los iones de litio que se liberan se transportan hacia el electrodo positivo, generando una reducción e inserción (Fig. 1).

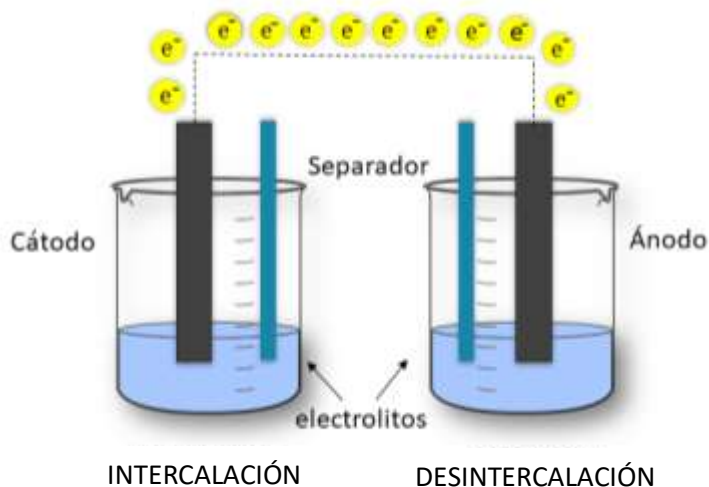


Figura 1. Proceso de intercalación y desintercalación en las baterías de ion-litio.

ALEACIONES

Una aleación principalmente está formada por una mezcla sólida homogénea de elementos metálicos o no metálicos, si son dos elementos generalmente se nombran, aleación binaria y pueden tener una o varias fases. [10] Las aleaciones pueden ser obtenidas a través de diversos procesos como fusión, sublimación, sinterización o electrólisis [11]. Sus propiedades más importantes se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades generales de las aleaciones.

Propiedad	Descripción
Dureza	Alta dureza
Ductilidad	Mayor ductilidad que los metales por separado
Conductividad eléctrica	Buena conductividad eléctrica
Conductividad térmica	Buena conductividad térmica
Tenacidad	Alta tenacidad
Punto de fusión	Puntos de fusión altos o aleaciones fusibles

MATERIALES CATÓDICOS

En los cátodos se realiza la intercalación de los iones de litio, por lo que se requieren de materiales reducibles para que este proceso se logre con facilidad. Los metales de transición cuentan con una estructura cristalina abierta que provee eficazmente el proceso de carga de una manera reversible, sin que existan cambios morfológicos, estructurales o composicionales [12]. Además de generar las reacciones de óxido reducción reversibles a bajos potenciales. Los metales de transición van disminuyendo su cantidad dentro de la estructura durante la reducción de litio y el Li₂O actúa como material activo, formado en la reducción. [13]

Por otro lado, los materiales anódicos son generalmente materiales carbonáceos accesibles, con buena eficiencia en los ciclos de carga y descarga, no tóxicos y es considerado como un material activo.

ESTRUCTURA

El LiCoO_2 es considerado como un óxido laminar mixto, en su estructura tiene aniones y cationes de los metales de transición y alcalinos. Los iones del litio y cobalto se alternan formando una distribución compacta, y los iones óxidos forman planos perpendiculares y diagonales para generar un material desinsertado.

Los metales que conforman la cobaltita de litio tienen números de oxidación que dependerán del grado de inserción dentro de la estructura, en este sentido, generalmente se utiliza el estado de oxidación Co^{3+} para tener una inserción completa de los iones.

Los cationes están ordenados en el plano (111) con una estructura romboédrica con simetría trigonal formado por dos subredes FCC ^[14].

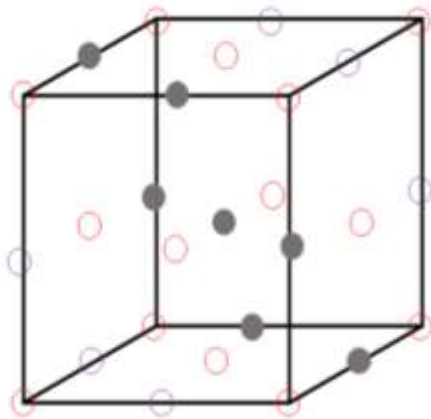


Figura 2. Cationes y aniones en la estructura del material catódico LiCoO_2 .

TIERRAS RARAS

Las tierras raras son elementos químicos encontrados en la naturaleza en diferentes composiciones, como óxidos, silicatos, impurezas, entre otros, son muy interesantes debido a las excelentes propiedades electroquímicas y magnéticas, por lo que su aplicación para nuevas tecnologías se encuentran en auge.

El grupo de 15 elementos son nombrados "lantánidos", van desde el lantano hasta el lutecio, tienen números de valencia +3, +4 y +2 y sus propiedades dependerán de los números de oxidación. Presentan propiedades como alta conductividad eléctrica, altos radios iónicos, estabilidad química y termodinámica ^[15] y estudios recientes han relevado que las propiedades de los materiales catódicos han mejorado sus propiedades, gracias a la incorporación en bajas concentraciones dentro de su estructura en forma de dopaje.

Los iones dopantes de interés dentro de este estudio son los siguientes: europio, lantano y terbio. El Eu es metal químicamente inestable y plateado con gran facilidad de oxidación, maleable y blando fue descubierto por un químico francés Eugène Anole Demarca, tiene números de oxidación +2 y +3, cada uno presenta propiedades específicas y son muy aplicados en diversas áreas, por otro lado, el terbio es un elemento maleable y dúctil de color plateado fue descubierto en el año de 1843 por Carl Mosander, es relativamente estable al aire, brillante y dúctil ^[16].

Por último, el lantano fue descubierto al igual que el terbio, pero en el año de 1839; es un elemento que puede ser obtenido de forma natural o artificial, es de color blanco, es dúctil y maleable. Tiene buena conductividad eléctrica lo cual se puede lograr una polarización mediante la aplicación de un potencial eléctrico ^[17].

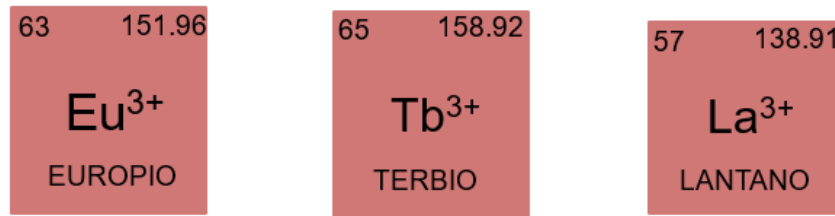


Figura 3. Lantánidos, elementos de las tierras raras

SOL-GEL

La metodología sol-gel es una ruta de síntesis donde se requieren de bajas temperaturas para la obtención de diversos productos con diferentes formas, composiciones y propiedades. Es mejor conocida como química suave debido a la necesidad de crear una manera similar a la materia de la naturaleza, o a las llamadas diatomeas.

Inicialmente se parten de alcóxidos o sales metálicas como precursores para formar una dispersión de partículas coloidales conocido como "sol". El sol se obtiene gracias a las reacciones de hidrólisis y condensación, posteriormente ocurre una gelificación, es decir, las partículas coloidales se polimerizan formando moléculas más grandes, después incrementa la resistencia del gel y finalmente se obtiene un material más denso, posterior a la realización de tratamientos térmicos en intervalos de temperatura baja a intermedia [18,19].

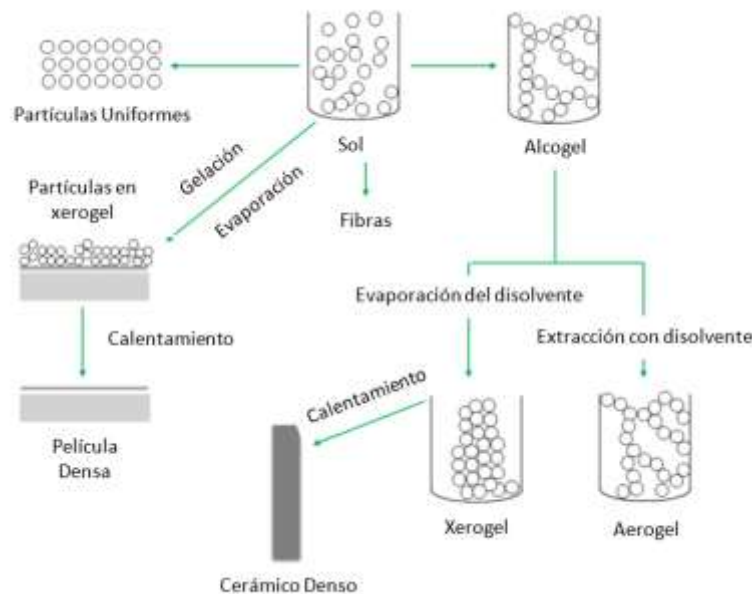


Figura 4. Obtención de diversos productos por la ruta sol-gel.

PARTE EXPERIMENTAL**SÍNTESIS DE LiCoO_2**

Se optó por la ruta sol-gel debido a las propiedades de los productos obtenidos, tales como alta pureza, homogeneidad, una mayor disposición de cambio en las variables experimentales y requerimiento de bajas temperaturas.

Para la síntesis se utilizaron nitratos de litio y cobalto con una relación estequiométrica de 1:1:1 para las reacciones de hidrólisis y condensación en una solución homogénea con alcohol. Posteriormente se ajustó el pH de la mezcla y se fijó la temperatura a 60°C con la finalidad de obtener una solución básica. Una vez realizada esta etapa se adicionó el ácido cítrico como agente quelante, mismo que favorece la formación del gel mediante la reacción efectuada durante un tiempo de 24 horas a 80°C .

Finalmente el gel se sometió a un secado a 130°C. Con el objetivo de promover la cristalización y densificación del gel, se realizaron tratamientos térmicos en una mufla desde 300°C hasta 800°C en intervalos de tiempo de 1 hora con el objetivo de poder identificar la fase cristalina de la LiCoO_2 .

SÍNTESIS DEL DOPAJE DE LAS MATRICES CON LAS TIERRAS RARAS $\text{LiCoO}_2:\text{Eu}^{3+}$, $\text{LiCoO}_2:\text{Tb}^{3+}$, $\text{LiCoO}_2:\text{La}^{3+}$ A BAJAS CONCENTRACIONES MOLARES (0.01, 0.03 Y 0.05)

Para el caso del dopaje con las tierras raras, se realizó el mismo procedimiento solo con la diferencia de incluir como precursores el nitrato de europio, terbio y lantano, además se estableció un solo tratamiento térmico a 700°C y a todas las matrices se estudiaron por análisis estructural y químico.

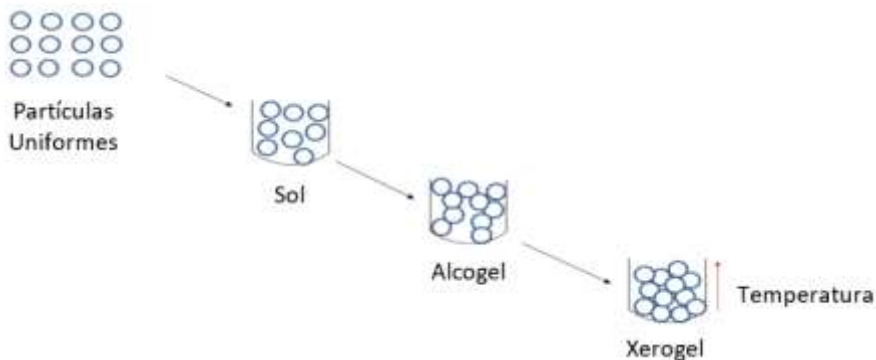


Figura 5. Ruta sol-gel para la obtención de un xerogel.

RESULTADOS

Análisis Químico, Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)

Los polvos obtenidos de cobaltita de litio (LiCoO_2) sintetizados por sol-gel fueron analizados mediante Espectroscopia de Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR) con el objeto de elucidar los enlaces característicos de la aleación. En el espectro mostrado en la figura 6, se presentan las bandas de estiramiento en 528cm^{-1} , 653cm^{-1} y de flexión a 598cm^{-1} correspondientes de los enlaces: Li-O, Co-O y O-Co-O. Adicionalmente se presenta una vibración de estiramiento del Li-O aproximadamente a 432cm^{-1} en las muestras tratadas a baja temperatura. [20] Las propiedades electroquímicas de los materiales catódicos dependen directamente de la temperatura utilizada para obtener un material cristalino, en este sentido, se consiguió la LiCoO_2 a baja y alta temperatura entre 300 y 800°C [21].

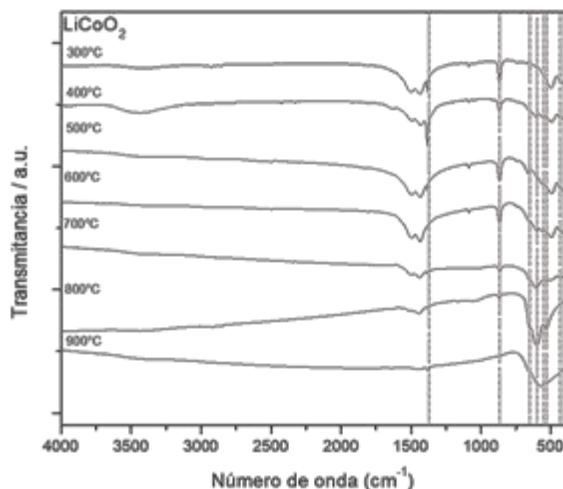


Figura 6. Espectros de la LiCoO_2 sintetizada por la ruta sol-gel tratado térmicamente entre 300°C hasta 800°C.

Análisis Estructural, Difracción de Rayos X (DRX)

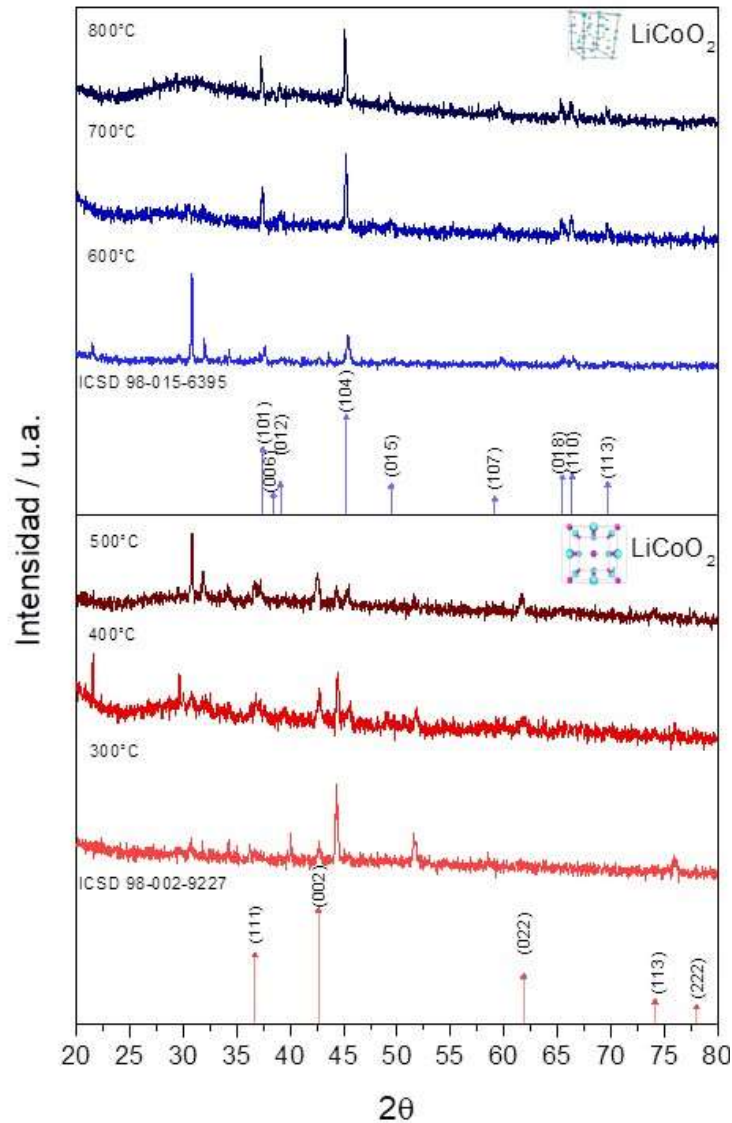


Figura 7. Difractograma de la LiCoO_2 tratada térmicamente entre 300°C hasta 800°C .

En el difractograma representado en la figura 7 se observaron picos atribuidos a dos estructuras cristalinas de la LiCoO_2 , el xerogel fue tratado térmicamente desde 300°C a 800°C para identificar el cambio de las fases y la temperatura específica cristalización de la cobaltita de litio. [3] A temperaturas entre 300°C a 500°C se detectaron las reflexiones de Bragg en $2\theta = 36, 43, 62, 74$ y 77 atribuidos a los planos (110), (002), (022), (113) y (222) respectivamente correspondientes a la carta ICSD 98-002-9227, identificándose la estructura cúbica [22].

Por otro lado, a temperaturas entre 600°C a 800°C se identificaron los planos (006), (012), (018) y (010) situados aproximadamente en $2\theta = 38^\circ, 39^\circ, 65^\circ$ y 66° respectivamente en buen acuerdo con la carta ICSD 98-015-6395. Las reflexiones de Bragg sobes son representativas de buen ordenamiento hexagonal y cristalinidad [23]. Por último, se observó un pico con mayor intensidad en $2\theta = 31^\circ$ típico de la fase intermedia Co_3O_4 (óxido cobaltoso cobaltico) y que se encuentra asociado para la formación de la LiCoO_2 . Mediante este análisis se establece que la estructura de LiCoO_2 corresponde a la hexagonal [24].

Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FT-IR)
Dopaje de la LiCoO_2 con Eu^{3+} , Tb^{3+} y La^{3+}

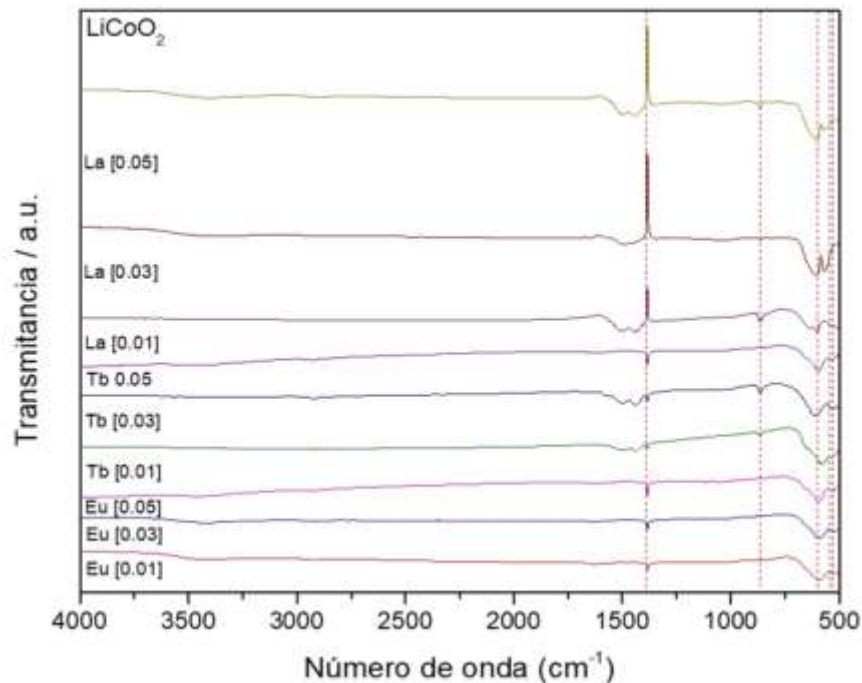


Figura 8. Espectros de la LiCoO_2 dopada con Eu^{3+} , Tb^{3+} y La^{3+} a diferentes concentraciones molares (0.01, 0.03 y 0.05).

Una vez dopadas las matrices se realizó un estudio de análisis químico para verificar los enlaces principales de la LiCoO_2 y la presencia del europio, terbio y lantano dentro de la estructura de los materiales catódicos, se observaron las bandas características del litio y la ausencia del enlace con el cobalto enlazados con el oxígeno a 528cm^{-1} y 653cm^{-1} respectivamente, además la banda propia de las tierras raras con el oxígeno a 544cm^{-1} , lo que confirma la aparición de los iones metálicos con los lantánidos en la estructura de la LiCoO_2 .^[25]

CONCLUSIONES

Se obtuvieron polvos de LiCoO_2 puros y dopados con iones de europio, terbio y lantano mediante la metodología sol gel propuesta. Los análisis de Espectroscopia Infrarroja por Transformada de Fourier confirman las bandas características de los polvos LiCoO_2 tratados térmicamente a altas temperaturas. Los estudios por Difracción de Rayos X, revelan la presencia de dos estructuras diferentes, cúbica y hexagonal para los polvos de LiCoO_2 tratados térmicamente entre 600°C y 800°C .

Asimismo, se logra la disminución de los iones cobalto en la estructura de LiCoO_2 por la presencia de los iones de las tierras raras unidos a los oxígenos observado a 544cm^{-1} , obtenido gracias a la interacción con los altos radios iónicos.

BIBLIOGRAFÍA

1. C. Divya, J. Østergaard, "Battery energy storage technology for power systems; An overview" Technical University of Denmark, Kgs. Lyngby 2800, Denmark, Electric Power Systems Research, 2009.

2. V. Antti, S. Justin, "Lithium ion battery production", J. Chem Thermodynamics, European Batteries Oy, Karapellontie 11, 2012, Espoo, Finland.
3. L. Jacqueline, "Depósito y caracterización de películas delgadas de materiales con aplicación en cátodos para microbaterías recargables de litio", Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Toluca de Lerdo, Edo. de Mex, 2007.
4. N. Ariatna, "Obtención de materiales catódicos basados en los sistemas LiCoO_2 y LiMnO_2 con aplicación en baterías secundarias" Universidad Pedagógica y Tecnología de Colombia, Facultad de Ciencias.
5. K. Natalia, "Síntesis y caracterización de material de cátodo para baterías de Li-S".
6. C. Marlene, "Baterías de Litio" Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.
7. A. Inmaculada, "Bases y aplicaciones de dispositivos energéticos electroquímicos" Departamento de Química Inorgánica, Departamento de Ciencias Experimentales, Facultad de CC Químicas y Educación, Real Sociedad Española de Química.
8. V. John, "Desarrollo de electrodos y electrolitos para baterías sólidas de ion-litio en lámina delgada obtenidos por sol-gel" Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias, Departamento de Química Inorgánica.
9. Y. Mosqueda, "Obtención, caracterización y aplicación de un nuevo material catódico, $\text{LiNi}_{0.8}\text{Co}_{0.2}\text{O}_2/\text{PANI}$, para baterías secundarias de Li. Universidad de la Habana, Instituto de Materiales y Reactivos, Laboratorio de Química de Materiales.
10. "Materiales Metálicos y Aleaciones", Ciencia de Materiales, 4to curso, 2004-2005
11. J. Cárdenas, "Superaleaciones", Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán, Departamento de Ingeniería, Cuautitlán Izcalli, Edo. De México, 2015.
12. N. Cuestas, "Materiales anódicos alternativos para el desarrollo de baterías de ion-litio sostenibles" Universidad de Oviedo, Departamento de Energía, 2016.
13. J. Hamel, "Celdas, pilas y baterías de ion-litio, ¿una alternativa para...?" Universidad del Valle, Cochabamba, Facultades de Informática y Electrónica-Tecnología-Arquitectura y Turismo.
14. N. Pineda, "Síntesis, Caracterización, Propiedades Eléctricas y Electroquímicas de $\text{Na}_3\text{V}_{2-x}\text{Al}_x(\text{PO}_4)_2\text{F}_3$ ($x= 0, 0.02, 0.05, 0.1$) como cátodos para su aplicación en baterías de ion-litio.
15. J. Voncken, "The Rare Earth Elements", Earth Sciences & Geography, SpringerBriefs, 2016.
16. A. Escobar, "Síntesis y Caracterización de Compuestos de Europio y Neodimio con Silicio Poroso", Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Instituto de Investigación en Ciencias Básicas y Aplicadas, Centro de Investigación en Ingeniería y Ciencias Aplicadas, Cuernavaca, Morelos, 2018.
17. F. Chazaro, "Lantano", Revista C2, Ciencia y Cultura.
18. A. Esquivel, "Producción y Caracterización de Aerogeles Vitrocerámicos Luminiscentes" Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, 2015.
19. V. Colín, "Síntesis y caracterización de propiedades luminiscentes del sistema tenoitrifluoro-acetona (TTA)/ $\text{Gd}_2\text{O}_3:\text{Eu}^{3+}$ ", Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, 2017.
20. W. Yang, "Preparation and characterization of nanometric-sized LiCoO_2 cathode materials for lithium batteries by a novel sol-gel method", Department of Chemical and Materials Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Materials & Electro-Optics Research Division Battery Section, Chung-Shan Institute of Science & Technology, 2010.
21. B. Freitas, "Synthesis and Characterization of LiCoO_2 from Different Precursors by Sol-Gel Method, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, Campus do Valonguinho, Brazil, 2017.
22. C. Zhu, "High performances of ultrafine and layered LiCoO_2 powders for lithium batteries by a novel sol-gel process", Department of Applied Chemistry, Harbin Institute of Technology, Harbin, Department of Chemical and Materials Engineering, National Kaohsiung University of Applied Sciences, Materials & Electro-Optics Research Division Battery Section, Chung-Shan Institute of Science & Technology, 2010.

23. N. Azilina, "Synthesis of LiCoO_2 Prepared by Sol-gel Method, School of Materials and Mineral Resources Engineering, Universiti Sains Malaysia, 14300 Nibong Tebal, Penang, Malaysia. 2015.
24. H. Porthault, "Synthesis of LiCoO_2 thin films by sol/gel process", CEA LITEN, 17 Rue des Martyrs, Institut de Chimie Moléculaire et des Matériaux d'Orsay (ICMMO), Université Paris XI, Journal of Power Sources, 2010.
25. E. Arroyo, "Luminiscencia de aerogeles del sistema $\text{Lu}_2\text{O}_3\text{-Eu}_2\text{O}_3$ ", Instituto Politécnico Nacional, Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, 2018.

IMPLEMENTACIÓN DE INTERFACE GRÁFICA PARA DISEÑO DE FILTROS DIGITALES MEDIANTE EL MÉTODO DE MANIPULACIÓN DE POLOS Y CEROS EN LA PLATAFORMA SCILAB

Antonio Ulises Sáenz Trujillo¹, Alberto Gutiérrez Martínez², Tizoc López López²

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

ulises.saenz@umich.mx, alberto.gutierrez@umich.mx, tizoc.lopez@umich.mx

RESUMEN

Se presenta el diseño e implementación de una herramienta para diseño de filtro digitales en la plataforma SCILAB, la cual consiste de una interfaz gráfica de usuario mediante la cual es posible modificar las características del filtro mediante el método de manipulación de polos y ceros obteniendo la gráfica de la respuesta en frecuencia de manera interactiva y con fines didácticos. Esta propuesta surge como una alternativa de software libre a la herramienta “FDA Tool” existente en Matlab®; y aunque en Scilab® se cuenta con la herramienta Wfir_GUI2, ésta no cuenta con la flexibilidad y opciones del presente trabajo, ni con un entorno interactivo donde sea visible el efecto en la respuesta en frecuencia, mediante la manipulación de la función de transferencia de un sistema discreto lineal e invariante en el tiempo (DSLIT). La herramienta se compone básicamente de cuatro módulos que son: Interfaz gráfica de usuario consistente en widgets tipo “textbox” y botones para la captura de los parámetros del filtro a diseñar. Interfaz gráfica en la cual es posible manipular las coordenadas de los polos y ceros mediante cuadros de texto. Gráfica que representa el círculo unitario donde es posible manipular la ubicación de los íconos de los polos y ceros mediante el ratón respecto a su posición en el plano “Z”. Y finalmente una sección donde se muestra el diagrama de Bode que representa la respuesta en frecuencia del filtro, así como los coeficientes calculados.

INTRODUCCIÓN

En el análisis y estudio de sistemas discretos lineales e invariantes en el tiempo, un concepto que podrían resultar confusos para el estudiante, es la relación entre la frecuencia y la posición de polos y ceros en el plano z , así como darse una idea de la respuesta frecuencia de estos sistemas con tan sólo observar la distribución de polos y ceros en el plano complejo. Actualmente existe herramientas gráficas que permiten agregar eliminar y manipular la posición de polos y ceros y poder observar de manera interactiva la respuesta frecuencia del sistema que describen tal como es la herramienta FDATool de Matlab®, la cual no sólo es valiosa en el diseño de filtros digitales, sino que se vuelve un recurso didáctico muy valioso al momento de aprender temas del procesamiento digital de señales. Sin embargo, dicha herramienta es dependiente de una plataforma privativa y de pago, que no está disponible para su uso de forma legal para la mayoría de los estudiantes, ya que requiere una importante erogación monetaria en el pago de licencias. Como alternativa libre y gratuita podemos encontrar la plataforma Scilab®, la cual puede ser instalada sin restricción alguna y sin hacer ningún pago de licencias. Dicha plataforma incluye prácticamente todas las funciones necesarias para un curso básico de procesamiento digital de señales incluyendo la captura de señales discretas, así como del diseño de filtros digitales, el cálculo y graficación de sus respuestas en frecuencia y fase, obtención de coeficientes y filtrado de señales; e incluso cuenta con funciones que calculará y graficará la posición de polos y ceros a partir de una función de transferencia o un par de vectores que representen los coeficientes del numerador y denominador de dicha función de transferencia. En una sesión de clase típica, aunque resulte sencillo escribir el código necesario para demostrar los conceptos necesarios en el diseño de filtros simples, y de la relación frecuencia – plano z , puede resultar tedioso y poco claro para algunos alumnos, así como consumir tiempo valioso en detectar y corregir posibles errores de tecleo. La plataforma Scilab® cuenta con una interfaz gráfica para diseño de filtros, pero ésta es extremadamente sencilla y solamente recibe los parámetros básicos del filtro deseado, sin mostrar una gráfica de la respuesta en frecuencia del mismo, y mucho menos de una representación de polos y ceros en el plano z . Es por eso que para poner al alcance de profesores y estudiantes una herramienta con funcionalidad similar al FDATool, se desarrolló una interfaz gráfica en la que es posible agregar, eliminar, cambiar de posición caracteres que representan polos y ceros en un área donde existe una representación del círculo unitario, mientras

se observa el efecto de la respuesta en frecuencia del sistema que representa dicha distribución de polos y ceros. La interfaz desarrollada también permite el diseño de filtros mediante un formulario encargado de capturar los parámetros básicos y el tipo de filtro deseado. Todo esto con el fin de poder tener clases más dinámicas al contar con una herramienta interactiva que les permita a los alumnos experimentar y comprender de mejor manera los conceptos estudiados.

TEORÍA

Una forma de diseño de filtros digitales simples es ubicando polos y ceros en el plano z . El principio básico subyacente al método de colocación de los polos y los ceros es el de ubicar los polos cerca de los puntos de la circunferencia de radio unitario correspondientes a las frecuencias que se desean acentuar y los ceros cerca de las frecuencias que se desean atenuar [1]. Además, deben imponerse las siguientes restricciones:

1. Todos los polos tienen que colocarse dentro de la circunferencia unidad con el fin de que el filtro sea estable. Sin embargo, los ceros pueden colocarse en cualquier punto del plano z .
2. Todos los ceros y polos complejos tienen que aparecer como pares complejos conjugados con el fin de que los coeficientes del filtro sean reales.

Para un patrón de polos y ceros determinados, la función del sistema $H(z)$ se puede expresar como

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^N a_k z^{-k}} = b_0 \frac{\prod_{k=1}^M (1 - z_k z^{-1})}{\prod_{k=1}^N (1 - p_k z^{-1})} \tag{1}$$

Donde b_0 es una ganancia constante seleccionada para normalizar la respuesta frecuencia en una secuencia especificada. Es decir, b_0 se elige de manera que:

$$|H(\omega_0)| = 1$$

donde ω_0 es una frecuencia de la banda del paso del filtro. Normalmente, N que representa el orden del filtro, se selecciona para ser igual o mayor que M , por lo que el filtro presenta más polos no triviales que se ceros.

En el diseño de filtros digitales pasa bajas por ejemplo, los polos deben colocarse en las proximidades del círculo unitario en puntos correspondientes a frecuencias bajas (cerca de $\omega = 0$), y los ceros deben colocarse en cerca o sobre el círculo unitario en puntos correspondientes a frecuencias altas (cerca de $\omega = \pi$). En el caso de los filtros pasa altas, estas condiciones serán las inversas.

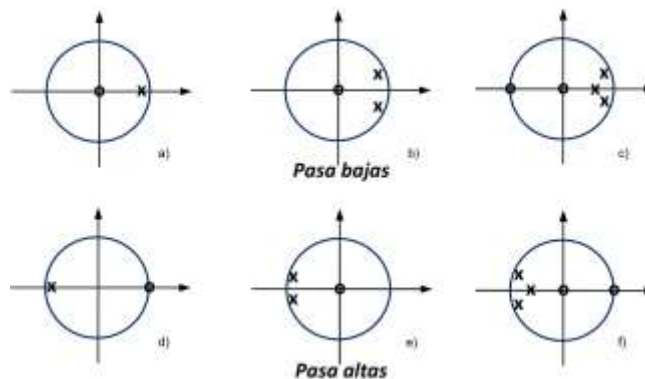


Figura 120 Patrones de polos y ceros de varios filtros pasa-bajas y pasa-altas

La Figura 120 ilustra la colocación de los polos y los ceros de tres filtros pasa bajas y tres filtros pasa altas. El módulo y la fase de las respuestas para el filtro de un solo polo con la función del sistema. Por ejemplo, el sistema

$$y(n) = ay(n - 1) + (1 - a)x \quad \text{con } a = 0.9$$

tiene el comportamiento de un filtro pasado bajas. Su función de transferencia está dada por

$$H_1(z) = \frac{1 - a}{1 - az^{-1}}$$

donde se observa que tienen un polo en $z = a = 0.9$ y un cero en $z = 0$, con lo cual su diagrama de polos y ceros corresponde a la Figura 120a). Como puede observarse, las frecuencias altas no son completamente atenuadas, esto se puede mejorar agregando un cero en $z = -1$ obteniendo un nuevo filtro cuya función de transferencia será

$$H_2(z) = \frac{1 - a}{2} \frac{1 + z^{-1}}{1 - az^{-1}}$$

donde el factor $1/2$ se ha agregado para lograr una ganancia de uno en la banda de paso, de manera que $H(\omega_0) = 1$, con $\omega_0 = 0$. Sus respuestas en frecuencia y fase se muestran a continuación.

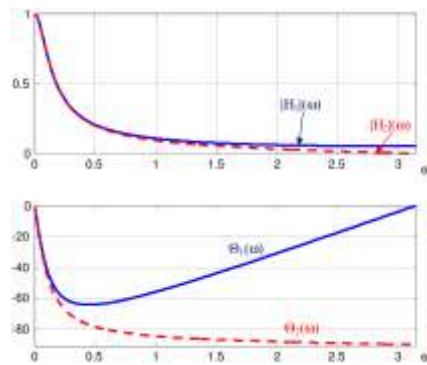


Figura 121 Respuesta en frecuencia y fase de los filtros $H_1(z)$ y $H_2(z)$

Del mismo modo, se pueden obtener filtros pasa altas sencillos reflejando las posiciones de los polos y los ceros del filtro pasa bajas alrededor de eje imaginario en el plano z . Así se puede obtener la función de sistema

$$H_3(z) = \frac{1 - a}{2} \frac{1 - z^{-1}}{1 + az^{-1}}$$

Que tiene la respuesta en frecuencia mostrada en la siguiente figura

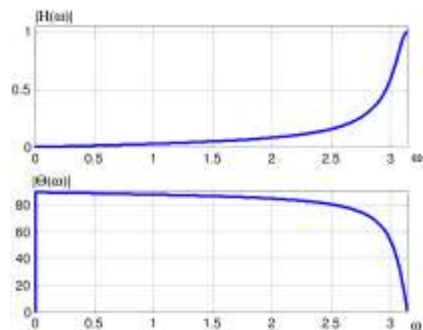


Figura 122 Módulo y fase de la respuesta del filtro pasa alta simple $H_3(z)$

Los mismos principios se pueden aplicar al diseño de filtros pasa banda. Básicamente, el filtro pasa banda dar fe de contener uno o más pares de polos y ceros complejos conjugados próximos a el círculo unitario, en las vecindades de la banda de frecuencias que define la banda de paso del filtro. Un ejemplo de un filtro pasa banda de dos polos que tiene centro de la banda de paso en $\omega = \pi/2$,

ganancia de la respuesta en frecuencia en $\omega = 0$ y $\omega = \pi$ igual a cero, y cuyo módulo es igual a $1/\sqrt{2}$ en $\omega = 4\pi/9$ se muestra en la expresión

$$H_4(z) = 0.15 \frac{1 - z^{-2}}{1 + 0.7z^{-2}}$$

y su respuesta en frecuencia y fase se muestran en la Figura 123

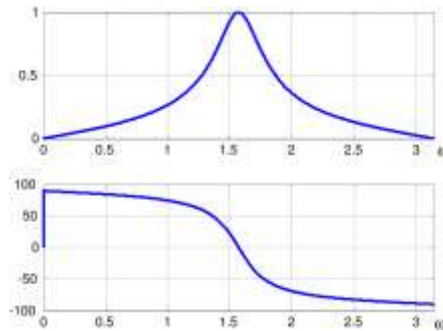


Figura 123 Respuesta en frecuencia y fase del filtro pasa banda simple $H_4(z)$

PARTE EXPERIMENTAL

El desarrollo de la herramienta se dividió en 2 módulos principales que interactúan como se muestra en la Figura 124 y que se enumeran a continuación

- 1.- Módulo de diseño de filtros simples mediante la manipulación de polos y ceros consistente en una GUI que responde a eventos producidos por el ratón (gestor de polos y ceros).
- 2.- Módulo para diseño de filtros utilizando los comandos *wfir* e *ifir* de Scilab® en una interfaz gráfica de usuario que es la encargada de la captura de los parámetros de interés tales como la frecuencia de corte, frecuencia de muestreo, tipo de filtro etc.(GUI Parámetros).

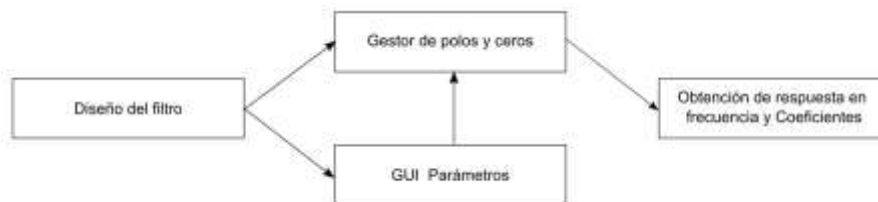


Figura 124 Esquema general de la herramienta para diseñar filtros digitales.

Cabe señalar que el módulo GUI Parámetros hace uso de los comandos ya existentes en la plataforma, pero una vez obtenido el filtro deseado es enviado al primer módulo para obtener su representación de polos y ceros en el círculo unitario, el cual también permitirá modificar las características del filtro mediante la manipulación del gráfico.

Para el diseño inicial de las GUI de ambos módulos se utilizó la herramienta *guibuilder* [2] (Figura 125) mediante la cual se logró diseñar el esquema básico consistente en etiquetas, controles tipo *textbox* (caja de texto), así como los contenedores gráficos para el plano z , y la respuesta en frecuencia, reduciendo dramáticamente el tiempo de desarrollo; los controles que se activan o desactivan en función del contexto deseado por el usuario se generan y manipulan utilizando código. Todas las propiedades de cada elemento (posición, color, estilo, etc.) se almacenan en una estructura nombrada *handles*, donde el objeto creado tendrá su propio manejador (handler) hijos del manejador de la ventana principal. Con la asignación de cada manejador individual se garantiza que cualquier cambio o asignación de propiedades o variables quede almacenado y accesible para modificación. Para la creación del plano z se utiliza una gráfica en 2d (comando *plot2d*), dibujando un círculo de radio unitario con centro en el origen.

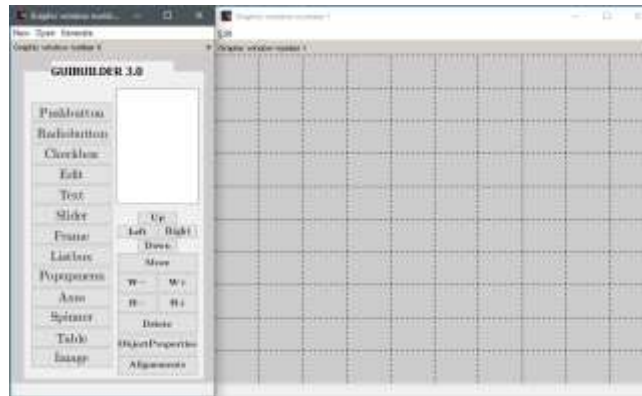


Figura 125 Herramienta de diseño de GUI de Scilab

Definición de estructura base

Cada polo y cero se representa mediante una estructura compuesta por 5 campos

- Referencia a la figura donde se dibujará el gráfico que representa al polo cero.
- Tipo (polo o cero).
- Expresión simbólica que define la raíz (monomio).
- Coordenadas x y y del gráfico que representa al polo o cero.
- Referencia a instancia del polo o cero conjugado si aplica.

Con cada inserción de un polo o cero se genera una nueva entidad de la estructura rellenando sus campos con los valores obtenidos del callback de eventos del ratón.

Algoritmo para colocación de polos y ceros.

Para la ubicación de polos y ceros en el gráfico, es necesario que las coordenadas se obtengan en referencia al origen del plano z (figura que contendrá el círculo unitario), y no del sistema de coordenadas de la ventana principal, cuyo origen se encuentra en una de las esquinas de la ventana. Afortunadamente Scilab cuenta con el comando *xchange* que transforma coordenadas reales a píxeles, y viceversa. Así, al momento de capturar el evento del ratón sobre la gráfica del plano z , las coordenadas correspondientes son obtenidas en base al origen de esta gráfica.

Para colocar un polo o cero es necesario capturar el evento click dentro de la gráfica del plano z , y asignar el callback adecuado a los eventos (clicks) realizados con el ratón. Existen dos comandos para poder capturar y manejar eventos del ratón que son:

- *xclick*: Espera un click del ratón o un evento en una ventana gráfica, previniendo que el callback del objeto sea ejecutado.
- *xgetmouse*: obtiene el evento del ratón, así como su posición dentro de la ventana gráfica, no previene que el callback del objeto sea ejecutado.

Con los elementos anteriores es posible implementar el algoritmo representado por el siguiente pseudocódigo

```

Inicio:
Si evento → click izquierdo
    Dibujar objeto
        Manejador ← objeto
        Crea estructura
    Dibuja conjugado
        Manejador2 ← conjugado
        Crea estructura
    Asigna propiedad conjugado en ambos
    Enlista estructuras
    Calcula polinomio
    Grafica respuesta en frecuencia
Fin
  
```

Pseudocódigo 1 Dibujo de un polo o un cero

Algoritmo para lista de estructuras

Para enlistar los polos y ceros es necesario hacerlo de forma secuencial, dividiendo en 4 cuadrantes el plano z como se muestra en la Figura 126, obteniendo por lo tanto cuatro listas y conformar una lista madre. Esto con el fin de realizar búsquedas eficientes de las estructuras polo o cero, pues se aprovecha el hecho de que normalmente cada raíz tiene un par conjugado, lo que implica que se conoce con certeza la posición de su respectivo par.

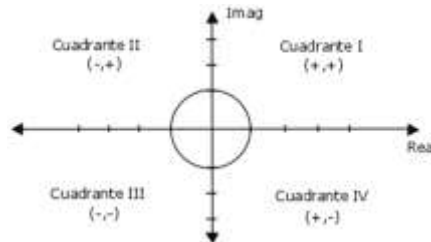


Figura 126 Distribución de cuadrantes típica que corresponde a las 4 listas de estructuras generada.

Búsqueda de polos y/o ceros y su manipulación.

Cuando el usuario haga click sobre un gráfico “x” u “o” que representan polos y ceros respectivamente, es necesario encontrar una referencia a la instancia de la estructura que representa; para ello es necesario realizar una búsqueda en las listas comparando las coordenadas obtenidas con las coordenadas almacenadas en cada una de las instancias de las estructuras. Para la búsqueda de la referencia del polo o cero situado dentro de la gráfica del plano z se requiere de un rango de valores, a partir de las coordenadas del pixel seleccionado; esto es debido a que el gráfico a seleccionar ocupa un conjunto de pixeles que contiene dentro su forma (“x”, “o”); esto permite no tener que seleccionar el pixel exacto donde se colocó el polo o cero.

Para la manipulación del polo o cero y su conjugado, es necesario gestionar el evento de sostener el click izquierdo, para posteriormente manejar el movimiento del puntero, y finalmente detectar cuando se libera el mismo. Al sostener el botón izquierdo comenzará la búsqueda de las coordenadas dentro de las listas y determinar si existe un polo o cero; una vez confirmado, si el usuario comienza a mover el puntero, de forma inmediata se actualiza la figura (“x” y “o”) junto a su conjugado (si es que existe), finalmente se detecta cuando se suelta el botón y se procede a calcular un nuevo polinomio para obtener su respuesta en frecuencia.

Cálculo del sistema

El cálculo del sistema se realiza en base a la ecuación (1); por lo que el sistema se conforma de dos polinomios. Si el sistema tiene una respuesta IIR, se reflejará en la existencia de coeficientes distintos de cero tanto en el numerador como en el denominador del polinomio. En el caso de un sistema FIR se sabe que los polos se encuentran en el origen, por lo cual únicamente se calcula el polinomio del numerador correspondiente a los ceros. Cada polo y cero creado contiene su entidad como monomio, se identifica su respectivo polinomio (numerador o denominador) y se realiza la multiplicación para así obtener el nuevo filtro como se muestra en el Pseudocódigo 1.

Una vez diseñado y calculado el sistema, se procede a obtener la respuesta en frecuencia mediante el comando “*repfreq*”. Obtenida la respuesta en frecuencia se procede a calcular la frecuencia máxima basado en el teorema de muestreo de Nyquist - Shannon [1] donde la frecuencia de muestreo es obtenida por medio del GUI para el diseño de filtros, o por la ventana principal en la sección de frecuencia de muestreo. Ya realizados los cálculos, el vector de la respuesta en frecuencia se transforma a decibeles (dB), logrando así una gráfica con representación vertical logarítmica y el eje horizontal de frecuencia graduado en Hz.

Ajuste de ganancia.

Esta herramienta permite calcular el ajuste necesario para obtener una ganancia unitaria en la banda de paso. El proceso consiste en encontrar el punto máximo del vector de la respuesta en frecuencia; una vez obtenido, se calcula su recíproco, que representará la corrección de ganancia que se aplicará al sistema.

```

Nombre: polinomio
Inicio
Desde cuadrante 1 : 4
  Desde 1 : cantidad de estructuras en lista
    Si es polo
      Si no está en el origen
        Polinomio polos ← polinomio polos * monomio
        Si existe conjugado
          Polinomio polos ← polinomio polos * monomio conjugado
        FinSi
      FinSi
    Si no lo es
      Polinomio ceros ← polinomio ceros * monomio
      Si existe conjugado
        Polinomio ceros ← polinomio ceros * monomio conjugado
      FinSi
    FinSi
  Repetir
  Grafica respuesta en frecuencia
Fin

```

Pseudocódigo 2 Cálculo de polinomios

Diseño de filtros mediante GUI.

Esta forma se basa en una interfaz gráfica de usuario que servirá para capturar las características del Filtro deseado, donde se usan los comandos ya existentes en SCILAB® para el diseño de filtros (*wfir* e *iir*)[4], permitiendo al usuario diseñar en base a parámetros. Una vez obtenido el sistema se ubican los polos y ceros dentro de la ventana gráfica principal en la gráfica del plano z, y a su vez se grafica la respuesta en frecuencia. Los polos y ceros ubicados pueden ser modificados mediante el uso de las funciones anteriormente descritas e incluso agregar o quitar polos y ceros con el objetivo de cumplir las expectativas de ser una herramienta didáctica. Para la captura de los parámetros basta con adquirir el valor numérico escrito en los campos, para posteriormente utilizarlos como argumentos de las funciones de diseño mencionadas anteriormente. Los vectores resultantes, alimentarán el módulo encargado de dibujar los gráficos que representan los polos y ceros repitiendo el proceso original.

RESULTADOS

La interface principal de la herramienta se muestra en la Figura 127. El recuadro número 1 contiene los controles (textbox, radio buttons y botones) mediante los cuales es posible manipular los polos y ceros, ya sea para agregarlos, seleccionarlos, moverlos y eliminarlos si así se desea. Los campos de texto son de lectura – escritura, por lo que permiten ver y/o capturar las coordenadas de los polos o ceros activos (seleccionados), tanto en formato rectangular o polar según se elija en el botón de opción etiquetado para tal efecto.

En el recuadro 2 se muestra la figura que contiene el círculo unitario; es una figura donde el usuario puede interactuar con el ratón agregando, seleccionando, moviendo y borrando los marcadores que representan polos y ceros. Cuando se diseña un filtro a través del formulario, automáticamente se ubican los correspondientes polos y ceros de dicho sistema, permitiendo incluso modificar los mismos.

En el recuadro 3 se muestran los coeficientes del numerador y denominador, de la función de transferencia, pero en el orden adecuado para ser usados en la ecuación de diferencias que representa la relación entrada-salida del sistema. Dichos coeficientes se actualizan cuando el usuario ha quedado satisfecho con la respuesta en frecuencia y pulsa el botón etiquetado para tal efecto.

En el recuadro 4 simplemente se muestra la respuesta en frecuencia del sistema en diseño/análisis, y se aprovecha el autoajuste de escala que proporciona Scilab.

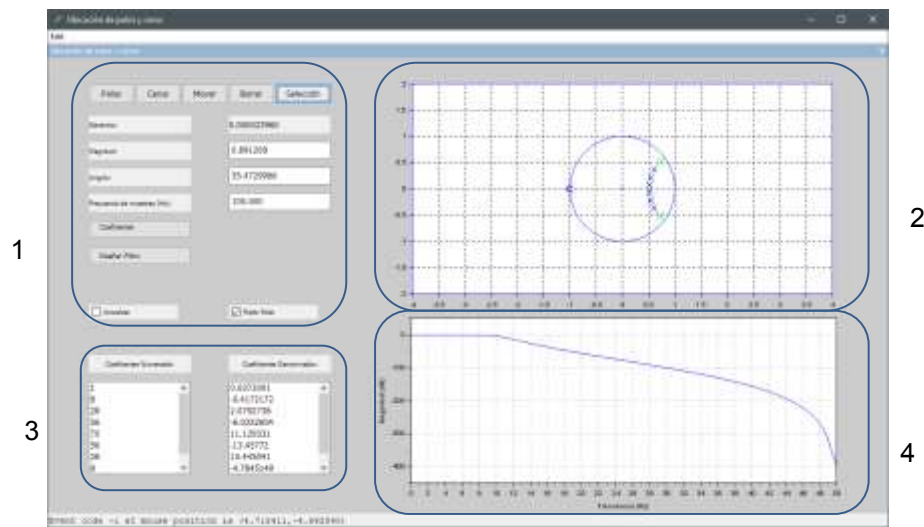


Figura 127 Interface gráfica principal

La segunda interface creada se muestra en la Figura 128, la cual como se puede observar, se trata de un formulario simple que contiene únicamente etiquetas, campos de texto, botones de selección y un botón simple.



Figura 128 Interface de captura de parámetros del filtro.

Esta interface se mostrará cuando el usuario pulse el botón etiquetado como “Diseñar filtro” en la interface principal. Como puede observarse tiene campos para los parámetros mínimos necesarios para el diseño de cualquiera de los cuatro tipos de filtros básicos; es decir, pasa – bajas, pasa- altas, pasa- banda y rechaza – banda, con respuesta al impulso finita o infinita, así como la frecuencia de muestreo, el orden del filtro que se desea diseñar, y las frecuencias de corte según el tipo deseado. Un ejemplo comparativo entre el diseño y gráficos presentados entre FDATool y el trabajo aquí presentado se muestran a continuación.

- Tipo de respuesta al impulso: FIR
- Tipo de filtro: pasa - bajas
- Frecuencia de muestreo: 10 kHz
- Orden del filtro: 8
- Frecuencia de corte: 1.7 kHz
- Ventana: rectangular

La disposición de polos y ceros, así como la respuesta en frecuencia arrojada por la herramienta, se muestra en la Figura 129, mientras que el diagrama entregado por FDATool se muestra en

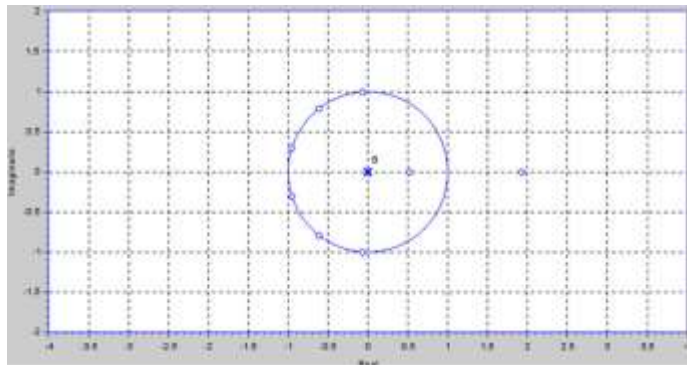


Figura 129 Ubicación de polos y ceros resultante del diseño de un filtro FIR orden 10 arrojado por la herramienta desarrollada.

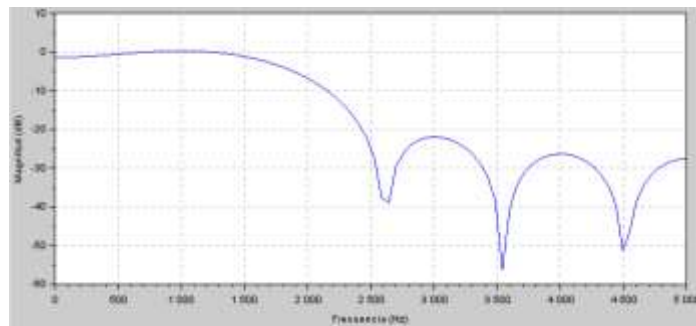


Figura 130 Respuesta en frecuencia de un Filtro FIR orden 10 arrojada por la herramienta desarrollada

El vector de coeficientes entregado

- Numerador: [1, 0.824045, -1.23606, -4, -5.285225, -4, -1.23606, 0.824045, 1]
- Denominador: [1]
- Corrección de ganancia: 0.070624258

El mismo problema en FDATool regresa:

- Numerador: [1, 0.824, -1.2361, -4, -5.2852, -4, -1.2361, 0.824, 1]
- Denominador: [1]
- Corrección de ganancia: 0.07063

Mientras que los gráficos se muestran en la Figura 131 y en la Figura 132

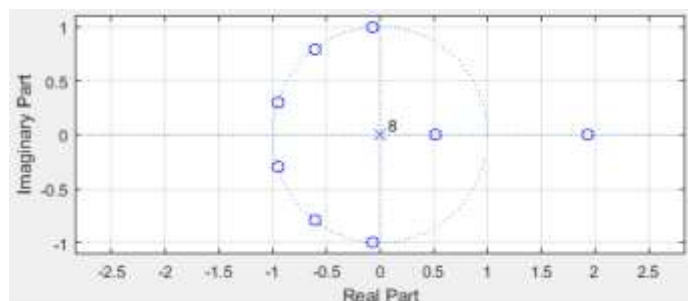


Figura 131 Ubicación de polos y ceros resultado del cálculo del filtro en FDA Tool.

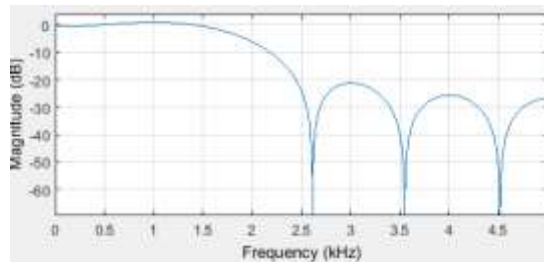


Figura 132 Respuesta en frecuencia del filtro diseñado en FDATool

Tal como puede observarse por simple inspección los resultados son prácticamente idénticos en la colocación de los polos y los ceros, así como en la obtención de coeficientes. Cabe señalar que FDATool entrega los coeficientes de varios sistemas de 2 orden los cuales habrán de interconectarse para obtener el sistema del orden deseado. Para realizar la comparación de dichos coeficientes fue necesario desarrollar la multiplicación de los numeradores de cada uno de los sistemas arrojados por la herramienta de Matlab. Por otra parte, se nota una diferencia en las gráficas de las respuestas en frecuencia arrojadas por cada una de las herramientas, debido al número de puntos calculados (resolución) que definen los valores por defecto.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se presenta una interfaz gráfica desarrollada en el propio lenguaje de programación de la plataforma Scilab que complementa las herramientas de diseño y análisis de filtros digitales ya incluidas en dicha plataforma.

Debido a su naturaleza gráfica permite agilizar el análisis y diseño de filtros.

Se puede utilizar como una herramienta didáctica útil en la enseñanza de sistemas discretos al presentar imágenes que muestran la relación del círculo unitario en el plano z y la frecuencia.

BIBLIOGRAFÍA

1. John G. Proakis, Tratamiento digital de señales, 4 ed., Prentice Hall, 2007.
2. Scilab Enterprises S.A.S, [Ayuda en línea]. Available: https://help.scilab.org/docs/5.5.2/en_US/index.html
3. Gomez, Ingenierin and Scientific Computing with Scilab, Springer Science & Business Media, 2012.
4. Bunk, F. Delebecque, G. Le Vey y S. Steer, "Signal Processing With Scilab" INRIA Meta2 Project/ENPC Cergrene, Domaine de Voluceau - Rocquencourt. Available https://www.scilab.org/sites/default/files/signal_processing_with_scilab.pdf

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL PARA REACONDICIONAMIENTO DE MÁQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS EN RESISTENCIA EN MATERIALES TINUS OLSEN DEL LABORATORIO DE MATERIALES DE LA UMSNH

Alberto Gutiérrez Martínez¹, Antoni Ulises Sáenz Trujillo¹, Miguel Roque Vásquez Hernández¹, Erasmó Correa Gomes², José Alberto Rivera Barajas¹,

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo¹, Universidad Nacional Autónoma de México²
betin999@hotmail.com

RESUMEN

En la actualidad las universidades públicas presentan grandes problemas financieros, ocasionando déficit en todos sus sectores de aprendizaje, infraestructura y de desarrollo de actividades con el sector industrial. Generar y explotar el conocimiento para el desarrollo económico de las propias instituciones es una alternativa de gran interés para solventar problemáticas de esta índole. Reacondicionar equipo que permite generar conocimiento y resolver problemas a los sectores industriales como ahorros importantes a las instituciones es una alternativa de mejora a corto plazo. En el laboratorio de materiales de la Universidad Michoacana, actualmente se realizan este tipo de operaciones. El equipo de pruebas Universales Tinius Olsen actualmente reacondicionada cumple sus funciones con el sector educativo y el sector industrial, permitiendo realizar sus funciones como los ensayos de tensión, compresión, deformación y esfuerzos mecánicos de materiales bajo las normas ASTM y NMX. El rediseño e implementación, se desarrollan bajo el esquema de herramientas eficientes y bajo costo sin sacrificar la calidad y seguridad de la misma, usando elementos de hardware y software de licencias libres de modificación, Arduino. Los elementos desarrollados son actualmente prototipos de control en operación.

INTRODUCCIÓN

Los equipos para realizar ensayos mecánicos sobre los materiales de la construcción son necesarios para desarrollar obras de calidad, cumpliendo las normativas correspondientes. El costo elevado de dichos equipos, no permite adquirir equipo actualizado constantemente con avances en tecnología más precisa y sofisticada.

Reacondicionar equipo que permite generar conocimiento y resolver problemas a los sectores educativos, investigación e industriales como ahorros importantes a las instituciones es una alternativa de mejora a corto plazo.

Generar y explotar el conocimiento para el desarrollo económico de las propias instituciones es una alternativa de gran interés para solventar problemáticas de esta índole.

TEORÍA

La máquina de Tinius Olsen (The Little Giant) máquina universal de ensayos mecánicos semejante a una prensa, con facultades para someter materiales a ensayos de tracción y compresión para medir sus propiedades. Producida en estados unidos entre los años 1880 y 1910. Equipos producidos en los años 70 en la actualidad se encuentran en instituciones educativas en operación aun, o con algunas fallas por desgaste de partes que las conforman.

Los sistemas de automatización basados en microcontroladores en la actualidad, son un gran medio para desarrollar tareas rutinarias de operación y permitir ejecutar procesos completos.

Explotar el conocimiento de las instituciones, echar mano de los equipos de automatización de bajo costo que abundan el mercado y utilizando la infraestructura obsoleta o fuera de operación por falla o por discontinuidad, se puede desarrollar sistemas de automatización de bajo costo, actualizados y diseñados bajo normas actuales. Todo este desarrollo permite ahorros en las instituciones educativas o en laboratorios que desarrollan trabajos con este tipo de equipos. Permitiendo reacondicionar y tener en operación los equipos en desuso.

PARTE EXPERIMENTAL

La toma de Información y operación del equipo a reacondicionar es la parte inicial del diseño del sistema de automatización y control. En la siguiente Figura 1. Se muestra un diagrama de conexión eléctrica del motor de inducción con que cuenta la máquina y los modos de operación.



Figura 1. Diagrama de operación.

La falla principal de la máquina se localizó en la palanca de operación de la misma, la cual estaba formada por un selector a base de bronce, Figura 2, que permitía interconectar las conexiones internas de la máquina de inducción mostrada en la Figura 1.



Figura 2. Selector de conexiones eléctricas.

Parte del desarrollo del sistema de automatización basados en los principios de operación de la máquina, es el uso de un microcontrolador Atmel instalado en la tarjeta Arduino, la cual es de bajo costo y accesible en su tipo.

En el rediseño de la palanca de operación, se contemplan los grados de desplazamiento de por selección de paso. En sustitución del selector de bronce utilizamos un potenciómetro de 100 K Ω , dicho elemento se auto-acoplo a la palanca principal, la variación del potenciómetro se cuantifico a los grados de desplazamiento de la palanca de operación respectivamente. Figura 3.

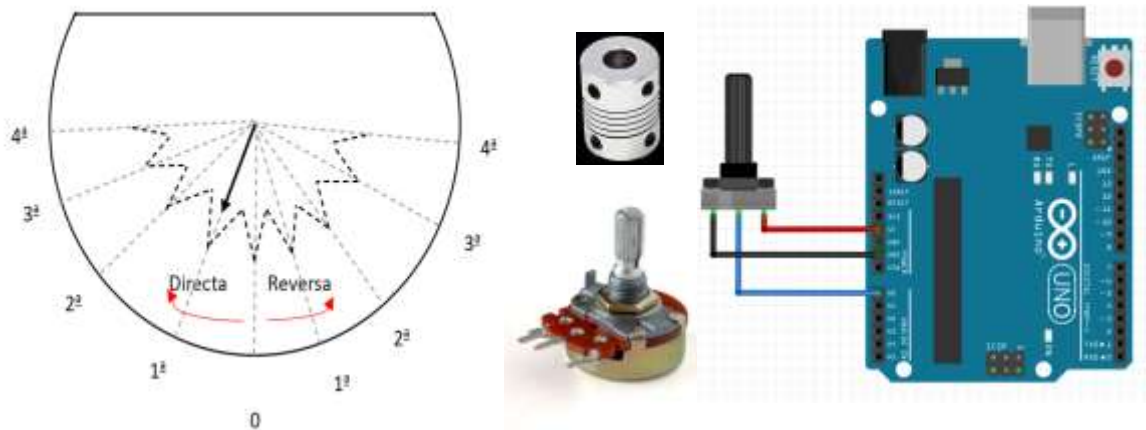


Figura 3. Diagrama de desplazamiento a la izquierda, al centro potenciómetro y acoplamiento mecánico. Tarjeta Arduino con potenciómetro interconectado, a la derecha.

Para la parte de potencia, se desarrolla un sistema a base de contactores electromagnéticos controlados por la tarjeta Arduino y acoplados por medio de una tarjeta de relevadores con su etapa de auto-acoplamiento Figura 4.



Figura 4. Contactores electromagnéticos.

El sistema de potencia se desarrolla considerando el siguiente diagrama unifilar, desarrollado en base a la operación seleccionada por la palanca de mandos. Figura 5.

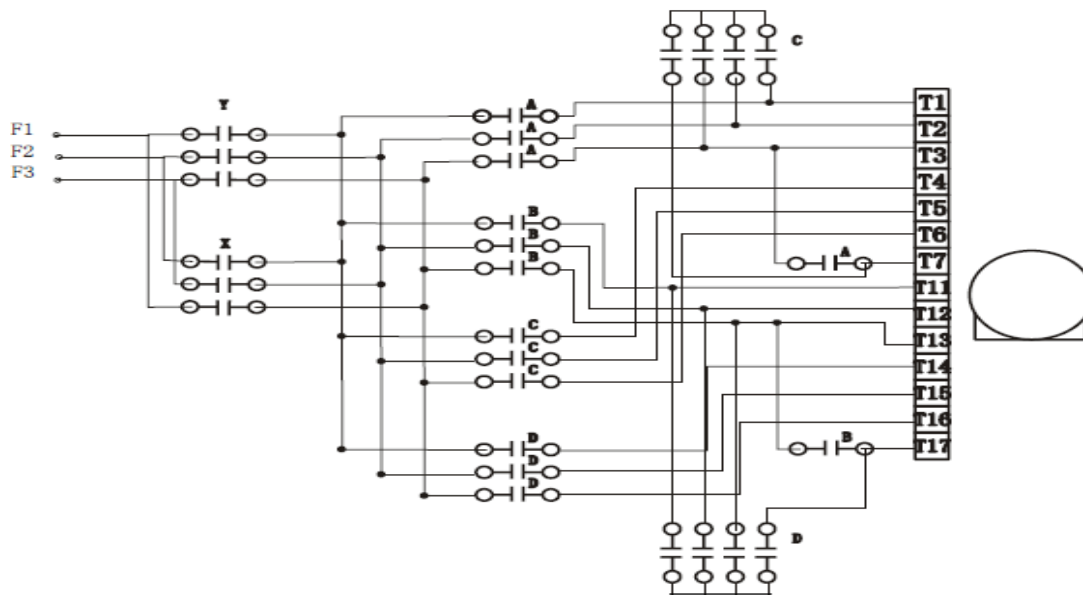


Figura 5. Diagrama de potencia.

Finalmente procedemos a realizar las pruebas de operación y mediciones de voltaje y corriente correspondientes al motor de inducción, así como las pruebas de operación mecánicas. Posteriormente se ponen en marcha un par de pruebas de tensión compresión para su funcionamiento.

RESULTADOS

Se obtiene un equipo en operaciones actualmente, como modelo de prueba al momento trabaja bajo las condiciones de diseño obtenidas. En la figura 6, se observa parte del equipo en operaciones previas.



Figura 6. Máquina Tinius Olsen.

En la Figura 7 se muestra un diagrama esquemático de operación general del rediseño y automatización contemplando todos los elementos de control y potencia.

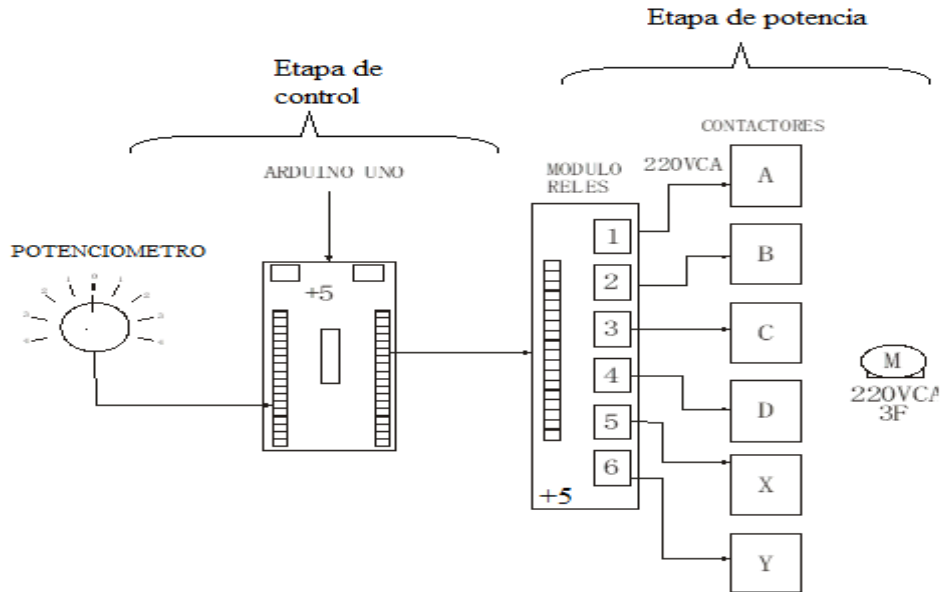


Figura 7. Diagrama esquemático General de operación.

La secuencia de operación de accionamientos de la parte de potencia que permiten interconectar las terminales eléctricas del motor de inducción se resume en la siguiente Tabla 1. Lo que permite mostrar los cambios de trabajo en dirección directa, reversa y los cambios de velocidad en 4 etapa.

Tabla 1. Diagrama de conexiones eléctricas de la máquina de inducción eléctrica.

Configuración de terminales para una conexión Serie-Delta: Estrella-Paralelo						
Directa		L1	L2	L3	ABIERTO	CONECTADOS
Reversa		L1	L2	L3		
Velocidades	#1	T1	T2	T3,T7	(T4,T5) & (T10:T17)	NINGUNO
	#2	T11	T12	T13,T17	(T1:T7) & (T14:T16)	NINGUNO
	#3	T4	T5	T6	(T11:T17)	T1,T2,T3,T7
	#4	T14	T15	T16	(T1:T7)	T11,T12,T13,T17

CONCLUSIONES

En este trabajo, se diseña y construye un sistema de automatización y control para el reacondicionamiento y operación de Máquina Universal Tinus Olsen, para desarrollar pruebas de ensayo a resistencia mecánica en materiales.

El equipo de pruebas actualmente reacondicionado, cumple sus funciones con el sector educativo y el sector industrial, permitiendo realizar sus funciones como son los ensayos de tensión, compresión, deformación y esfuerzos mecánicos de materiales apegadas a las normas ASTM y NMX.

Cabe resaltar que reacondicionar equipo que permite generar conocimiento y resolver problemas a los sectores industriales como ahorros importantes a las instituciones es una alternativa de mejora a corto plazo.

Generar y explotar el conocimiento para el desarrollo económico de las propias instituciones es una alternativa de gran interés para solventar problemáticas de déficit financiero.

BIBLIOGRAFÍA

1. <http://repositorio.pucp.edu.pe/index/handle/123456789/132619>
2. W. Leonhard, Control of Electrical Drivers. Berlin: Springer-Verlag, 1996.
3. T. Sebastian and V. Gangla, "Analysis of Induced EMF Waveforms and Torque Ripple in a Brushless Permanent Magnet Machine," IEEE Transactions on Industry Applications, vol.32, no. 1, pp. 195–200, Jan.-Feb. 1996.
4. T. Jahns and W. Soong, "Pulsating Torque Minimization Techniques for Permanent Magnet AC Motor Drives - A Review," IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 43, no. 2, pp.321–330, Apr. 1996.
5. P. Krause, Analysis of Electrical Machinery. New York: Mc Graw -Hill, 1986.
6. T. J. E. Miller, Brushless Permanent-Magnet and Reluctance Motor Drives. Oxford, USA:Oxford University Press, 1989.
7. Kwang Hee Nam. AC Motor Control and Electrical Vehicle Applications. CRC Press Taylor & Francis Group
8. Mattias Johnsson, Evaluation of Sensor Solutions & Motor Speed Control Methods for BLDC/PMSM in Aerospace Applications. Master Degree Thesis 2017 Luleå University of Technology
9. Katsuhiko Ogata. Ingeniería de control moderna. Pearson
10. MATLAB Simscape - Brushless DC Motor Fed by Six-Step Inverter [Retrieved 2016-09-19]. url: <http://se.mathworks.com/help/physmod/sps/examples/brushless-dc-motor-fedby-six-step-inverter.html>.
11. Jung-Moon Je Tae-Yong Lee Jun-Young Song Jaehong Kim Yong-Jae Kim Sang-Yong Jung. "Phase Advance Control to Reduce Torque Ripple of Brushless DC Motor According to Winding connection Wye and Delta". In: J Electr Eng Technol 9.6 (2014), pp. 2201{2208.doi: <http://dx.doi.org/10.5370/JEET.2014.9.6.2201>.
12. Bryan Morrow. Application Engineer. Anaheim Automation, inc.

COMPARACIÓN DE TÉCNICAS DE MODULACIÓN PARA INVERSOR MULTINIVEL PUENTES H EN CASCADA

José Juan Alfaro-Rodríguez¹, Jesús Alberto Martínez Cabrera¹, Gilberto Muñoz Moreno¹ y Adolfo Rafael López Núñez¹

¹Instituto Tecnológico Superior de Irapuato del Tecnológico Nacional de México
jose.ar@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

Los inversores multinivel son un tipo de convertidor que tienen su aplicación en la conversión de energía en el sector eléctrico en áreas como alta potencia y alta tensión, además permiten reducir en forma importante el contenido de armónicas en la forma de onda de tensión de salida. Esta característica se debe a que se sintetiza la tensión de salida a partir de varios niveles de tensión de CD. Dentro de las primeras topologías se encuentran el inversor multinivel de diodo enclavado, inversor multinivel con capacitores flotantes e inversor multinivel en cascada.

Para poder sintetizar la señal de salida y generar una forma de onda parecida a la onda sinusoidal se requiere aplicar técnicas de modulación que permitan la activación y desactivación de los dispositivos de conmutación del inversor para generar los diferentes niveles de la señal de salida. Una de estas técnicas es la modulación de portadora triangular sinusoidal basada de arreglos de multiportadoras con desplazamientos verticales,

En este trabajo, se propone implementar en simulación tres técnicas de modulación de multiportadoras con desplazamientos verticales denominadas: disposición de fase (PD por sus siglas en inglés Phase Dispositions), disposición opuesta de Fase (POD por sus siglas en inglés Phase Opposition Dispositions) y disposición opuesta alternada de fase (APOD por sus siglas en inglés Alternative Phase Opposition Disposition). Para la evaluación de las técnicas propuestas se propone utilizar en un inversor de puentes H en cascada de 5 y 7 niveles con el propósito de disminuir la distorsión armónica total (THD por sus siglas en inglés) en la señal generada.

INTRODUCCIÓN

Las topologías de inversores multinivel, en las últimas décadas ha emergido con gran relevancia, básicamente su aplicación es en la conversión de energía CD a CA, la cual nos permite aprovechar la energía en CD que proviene principalmente de los paneles fotovoltaicos, que aprovechan la luz del sol, para transformarla en energía de CA y ser aprovechada como suministro de equipos y electrodomésticos ya sea en el sector industrial como en doméstico. El principio de funcionamiento de las topologías de los convertidores de capacitor flotante (FC), enclavado de punto neutro (NPC) y puente-H en cascada (CHB), la podemos encontrar en [1-3].

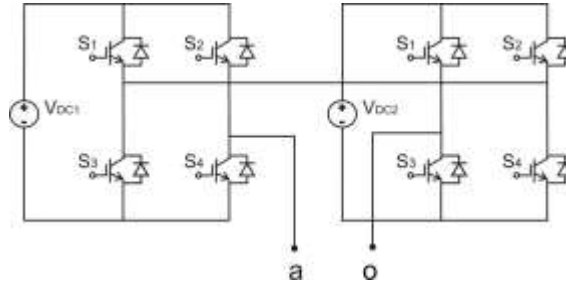
El inversor multinivel de puente-H en cascada (CHB por sus siglas en Cascade H Bridge) desde su aparición [4] ha servido de base para el desarrollo de los sistemas fotovoltaicos, ya que resultan ser sumamente versátiles. La topología convencional es conocida como Puente H y de ella se derivan una variedad de topologías.

La topología del inversor puede emplear varias estrategias de modulación como la modulación de vector espacial (SVM de las siglas en inglés Space Vector Modulation) eliminación selectiva de armónicos (SHE de las siglas en inglés Selective Harmonic Elimination) y modulación por ancho de pulso (PWM de las siglas en inglés Pulse Width Modulation). La técnica PWM con desfase de fase (PS-PWM) [5] y con desfase de nivel (LS-PWM) [6, 7, 8] son los métodos recomendados para el CHB, donde cada celda se modula de forma independiente usando PWM unipolar con la misma señal de referencia.

Bajo las técnicas LSC-PWM, se determinará el control del convertidor siendo las siguientes modulaciones las más utilizadas: disposición de fase (PD), desplazamiento opuesta de fase (POD) y desplazamiento opuesta alternada de fase (APOD).

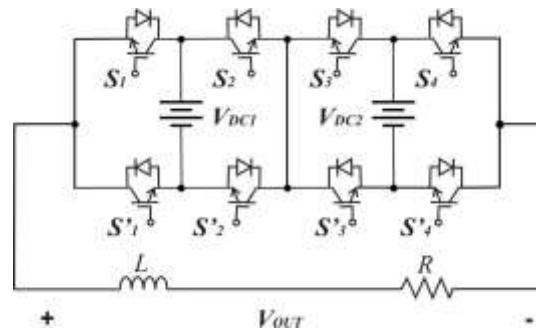
TEORÍA

En la figura 1 se muestra la topología para un inversor multilevel con dos puentes H en cascada con fuentes de DC. La topología presenta 4 interruptores IGBTs (S_1 , S_2) y 4 complementarios (S_3 y S_4), así como dos fuentes de voltaje de CD V_{DC1} y V_{DC2} .



Inversor Multinivel de puentes H en cascada

La topología mostrada en 1 tiene la característica de ser modular, lo cual implica que se pueden agregar más puentes H en cascada y e implementar cada puente H en placas por separado. La alternativa propuesta es utiliza el esquema que se muestra en la figura 2, lo cual permite tener la misma configuración en una sola placa, sin embargo si se requiere adherir un puente H adicional, no será posible. Por otra parte, se pueden generar el mismo número de niveles en ambas configuraciones.



Inversor Multinivel de puentes H en cascada modificado

La topología mostrada en la figura 2 presenta 4 interruptores IGBTs (S_1 , S_2 , S_3 y S_4) y los complementarios serían (S'_1 , S'_2 , S'_3 y S'_4), y las fuentes de voltaje V_{DC1} y V_{DC2} . Dependiendo del valor de las fuentes de voltaje, se pueden generar diferentes niveles de la señal multinivel de voltaje de salida. Si las fuentes son simétricas, esto es son iguales ($V_{CD1}=V_{CD2}$), se generan 5 niveles de voltaje. Si las fuentes son asimétricas, esto es son diferentes, se pueden generar 7 o 9 niveles, de acuerdo a la relación entre ellas, si $V_{CD1}=2V_{CD2}$ se generan 7 niveles y si $V_{CD1}=3V_{CD2}$ se generan 9 niveles. Esto se realiza mediante la activación de los diferentes dispositivos de conmutación, lo que se denomina modos de operación.

El inversor multinivel, como se mencionó, presenta diversos modos de operación, que se generan mediante la activación de los diferentes interruptores. Para esta topología se consideran las tensiones en las fuentes de CD como se ilustra en la tabla 4 para cada uno de los inversores multinivel CHB-5, CHB-7 y CHB-9, así como los modos de operación y los estados de los interruptores (S_1 , S_2 , S_3 y S_4), considerando el 1 como encendido y el 0 como apagado para generar 5, 7 y 9 niveles.

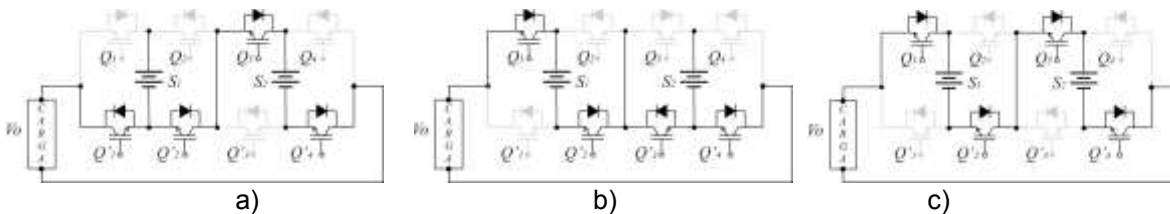
Modos de operación y activación de los interruptores para los inversores CHB-5, CHB-7 y CHB-9

Modos de Operación		S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	CHB-5 5 Niveles	CHB-7 7 Niveles	CHB-9 9 Niveles
		1 estado encendido 0 estado apagado				V _{DC1} =V _{DC2} V _{DC1} =V _{DC2} =10	V _{DC1} =2V _{DC2} V _{DC1} =20 V _{DC2} =10	V _{DC1} =3V _{DC2} V _{DC1} =30 V _{DC2} =10
1	V _{DC1} +V _{DC2}	1	0	1	0	2V _{DC1} V _O =20	3V _{DC2} V _O =30	4V _{DC2} V _O =40
2	V _{DC1}	1	0	0	0	V _{DC1} V _O =10	V _{DC1} V _O =20	V _{DC1} V _O =30
3	V _{DC2}	1	1	1	0	V _{DC1} V _O =10	V _{DC2} V _O =10	V _{DC2} V _O =10
4	V _{DC2}	0	0	1	0	V _{DC1} V _O =10	V _{DC2} V _O =10	V _{DC2} V _O =10
5	V _{DC1} -V _{DC2}	1	0	0	1	0	V _{DC2} V _O =10	2V _{DC2} V _O =20
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	-V _{DC1} +V _{DC2}	1	0	0	1	0	V _{DC2} V _O =-10	2V _{DC2} V _O =-20
8	-V _{DC2}	1	1	0	1	-V _{DC1} V _O =-10	-V _{DC2} V _O =-10	-V _{DC2} V _O =-10
9	-V _{DC2}	0	0	0	1	-V _{DC1} V _O =-10	-V _{DC2} V _O =-10	-V _{DC2} V _O =-10
10	-V _{DC1}	0	1	1	1	-V _{DC1} V _O =-10	-V _{DC1} V _O =20	-V _{DC1} V _O =-30
11	-S ₁ -S ₂	0	1	0	1	-2V _{DC1} V _O =-20	-3V _{DC2}	-4V _{DC2} V _O =-40

* Los valores V_{DC1}=V_{DC2} en esta tabla son supuestos en esta tabla, como ejemplo

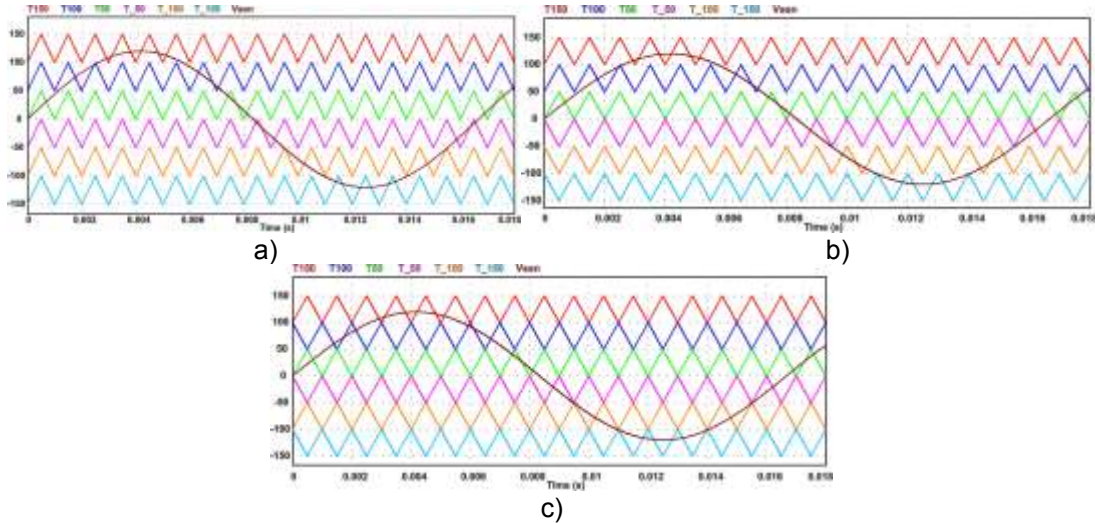
Para ejemplificar los modos de operación, en la Figura 9a) Los interruptores S₁, S₂, S₃ y S₄, se encuentran en estado encendido, mientras que S₁, S₂, S₃ y S₄ se encuentra apagados. Esto corresponde al estado de operación 4 y la tensión de salida es para CHB-5 V_O=V_{DC2} =10V, CHB-7 V_O=V_{DC2} =10V y CHB-9 V_O=V_{DC2} =10V. Como se puede apreciar en la table y sombreado de color verde hay esyados redundantes, esto quiere decir que el mismo nivel de voltaje de salida se puede generar mediante diferentes modos de operación. En la Figura 9b) Los interruptores S₁, S₂, S₃ y S₄, se encuentran en estado encendido, mientras que S₁, S₂, S₃ y S₄ se encuentra apagados. Esto corresponde al estado de operación 2 y la tensión de salida es para CHB-5 V_O=V_{DC1} =10V, CHB-7 V_O=V_{DC1} =20V y CHB-9 V_O=V_{DC1} =30V. En la Figura 9c) los interruptores S₁, S₂, S₃ y S₄ se encuentran en estado encendido, mientras que S₁, S₂, S₃ y S₄ se encuentran apagados. Esto corresponde al estado de operación 1 y la tensión de salida es para CHB-5 V_O=V_{DC1}+ V_{DC2}=20V, CHB-7 V_O=V_{DC1} + V_{DC2}=30V y CHB-9 V_O=V_{DC1} + V_{DC2}=40V.

De manera análoga se obtiene los restantes niveles, de la Tabla I.



Modos de operación del inversor multinivel. Combinación de interruptores para generar los voltajes a) V_O=V_{DC2} CHB-5 de 10v, CHB-7 de 10v y CHB-9 de 10v, b) V_O=V_{DC1} CHB-5 de 10v, CHB-7 de 20v y CHB-9 de 30v c) V_O=V_{DC1}+ V_{DC2} CHB-5 de 20v, CHB-7 de 30v y CHB-9 de 40v

Las técnicas implementadas son las PWM de corrimiento de nivel denominadas LSC-PWM. En el esquema de PD las señales portadoras tienen la misma amplitud y frecuencia, además están en fase y son comparadas con una señal sinusoidal como se muestra en la figura 4a). En el esquema POD, las señales portadoras sobre el eje horizontal tienen la misma frecuencia, amplitud y están en fase, sin embargo, las señales debajo del eje horizontal tienen la misma frecuencia y amplitud, pero la fase es de 180° en comparación con las portadoras sobre el eje horizontal, como se muestra en la figura 4b). En el esquema APOD, cada señal portadora está en fase con la señal portadora contigua en 180°, como se muestra en la figura 4c). Todas las señales portadoras tienen la misma frecuencia y amplitud



Señal de referencia senoidal y multi portadoras LS-PWM a) PD, b) POD, c) APOD.

Las señales multiportadoras están relacionadas con el número de niveles. Si es el CHB-5, se tienen $n=5$ niveles, y portadoras $p=n-1$ resultando $p=4$, o por cada semiciclo $p=(n-1)/2$, resultando 2 multiportadoras para el semiciclo positivo y 2 para el negativo. Para el CHB-7, se tienen $n=7$ niveles, $p=6$ portadoras, 3 para el semiciclo positivo y 3 para el negativo y así sucesivamente. Para la activación de los interruptores son requeridas tres señales: Nivel (esta señal determina entre que niveles se deben generar las transiciones), Pulsos (esta señal determina en qué momento se debe cambiar a un nivel de voltaje superior o inferior) y Ciclo (señal que determina en qué momento se cambia del semiciclo positivo al negativo) como se aprecia en la figura 4 donde se muestra el diagrama de bloques mediante el cual se obtienen las señales de control para los interruptores bajo la técnica de modulación LSC-PWM.

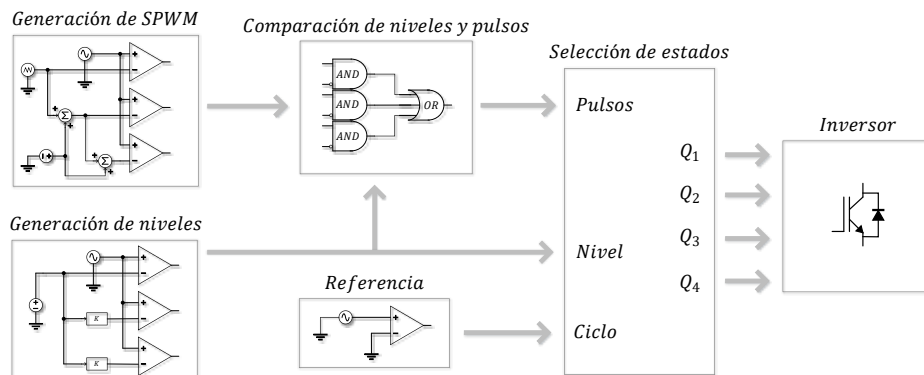


Diagrama de bloques de las señales de control para activación de los dispositivos de conmutación.

La codificación para activar los modos de operación de la Tabla I, la podemos entender con los ejemplos de la Tabla II. Donde $cl = \text{ciclo}$, $N = \text{Nivel}$, $pl = \text{Pulso}$ y $(S_1, S_2, S_3 \text{ y } S_4) = \text{interruptores}$. Considerando las fuentes asimétricas $V_{DC1}=100$, $V_{DC2}=50$. Para el caso 1, $cl=0$ la forma de onda estará en el semiciclo positivo, el par ordenado $n_1 n_0$, indica el nivel en el que se encuentra la señal senoidal de referencia, $n_1 n_0=00$ indica que esta entre el nivel $[0, 50]$, y $pl=0$ indica que no hay pulso por lo que la señal de salida se mantiene en el nivel inicial, o sea 0 volts. Por lo tanto las señales de activación de los interruptores son $S_1=0, S_2=0, S_3=0 \text{ y } S_4=0$. El caso 2 nos indica $cl=1$ la forma de onda estará en el semiciclo negativo, como $n_1 n_0=00$ indica que esta entre el nivel $[0, -50]$, $pl=1$ indica que hay un pulso por lo que salta del nivel inicial al final, o sea -50 volts. Por lo tanto las señales de activación de los interruptores son $S_1=1, S_2=1, S_3=1 \text{ y } S_4=0$. Así el caso 3 indica $cl=0$ la forma de onda estará en el semiciclo positivo, $n_1 n_0=01$ indica el nivel $[50, 100]$, y $pl=1$ indica que se salta del nivel inicial al final, o sea 100 volts. Por lo tanto las señales de activación de los interruptores son $S_1=0, S_2=0, S_3=0 \text{ y } S_4=1$.

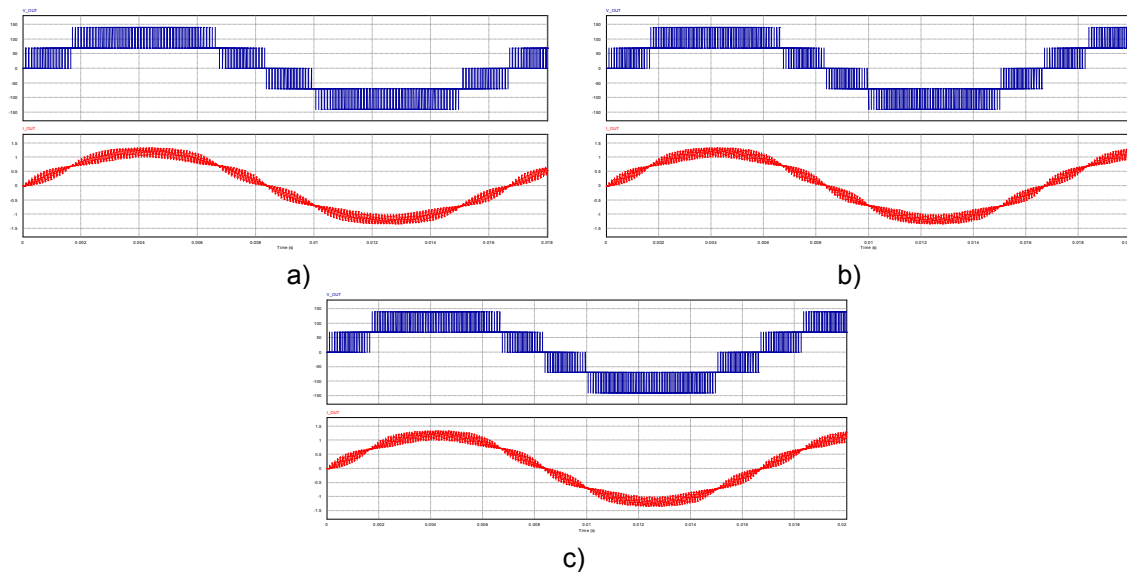
Estado de los para los modos de operación

Caso	cl	N		pl	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	Vo
		n ₁	n ₀						
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	0	1	1	1	1	0	-50
3	0	0	1	1	1	0	0	0	100

RESULTADOS DE SIMULACIÓN

Para validar el funcionamiento del inversor multinivel, se realiza la simulación de la topología de la figura 2 con los siguientes parámetros: Una carga RL donde $R = 100\Omega$ y $L = 4mH$.

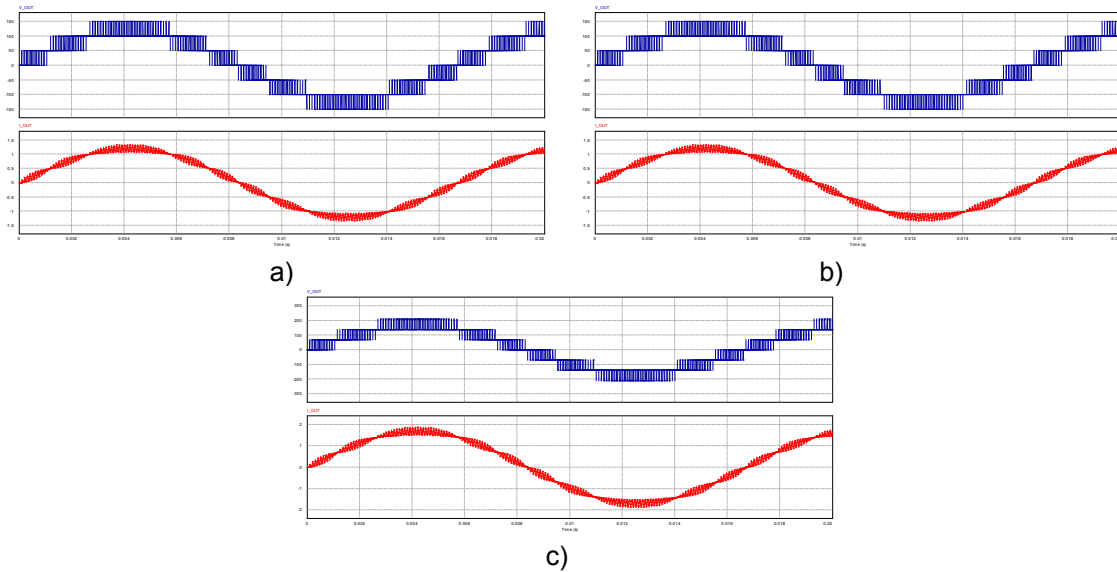
Para el CASO I se tendrán fuentes simétricas con valores de $V_{DC1} = 70, V_{DC2} = 70$. Los interruptores S_1, S_2, S_3 y S_4 utilizados son dispositivos de conmutación IGBT's. Los resultados de simulación obtenidos se pueden apreciar en las figuras 6a, 6b y 6c. Como se puede observar la señal en azul es la salida de voltaje multinivel y la señal roja la de corriente, para el inversor CHB-5 aplicando las técnicas LSC-PWM PD, POD y APOD sucesivamente. Como se puede observar es una señal multinivel de 5 niveles $(140, 70, 0, -70, -140)$.



Voltaje y corriente de salida del Inversor CHB-5 a) técnica PD b) técnica POD c) técnica APOD

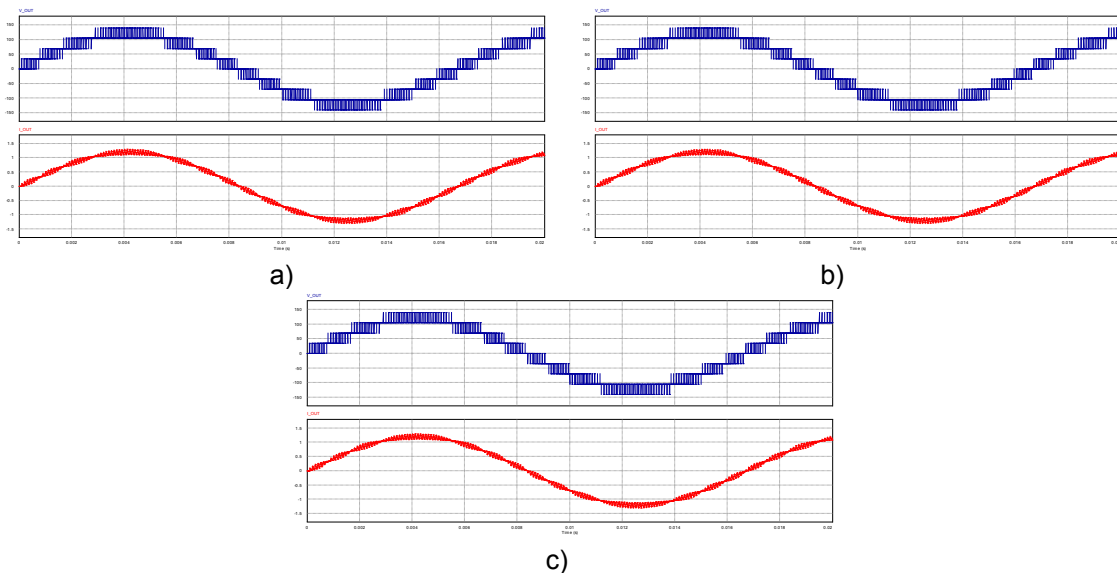
Para el CASO II se tendrán fuentes asimétricas con valores de $V_{DC1} = 100, V_{DC2} = 50$. En las figuras 7a, 7b y 7c se pueden apreciar las señales de salida de voltaje y corriente para el inversor CHB-7

aplicando las técnicas LSC-PWM PD, POD y APOD sucesivamente. Como se puede observar es una señal multinivel de 7 niveles (150, 100, 50, 0, -50, -100, -150).



Voltaje y corriente de salida del Inversor CHB-7 a) técnica PD b) técnica POD c) técnica APOD

Para el CASO III se tendrán fuentes asimétricas con valores de $V_{DC1} = 120$, $V_{DC2} = 40$. En las figuras 8a, 8b y 8c se pueden apreciar las señales de salida de voltaje y corriente para el inversor CHB-9 aplicando las técnicas LSC-PWM PD, POD y APOD sucesivamente. Como se puede observar es una señal multinivel de 9 niveles (140, 105, 70, 35, 0, -35, -70, -105, -140).



Voltaje y corriente de salida del Inversor CHB-7 a) técnica PD b) técnica POD c) técnica APOD

En la tabla III se resumen los parámetros de los voltajes de las fuentes de CD del inversor multinivel utilizadas en la simulación y la THD obtenida para cada una de las configuraciones de 5, 7 y 9 niveles. La frecuencia fundamental de la señal de referencia es de 60Hz mientras que la frecuencia de las multiporadoras es de 10KHz, con una carga RL con valores de $R=100$ y $L=4mH$, para una potencia de salida de

PARÁMETROS Y THD DEL INVERSOR MUTINIVEL

MODULACIÓN		CHB-5 NIVELES	CHB-7 NIVELES	CHB-9 NIVELES
		$V_{DC1}=V_{DC2}$ $V_{DC1}=70$ $V_{DC2}=70$ TDH	$V_{DC1}=2V_{DC2}$ $V_{DC1}=100$ $V_{DC2}=50$ TDH	$V_{DC1}=3V_{DC2}$ $V_{DC1}=120$ $V_{DC2}=40$ TDH
PD	Voltaje	$3.574937X 10^{-1}$	$2,4352629 X 10^{-1}$	$1.7132059X 10^{-1}$
	Corriente	$1.1087144 X 10^{-1}$	$7.37694 X 10^{-2}$	$5.2167251 X 10^{-2}$
POD	Voltaje	$3.5757987X 10^{-1}$	$2,4344427 X 10^{-1}$	$1.7127738X 10^{-1}$
	Corriente	$1.1087528 X 10^{-1}$	$7.3683194 X 10^{-2}$	$5.2171413 X 10^{-2}$
APOD	Voltaje	$3.5764716X 10^{-1}$	$2,43522473 X 10^{-1}$	$1.7117962X 10^{-1}$
	Corriente	$1.1095836 X 10^{-1}$	$7.3741847 X 10^{-2}$	$5.2173279 X 10^{-2}$

CONCLUSIONES

En este artículo se validó en simulación la configuración de un inversor multinivel puentes H en cascada con capacidad de 1KW de potencia, que genera 5, 7 y 9 niveles de voltaje, utilizando 8 IGBTs con dos fuentes de CD seleccionadas con características simétricas y asimétricas. El inversor fue probado bajo las técnicas PD, POD y APOD denominadas LSC-PWM. Se comprueba su funcionamiento y operación generando la señal multinivel de voltaje para tres casos. El CASO I utilizando fuentes simétricas y generando 5 niveles de tensión a la salida, el CASO II con fuentes asimétricas en una relación 2:1 generando 7 niveles y el CASO III con fuentes asimétricas en una relación 3:1 generando 9 niveles. Se concluye que el prototipo puede genera 5, 7 y 9 niveles y que entre mayor sea el número de niveles la THD es menor. Para el CASO I, la técnica que arroja menor THD para el voltaje y la corriente es la PD, para el CASO II la técnica con menor THD es la POD tanto para el voltaje como para la corriente y para el CASO III, la técnica PD arroja menor THD en corriente y la APOD para el voltaje.

BIBLIOGRAFÍA

1. J. Rodríguez, J. Lai, F. Z. Peng "Multilevel Inverters: A Survey of Topologies, Controls, and Applications", IEEE Trans. Ind. Electron, vol. 49, No. 4, August 2002.
2. I. D. Pharne; Y. N. Bhosale; "A Review on Multilevel Inverter Topology", International Conference on Power, Energy and Control (ICPEC), 2013, pp. 700-703.
3. N. Mittal; B. Singh; S. P. Singh; "Multilevel Inverters: A Literature Survey on Topologies and Control Strategies", 2nd International Conference on Power, Control and Embedded Systems (ICPCES), pp. 1-11, 2012.
4. William, McMurray. "Inverter circuits", U.S. Patent No. 3,207,974. 21 Sep. 1965.
5. P. W. Hammond, A New Approach to Enhance Power Quality for Medium Voltage AC Drives, IEEE Trans. Ind. Appl. vol. 33, no. 1, pp. 202-208, 1997.
6. M. Calais, L. J. Borle, and V. G. Agelidis, "Analysis of multicarrier PWM methods for a single-phase five level inverter," in Power Electronics Specialists Conference, 2001. PESC. 2001 IEEE 32nd Annual, 2001, pp. 1351-1356.
7. B. P. McGrath and D. G. Holmes, "Multicarrier PWM strategies for multilevel inverters," Industrial Electronics, IEEE Transactions on, vol. 49, pp. 858-867, 2002.
8. D. G. Holmes and T. A. Lipo, "Pulse width modulation for power converters: principles and practice," vol. 18: John Wiley & Sons, 2003.

SISTEMA WEB DE CONTROL DE EVALUACIONES POR COMPETENCIAS

Eliud Paredes Reyes, Cristy Elizabeth Aguilar Ojeda, Lorena Mendoza Guzmán

Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo
eparedes@itsoeh.edu.mx

RESUMEN

El presente documento contiene información sobre el sistema web de control de evaluaciones por competencias, el cual facilita el control y registro de las actividades de aprendizaje estipuladas por los docentes de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de ITSOEH, además de permitir la elaboración de rubricas o utilizar alguna que haya sido creada con anterioridad por otro docente que haya impartido la materia, lo cual contribuye a mejorar el control de las evaluaciones de las diversas materias, la metodología utilizada fue Scrum, con cinco Sprints de tres semanas de duración, las tecnologías utilizadas para el desarrollo del proyecto son las siguientes: el framework Symfony y como gestor de base de datos Mysql, como resultado se diseñaron los módulos para los perfiles de administrador, docente y alumno; facilitando la consulta de calificaciones parciales y finales tanto para el docente como para el alumno, así como los instrumentos de evaluación empleados en cada actividad de aprendizaje, además de generar reportes de dichas evaluaciones por unidad de las materias impartidas en el semestre, el sistema está diseñado para que pueda ser utilizado por las otras carreras de la institución.

INTRODUCCIÓN

Con el transcurso del tiempo la forma de evaluación en la educación a nivel superior a sufrido cambios donde se requiere mayor énfasis al momento de calificar en el modelo de competencias para lo cual se definen instrumentos y procesos de evaluación de las diversas asignaturas.

Por lo tanto los pasos que se tomaron en cuenta para la construcción de un sistema web para la automatización de rubricas de evaluación, desarrollado bajo la metodología Scrum y utilizando el framework Symfony del lenguaje PHP y como gestor de base de datos Mysql, para lo cual se trabajo en la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales de ITSOEH como caso de prueba para la implementación del sistema y demostrar que puede cubrir las necesidades inmediatas de cualquier carrera del instituto tecnológico de nivel superior que desee implementarlo.

Durante la implementación de la metodología Scrum se realizaron historia de usuario que permitieron priorizar las actividades para la creación del sistema y agilizar el desarrollo y entregas constantes del producto.

Dentro de los objetivos definidos para la creación del sistema se describe la funcionalidad con la que cuenta el sistema, como contar con tres perfiles de usuario administrador, profesor y alumno, el primero puede dar de alta profesores, alumnos, periodos, semestres, materias, el segundo usuario puede configurar o generar rubricas de evaluación, asignar grupos, evaluar alumnos y el tercer usuario puede consultar calificaciones y el detalle de cada evaluación ya que podrá visualizar cada rubro y herramienta con la que fue evaluado por el profesor todo esto con el fin de optimizar la evaluación continua, formativa y coordinar las tareas de los profesores de la carrera de Ingeniería en Sistemas Computacionales.

La importancia de este sistema es mejorar el control de calificaciones tanto para el docente y para el alumno para llevar acabo el seguimiento oportuno de sus evaluaciones para cada actividad asignada en cada una de las unidades de las asignaturas.

El articulo está distribuido en dos apartados: la sección del desarrollo del sistema que describe cada las fases de la metodología y la sección de resultados y conclusiones que describen los objetivos alcanzados así como las mejoras futuras al sistema de evaluación por competencias a nivel superior.

TEORÍA

Este apartado describe la implementación de la metodología de trabajo Scrum, donde incluye los artefactos o documentos con los que se gestionan las tareas de adquisición y suministro: requisitos, monitorización y seguimiento del avance, así como las responsabilidades y compromisos de los participantes en el proyecto (Guía SBOKTM, 2017).

La primera fase de la metodología se asignaron los roles al equipo de trabajo como se muestra tabla 1.

Rol	Persona	Contacto
Gestor de Producto P. Owen	Eliud Paredes Reyes	
Coordinador Scrum Master	Eliud Paredes Reyes	
Equipo Técnico	Cristy Elizabeth Aguilar Ojeda Lorena Mendoza Guzmán	

Tabla. 18. Personas y roles

Fuente:(Elaboración propia)

Una vez que se llevó a cabo la recopilación de requerimientos mediante la entrevista del propietario producto con el cliente se realizó la pila de producto, en la tabla 2 se puede apreciar las priorización de cada historia según su urgencia e importancia para determinar los tiempos y el esfuerzo necesarios para el desarrollo del sistema. Dicho de otra manera, se formaliza la planificación del proyecto.

- Product backlog.
- Spring backlog.

El Product Backlog es un listado priorizado de funcionalidades o requisitos que son básicamente los objetivos que el cliente tiene como expectativa del producto de software a desarrollarse (Guía SBOKTM, 2017).

El listado de historias de usuario será jerarquizado en virtud de su importancia para el negocio, dicha importancia se calcula multiplicando la urgencia por el impacto. La urgencia se mide en una escala del 1 al 5 siendo el 1 la menor urgencia. Adicionalmente el Product Backlog estima la importancia de modo que el tiempo de implementación de las tareas (medido en días).

Una vez que se definió la importancia de las tareas se asignaron cada una de ellas a una iteración. La iteración más próxima se incluyó a las tareas de mayor importancia.

PILA DEL PRODUCTO					
ID	HISTORIA DE USUARIO	URGENCIA	IMPACTO	IMPORTANCIA	TIEMPO ESTIMADO (días)
1	Acceso de usuarios al sistema	5	4	20	5
2	Modificar Usuario Existente	5	4	20	5
3	Eliminar Usuario Existente	2	4	8	4
4	Implementación de Perfiles	4	4	16	4
5	Creación de usuario y contraseña de (Docentes y Alumnos)	4	3	12	5
6	Modificar Contraseña de Usuario	5	3	15	5
7	Listar Usuarios (Docentes y Alumnos)	5	2	10	4
8	Modificar estatus del Usuario	3	3	9	3
9	Modificar Información Personal de los Usuarios	5	2	10	3
10	Agregar Periodos	4	3	12	4
11	Agregar Materias	4	3	12	5
12	Agregar Grupos	5	4	20	5
13	Listar Materias	5	3	15	5
14	Agregar Semestres	5	4	20	4
15	Configurar Unidades	4	4	16	5
16	Configurar Rubrica	5	4	20	6
17	Mostrar Detalle de Rubros	3	2	6	6
18	Calificar Alumnos	4	2	8	5
19	Calificaciones Finales	4	4	16	5
20	Eliminar Información del sistema	2	4	8	4
21	Crear Cuenta de Usuario	2	3	5	3
22	Modificar Cuenta de Usuario	4	4	16	5
23	Usuario Dar de Baja a un Usuario	4	4	16	3
24	Mostrar Calificaciones Finales del Alumno	5	5	25	5

Tabla 2.Pila del producto

Fuente:(Elaboración propia)

Planificación inicial de las iteraciones/ sprints

Como resultado de la priorización de Historias de Usuario en el Product Backlog, se puede realizar una planificación tentativa de las iteraciones necesarias en este ciclo de desarrollo de software. En la tabla 3 se muestra una primera aproximación, la que podríamos llamar ideal, del Product Backlog dividido en Sprints o iteraciones. Los Sprint inicialmente asignados podrían ser susceptibles de modificación, como es propio en desarrollos de tipo ágil, de ocurrir estos cambios serán explicados puntualmente en el desarrollo de cada Sprint.

Como la metodología que se utilizó en este proyecto es de tipo iterativo e incremental se hace necesario un ajuste en planificación en cada siguiente iteración. Claramente el siguiente resultado dependerá del anterior. Si los tiempos estimados son los correctos, no habrá modificaciones, caso contrario deberán ser aumentados o disminuidos dependiendo el caso.

ID	HISTORIA DE USUARIO	SPRINT
1	Acceso de usuarios al sistema	1
2	Modificar Usuario Existente	2
3	Eliminar Usuario Existente	2
4	Implementación de Perfiles	1
5	Creación de usuario y contraseña de (Docentes y Alumnos)	1
6	Modificar Contraseña de Usuario	2
7	Listar Usuarios (Docentes y Alumnos)	1
8	Modificar estatus del Usuario	4
9	Modificar Información Personal de los Usuarios	2
10	Agregar Periodos	1
11	Agregar Materias	1
12	Agregar Grupos	1
13	Listar Materias	2
14	Agregar Semestres	1
15	Configurar Unidades	2
16	Configurar Rubrica	3
17	Mostrar Detalle de Rubros	3
18	Calificar Alumnos	3
19	Calificaciones Finales	3
20	Eliminar Información del sistema	4
21	Crear Cuenta de Usuario	1
22	Modificar Cuenta de Usuario	4
23	Usuario Dar de Baja a un Usuario	4
24	Mostrar Calificaciones Finales del Alumno	5

Tabla 3. División ideal del product backlog en sprints (iteraciones)

Fuente: Elaboración propia.

Las historias de usuario se realizaron con el siguiente formato como se muestra en la tabla 4 que en este caso es del administrador.

Número:	1	Usuario:	Administrador (Rolando)
Nombre Historia:	Módulo Administrador		
Prioridad en Negocio:	Alta	Riesgo en Desarrollo	Solo Desarrollo
Horas Estimadas:	[No. Horas – Solo Desarrollo]		
<p>Descripción: En el Módulo de perfil de administrador se podrá dar de alta, consultar, modificar y eliminar datos.</p> <p>Criterios de aceptación: Qué es lo que quiere hacer el usuario</p> <ul style="list-style-type: none"> • Quiero poder dar de alta Profesores • Quiero poder dar de alta Alumnos • Quiero poder dar de alta Materias • Quiero poder dar de alta Periodos • Quiero poder Configurar Retículas • Quiero poder Ver la lista de alumnos registrados en la base de datos • Quiero poder Ver la lista de Profesores registrados en la base de datos • Quiero poder Ver la lista de materias registrados en la base de datos • Quiero poder actualizar la contraseña de los profesores • Quiero poder actualizar la contraseña de los alumnos <p>Qué es lo que no debe hacer el usuario</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. No debo poder actualizar la contraseña si el campo nueva contraseña no coincide con el campo Confirmar contraseña. 2. No debo poder actualizar la contraseña si no he agregado valores a los campos nueva contraseña y campo confirmar contraseña. 3. No debo de poder dar de alta un profesor si no e ingresado los valores de los campos [Matricula, Nombre, Apellido paterno, Apellido materno] <p>Acciones quiere que haga el sistema</p> <ul style="list-style-type: none"> • Cuando pulse clic en la pestaña Registrar del menú Profesores debe de mostrar un formulario con los datos necesarios para dar de alta un profesor. • Cuando pulse clic en el botón Registrar debe de guardar los datos del profesor en la base datos. • Cuando pulse clic en la pestaña Registrar del menú Alumno debe de mostrar un formulario con los datos necesarios para dar de alta un Alumno. 			
Observaciones:			

Tabla 4 Formato de historia de usuario (administrador)

Fuente: (Elaboración propia.)

El patrón de diseño para el sistema fue el Modelo-Vista-Controlador que a continuación se describe.

Descripción del patrón de diseño.

Este patrón separa el modelo o lógica del negocio de su presentación o vista, enlazándolos mediante el controlador.

Con algo más de detalle podemos decir que el Modelo envuelve el comportamiento y los datos del dominio de aplicación; la Vista despliega la Información y el Controlador interpreta las entradas generadas por el mouse o el teclado de usuario, informando al Modelo cuando es necesario un cambio de estado, en la figura 1 se muestra el ciclo de vida o funcionamiento de MVC, (Kendall, 2011).

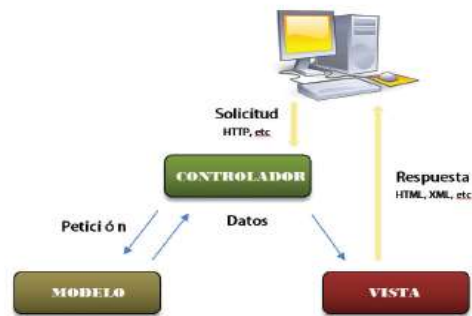


Figura 1. Funcionamiento del patrón de arquitectura modelo-vista-controlador.

Fuente:(Guía Scrum, 2017)

La Estructura MVC de symfony se muestra en la figura 2 con la estructura siguiente para el proyecto.

- La capa del Modelo
 - Abstracción de la base de datos
 - Acceso a los datos
- La capa de la Vista
 - Vista
 - Plantilla
 - Layout
- La capa del Controlador
 - Controlador frontal
 - Acción

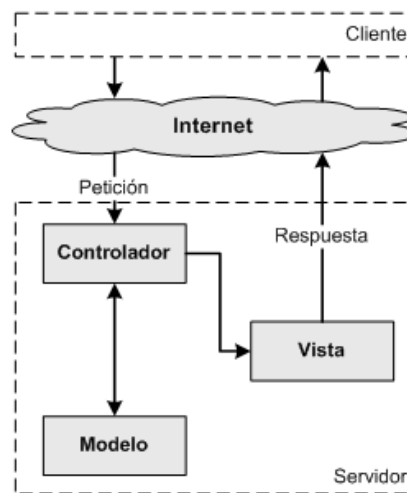


Figura 2 Modelo MVC symfony

Fuente:(Guía Scrum, 2017)

La carpeta SRC del proyecto (ver figura 3) contiene todo las clases del modelo de datos y el controlador para el funcionamiento del sistema.

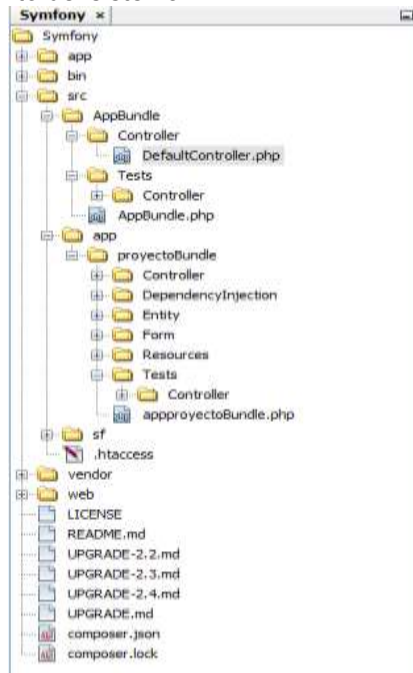


Figura 3 Contenido de codigos de la carpeta src.

Fuente: (pantalla del proyecto)

Modelo

El modelo representa la información con la que trabaja la aplicación, es decir, su lógica de negocio. La capa del modelo se puede dividir en la capa de acceso a los datos y en la capa de abstracción de la base de datos, de esta forma, las funciones que acceden a los datos no utilizan sentencias ni consultas que dependen de una base de datos, sino que utilizan otras funciones para realizar las consultas. Así, si se cambia de sistema gestor de bases de datos, solamente es necesario actualizar la capa de abstracción de la base de datos.

La capa entity representa la base de datos mediante objetos. Como lo muestra la figura 4.

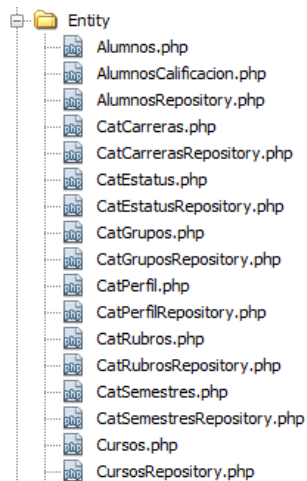


Figura 4. Capa entity representa la base de datos mediante objetos

Fuente: (pantalla del proyecto)

Vista

La vista transforma el modelo en una página web que permite al usuario interactuar con ella, normalmente sólo cambia el interior de la página, por este motivo, la vista se separa en un layout y en una plantilla donde el layout es global en toda la aplicación o al menos en un grupo de páginas. La plantilla sólo se encarga de visualizar las variables definidas en el controlador. Para que estos componentes interactúen entre sí correctamente (ver figura 5)

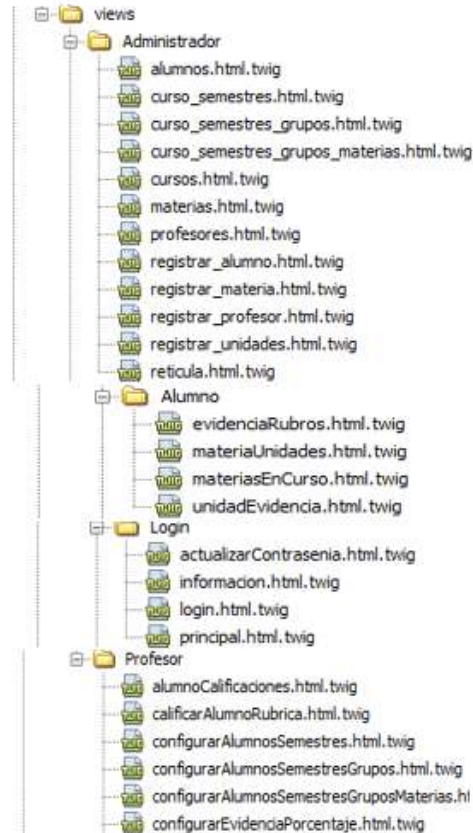


Figura 5. Capa vista transforma el modelo en una página web.

Fuente: (pantalla del proyecto)

Controlador

El controlador se encarga de procesar las interacciones del usuario y realiza los cambios apropiados en el modelo o en la vista.

Tareas comunes se encuentran el manejo de las peticiones del usuario, el manejo de la seguridad, cargar la configuración de la aplicación y otras tareas similares. Por este motivo, el controlador normalmente se divide en un controlador frontal, que es único para cada aplicación, y las acciones, que incluyen el código específico del controlador de cada página (ver figura 6)

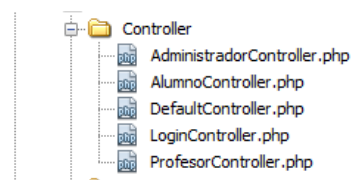


Figura 6. Capa Controlador del proyecto

Fuente: (pantalla del proyecto)

RESULTADOS

El sistema se ha desarrollado con éxito se han realizado las pruebas de funcionalidad para validar el correcto funcionamiento del sistema obteniendo los resultados siguientes.

- Se diseñó un modelo de base de datos en mysql donde se guardan correctamente los datos insertados desde las interfaces diseñadas del sistema web.
- Se diseñó una interfaz amigable intuitiva para facilitar el uso de los perfiles de usuario administrador, profesor y alumno.
- Se desarrolló y diseño un módulo para el perfil administrador que puede capturar correctamente los datos de los periodos, grupos, materias, profesores y alumnos que son guardados en la base de datos correctamente y se puede tener un control más personalizado para la carrera de Ingeniería en Sistemas computacionales.
- Se desarrolló y diseño un módulo para de perfil de profesor para agilizar el proceso de creación de rubricas y evaluación del alumno.
- Se desarrolló y diseño un módulo para el perfil de alumno donde puede consultar calificaciones y detalles de la evaluación que realizo el profesor para cada unidad facilitando la consulta de calificaciones parciales y finales.

En la fase de desarrollo del sprint para el módulo de administrador se realizaron los códigos como se muestra en la figura 7 y 8 el fragmento de código para la autenticación de usuario con el framework symfony respecto al modelo y al controlador.

```

<?php
namespace app\projectBundle\Entity;
use Doctrine\ORM\Mapping as ORM;

/**
 * Perfil
 *
 * @ORM\Entity(repositoryClass="app\projectBundle\Entity\PerfilRepository")
 */
class Perfil
{
    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255, unique=true)
     */
    private $id;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255)
     */
    private $nombre;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255)
     */
    private $apellido;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255)
     */
    private $correo;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255)
     */
    private $password;

    /**
     * @ORM\Column(type="string", length=255)
     */
    private $rol;

    public function getId()
    {
        return $this->id;
    }

    public function setId($id)
    {
        $this->id = $id;
    }

    public function getNombre()
    {
        return $this->nombre;
    }

    public function setNombre($nombre)
    {
        $this->nombre = $nombre;
    }

    public function getApellido()
    {
        return $this->apellido;
    }

    public function setApellido($apellido)
    {
        $this->apellido = $apellido;
    }

    public function getCorreo()
    {
        return $this->correo;
    }

    public function setCorreo($correo)
    {
        $this->correo = $correo;
    }

    public function getPassword()
    {
        return $this->password;
    }

    public function setPassword($password)
    {
        $this->password = $password;
    }

    public function getRol()
    {
        return $this->rol;
    }

    public function setRol($rol)
    {
        $this->rol = $rol;
    }
}

```

Figura 8. Fragmento de código del modelo (clase perfil).

Fuente: (pantalla del proyecto)

```

</php
namespace app\proyectoBundle\Controller;

use Symfony\Component\HttpFoundation\Request;
use Symfony\Bundle\FrameworkBundle\Controller\Controller;
use app\proyectoBundle\Entity\Usuario;
use Symfony\Component\Security\Core\Exception\AccessDeniedException;

class LoginController extends Controller {

    public function loginAction() {

        $authenticationUtils = $this->get('security.authentication_utils');
        $error = $authenticationUtils->getLastAuthenticationError();
        $lastUsername = $authenticationUtils->getLastUsername();

        return $this->render('app\proyectoBundle::login_login.html.twig',
            array('last_username' => $lastUsername, 'error' => $error,));
    }

    public function principalAction(Request $request) {

        if (false === $this->get('security.context')->isGranted('IS_AUTHENTICATED_FULLY'))
        {
            if ($this->getUser()->getIdStatus()->getId() == 1) {
                throw new AccessDeniedException();
            } else {

                $idPerfil = $this->getUser()->getIdPerfil()->getId();

                if ($idPerfil == 1) { //Administrador
                    return $this->redirectToRoute('app\proyectoBundle::listar_profesores');
                } else if ($idPerfil == 2) { //Profesor
                    return $this->redirectToRoute('app\proyectoBundle::informacion');
                } else if ($idPerfil == 3) { //Alumno
                    return $this->redirectToRoute('app\proyectoBundle::informacion');
                }
            }
        }
    }
}
    
```

Figura 9. Fragmento de código de controlador (clase LoginController) (Pantalla del proyecto)

En la figura 10 se muestra la pantalla principal del módulo de administrador.



Figura 10. Pantalla principal del administrador.

Fuente: (pantalla del proyecto)

CONCLUSIONES

De lo anterior se concluye que la propuesta desarrollada es capaz de mejorar la calidad del servicio prestado por la institución, en relación con la definición de métricas de evaluación para los alumnos al llevar un control de calificaciones, donde podría llegar a convertirse en una herramienta esencial que permitirá realizar dicho proceso de manera eficiente y confiable permitiendo obtener mejores resultados, para trabajos futuros el sistema se puede modificar en la forma de evaluar en las competencias a desarrollar con respecto a las necesidades de cada docente y seguir algún estandar de evaluación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sommerville, I. (2011). Modelos de proceso de software. En I. Sommerville, Ingeniería de software (pág. 792). Mexico, DF: pearson educación.
2. Gauchat, J. D. (2012). El gran libro de HTML5, CSS3 y Javascript. Barcelona: marcombo.
3. Kendall, K. E., & Kendall, J. E. (2011). Análisis y diseño de sistemas. México: pearson
4. Fabien Potencier (2014), Symfony 2.4, el libro oficial, LibrosWeb.
5. Rubin, K. s. (2014). Essential Scrum: a practical guide to the most popular agile process. United States: Pearson.
6. Scrumstudy, (2017), Una guía para el Cuerpo de Conocimiento de Scrum (Guía SBOK™) 3ra Edición, SCRUMstudy.

MANUFACTURA ADITIVA EN LA INDUSTRIA DE LAS GAFAS: IDENTIFICACIÓN DE PARTÍCULAS ULTRA FINAS EMITIDAS POR MEDIO DE HOLOGRAFÍA DIGITAL MICROSCÓPICA

Daniel Alberto García Espinosa¹, Miguel León Rodríguez¹, Pedro Yañez-Contreras¹, Israel Miguel-Andrés², Alejandra Cruz-Bernal¹, Patricia Ibarra-Torres¹

¹Universidad Politécnica de Guanajuato ²Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas.
20019002@upgto.edu.mx

RESUMEN

La industria de las gafas se ha consolidado como una actividad clave para el mejoramiento en la calidad de vida del ser humano, debido a su eficacia en la corrección de errores refractivos. Esta condición es la responsable, en gran medida, de los casos de discapacidad visual y ceguera presentes a nivel mundial; siendo a su vez, un factor determinante en el desarrollo económico y social; tanto de quienes lo padecen, como de su entorno. Sin embargo, elementos como la concentración de producción especializada en áreas geográficas concretas, el uso de tecnologías poco eficientes, la corta vida útil del producto y un ritmo de consumo acelerado; han producido en la industria de los armazones oftálmicos, una serie de retos enfocados en la sustentabilidad y sostenibilidad ambiental. El surgimiento de nuevas tecnologías demarca un abanico de posibilidades para la satisfacción de las necesidades presentes en dicha industria. Siendo la manufactura aditiva por su parte, una alternativa que ha adquirido una relevancia cada vez mayor dentro de la comunidad industrial a nivel mundial debido a sus múltiples propiedades, de las cuales se pueden identificar: la reducción en el uso de herramienta, la reproducción de figuras geométricas complejas, un alto grado de personalización, la optimización en el uso de materias primas, la producción bajo demanda, la facilidad en su distribución y la reducción de pérdidas económicas. Sin embargo, a pesar de que esta tecnología tiene como aspiración fungir como ruta hacia un proceso de manufactura más responsable ambientalmente; estudios señalan a las impresoras 3D como fuentes emisoras de partículas ultrafinas en gran escala. Este estudio se desarrolla con la finalidad de identificar la presencia de partículas ultrafinas emitidas durante el proceso de fundición y deposición de filamento, por medio de técnicas de recolección y análisis. Proponiendo el uso de la holografía digital microscópica como herramienta principal, debido a su alta precisión y viabilidad económica. Obteniendo de esta manera, hologramas con resoluciones capaces de realizar mediciones de nanoestructuras. Contribuyendo así a la determinación de la manufactura aditiva como una solución integral para satisfacer las necesidades de los armazones oftálmicos.

INTRODUCCIÓN

La salud ocular se posiciona como uno de los retos prioritarios a tratar en la agenda de salud pública definida por la Organización Mundial de la Salud en su Plan de acción Mundial 2014 – 2019; pues representa una problemática de grandes dimensiones, la cual afecta alrededor de 324 millones de personas en el mundo (OMS, 2013). A su vez, la ausencia en la corrección de problemas visuales como los errores refractivos, caracterizados por presentar un desempeño deficiente en el enfoque de imágenes por parte del ojo; es la responsable de un 52.9% de los casos de discapacidad visual moderada y severa, al igual que en el 20.9% en los que a ceguera respecta (Bourne et al., 2013; OMS, 2013). Por otra parte, dichas condiciones se estrechamente ligadas al entorno económico y social de quien las padece, influyendo negativamente en aspectos como el acceso a oportunidades laborales y escolares (Harrabi et al., 2014; Heymann, Stein y Moreno, 2014). Hecho que se traduce en pérdidas monetarias para la economía mundial, proyectándose para el año 2020 afectaciones por un valor total de \$177.5 billones de dólares (Gordois et al., 2012).

Actualmente, existen diversas alternativas que permiten la corrección de los problemas derivados de los defectos refractivos, los cuales son la cirugía láser, los lentes de contacto y las gafas; siendo esta última opción, la más sencilla y segura (National Institute Eye, 2019). Por este motivo, la industria de las gafas se ha consolidado como una actividad clave para el mejoramiento en la calidad de vida del ser humano; siendo valuada en \$140.51 billones de dólares y contando con una demanda a nivel

mundial de 597.03 millones de unidades tan solo en 2019, cifra que se estima aumente en un 6.99% para el año 2023 (O'Connel, 2020; Statista, 2019). Datos que toman relevancia debido a factores como la amplia participación del segmento de armazones plásticos en las ventas totales (41.2%); una corta vida útil del producto, de solo 2 años, para posteriormente ser desechado como consecuencia del desgaste; el uso de sistemas de manufactura de bajo grado tecnológico y poco amigables ambientalmente; y su operación dentro de un modelo industrial caracterizado por la concentración de empresas de un mismo ramo en áreas geográficas definidas con la finalidad de alcanzar un mayor grado de especialización, destinando grandes cantidades de recursos con el fin de satisfacer sus necesidades logísticas (Roberts-Islam, 2019; Statista, 2019; Luxottica, 2018; Campagnolo y Camuffo, 2011). Debido a esto, la industria cuenta con el reto de virar hacia un enfoque sustentado en la responsabilidad ambiental, donde será fundamental la adopción de nuevas tecnologías, pues de lo contrario será poco sostenible en el futuro.

La manufactura aditiva (MA) ha adquirido un papel protagónico en el panorama internacional desde su aparición a finales de los años 80s, ganando terreno en varios sectores al ser considerado como una tecnología capaz de guiar a la industria hacia una dirección más sustentable y sostenible ambientalmente (Gebler, Schoot Uiterkamp y Visser, 2014; Buranská et al., 2019; Chen et al., 2015; Guo y Leu, 2013). Esto gracias a características propias como el uso eficiente de recursos (materias primas y energía), así como la reducción de las emisiones de CO₂ derivadas de sus procesos (Chen et al., 2015; Ford y Despeisse, 2016; Berman, 2012; Petrick y Simpson, 2013; Petrovic et al., 2011; Huang et al., 2013). A su vez, la MA se encuentra constituida por diversas técnicas, como lo son la estereolitografía (SLA), el procesamiento de luz digital (DLP), la sinterización selectiva por láser (SLS) y el modelado por deposición fundida (FDM). Consistiendo esta última en el paso de filamento a través de una boquilla calentada previamente a una temperatura específica para ser depositada progresivamente en forma de capaz sobre una plataforma de construcción, logrando esto por medio de un sistema de ejes (X, Y y Z), con la finalidad de crear estructuras en tres dimensiones.

No obstante, estudios recientes han definido que durante los procesos de fundición, los materiales termoplásticos actúan como fuentes emisoras de sustancias nocivas para la salud, como lo son las partículas ultrafinas, los compuestos orgánicos volátiles (COVS), los aldehídos y los carbonilos. Stephens et al. por su parte, reporta la presencia de partículas con longitudes oscilantes entre los 15 nm y 65 nm, en concentraciones que sobrepasan las 1,010 unidades por minuto. Hecho que se traduce en un peligro potencial, pues la inhalación de estas partículas genera efectos adversos para la salud a consecuencia de su facilidad para alojarse en pulmones, alvéolos y tracto respiratorio; derivándose a su vez en condiciones como la translocación de materiales al cerebro a través del nervio olfativo, problemas cardiorrespiratorios, accidentes cardiovasculares, síntomas de asma e incluso la muerte.

Además, una gran parte de las investigaciones enfocadas en el estudio de los fenómenos de emisión derivados de procesos de FDM, hacen uso de equipos especializados como campanas de vacío, filtros de aire, equipos de cromatografía, entre otros; con la finalidad de identificar las características de las partículas resultantes. Sin embargo, la realización de dichas pruebas resulta en elevados costos monetarios, de manera que la implementación de nuevas metodologías impulsaría el estudio de las implicaciones ambientales y de salud, que la manufactura aditiva presenta como parte de sus retos actuales.

Este estudio se desarrolla con la finalidad de analizar por medio de técnicas de holografía digital microscópica, la distribución de aquellas partículas ultrafinas resultantes de los procesos de fundición y deposición de filamento presentes en el FDM; proponiendo alternativas metodológicas enfocadas en la viabilidad económica y técnica para la identificación de micropartículas.

TEORÍA

El análisis de micropartículas presentes en el FDM empleando técnicas de holografía digital microscópica, contribuirá a una comprensión más extensa de las implicaciones ambientales que tendría para la industria, el uso de la manufactura aditiva para la creación de armazones oftálmicas a base de termoplásticos.

PARTE EXPERIMENTAL

La Holografía Digital Microscópica:

La HDM es una herramienta que en las últimas 3 décadas ha venido tomando importancia en diferentes áreas (Furlong y Pryputniewicz, 2003; Rappaz et al., 2005) por su capacidad de reenfoque a diferentes planos con un solo holograma y por su alta precisión en la medición de hasta 4 nm en dirección axial (León-Rodríguez et al., 2012) debido a su naturaleza interferométrica y en dirección lateral determinada por el límite de difracción de Rayleigh como cualquier microscopio óptico. El método está basado en la adquisición de un holograma que se forma con la interferencia de un haz de luz que se refleja o pasa a través de un objeto capturado con un objetivo de microscopio y con un haz de referencia (Goodman y Lawrence, 1967). La amplitud compleja del objeto es recuperada cuando el holograma es re-iluminado por el haz de luz de referencia. De esta manera podemos tener acceso a las imágenes de fase y de magnitud que nos permiten realizar medidas físicas reales del espécimen.

Recolección de muestras:

La recolección de partículas nano-partículas se llevó a cabo empleado un triplicado de muestras de filamento PLA color naranja (1.75mm de espesor), con un peso de 5 gr cada una, las cuales fueron depositados dentro de contenedores de sustrato de vidrio previamente esterilizados con acetona pura y alcohol. Posteriormente, se colocó en la parte superior de cada contenedor un recolector conformado por un sustrato de vidrio, de forma que se cubriera la boca del mismo en su totalidad. Acto seguido, los contenedores fueron colocados sobre la parrilla de un agitador magnético PRENDO AM 100, a una temperatura de 200 grados Celsius durante un periodo de dos horas como se muestra en la Fig. 1.

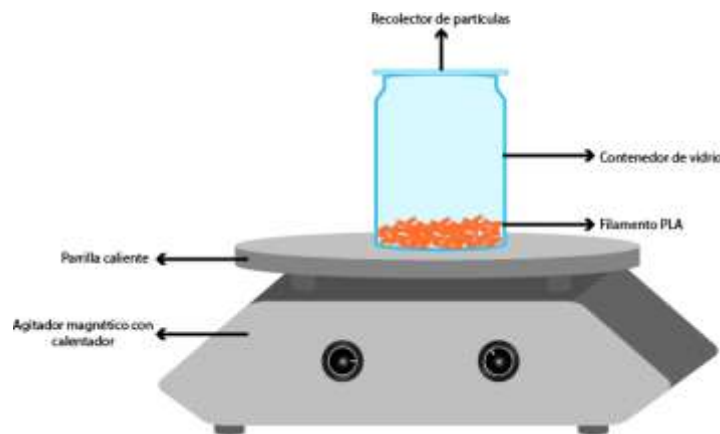


Fig. 1. Proceso de recolección de nano-partículas de PLA y película delgada

Arreglo y configuración del microscopio holográfico:

El arreglo experimental utilizado en este estudio, fue un interferómetro de Gates, como se muestra en la Fig. 2; el cual previamente se ha utilizado en estudios por los autores y se deja la referencia para mayores detalles (León-Rodríguez et al., 2018). Como fuente de iluminación se empleó un diodo láser de 5 mW con longitud de onda (λ) de 640 nm. De manera que el haz de luz generado es expandido y colimado por la lente (L). Posteriormente, este mismo haz, se hace pasar simultáneamente tanto por la muestra, como por el sustrato que no contiene material depositado. De forma que la información del objeto es enviada al interferómetro de Gates por una ventana, mientras que por la otra pasa el haz de referencia. A la salida del interferómetro se captura el holograma magnificado por un objetivo de microscopio de 10X de distancia de trabajo grande y N.A. de 0.28. La cámara utilizada para capturar los micro-hologramas es Stingray TM monocromática de 1024 x 1328 pixeles cuyo tamaño de pixel es de 6.4mm x 6.4 mm de 8 bits de profundidad.

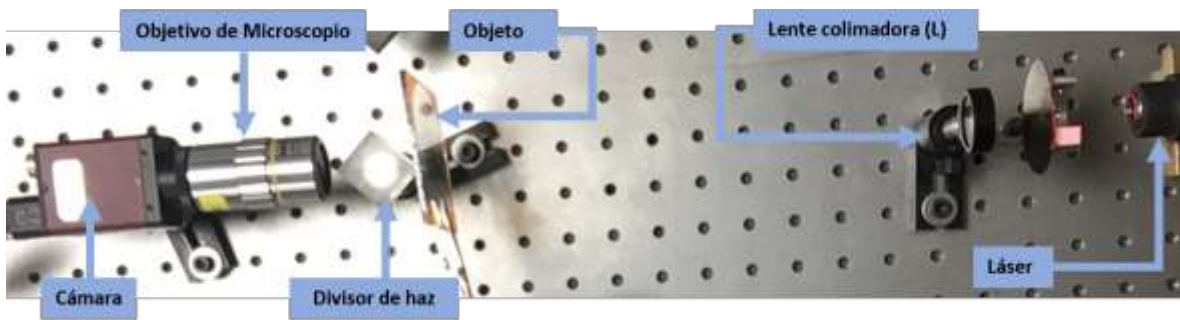


Fig. 2. Arreglo óptico del microscopio holográfico digital utilizado en este estudio.

En la Fig 3 a) se muestra un holograma capturado por el sistema y en la Fig. 3 b) una fotografía de la muestra bajo una iluminación de luz blanca. En la parte superior de la fotografía se muestra un ala de libélula, la cual fue colocada con la finalidad de fungir como referencia de enfoque; mencionando que dicho insecto se encontraba muerto en las instalaciones de la universidad. La distancia del objeto al plano de la cámara fue de 3.8 cm. Especificando que la configuración de este sistema fue planteado con la finalidad de obtener hologramas fuera de eje.

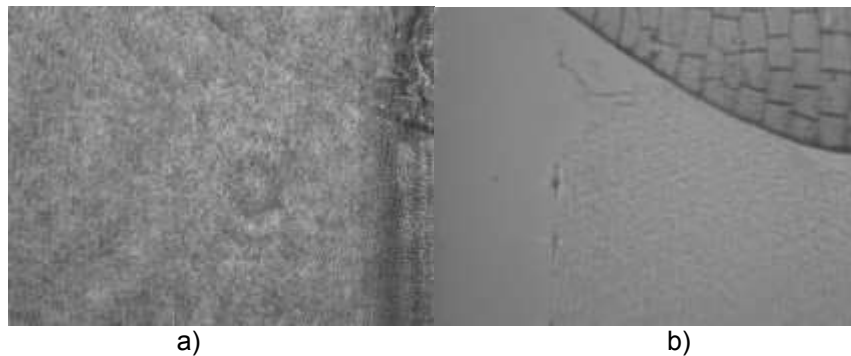


Fig. 3. a) Holograma Digital obtenido con el microscopio propuesto y b) Fotografía obtenida con la misma cámara utilizando luz blanca.

La intensidad $I(x, y)$ registrada por la cámara es la distribución de interferencia entre la onda objeto $O(x, y)$ y la onda de referencia $R(x, y)$ que obedece a la siguiente expresión:

$$I(x, y) = |O(x, y) + R(x, y)|^2 = O(x, y)^2 + R(x, y)^2 + R(x, y)O(x, y)^* + R(x, y)^*O(x, y). \quad (1)$$

Donde los primeros términos corresponden al término de DC y los últimos dos corresponden a la imagen virtual y real respectivamente, mientras que * denota términos complejos conjugados.

Para hologramas “fuera de eje” el término de DC y las imágenes real y virtual son separadas de acuerdo a los órdenes de difracción. Aplicando el proceso de filtrado en el dominio de las frecuencias se puede obtener solamente la imagen real del objeto para su posterior reconstrucción. En la Fig. 4 se muestra el espectro de Fourier del holograma de la Fig. 3 a) donde se destacan los órdenes de difracción comentados anteriormente.

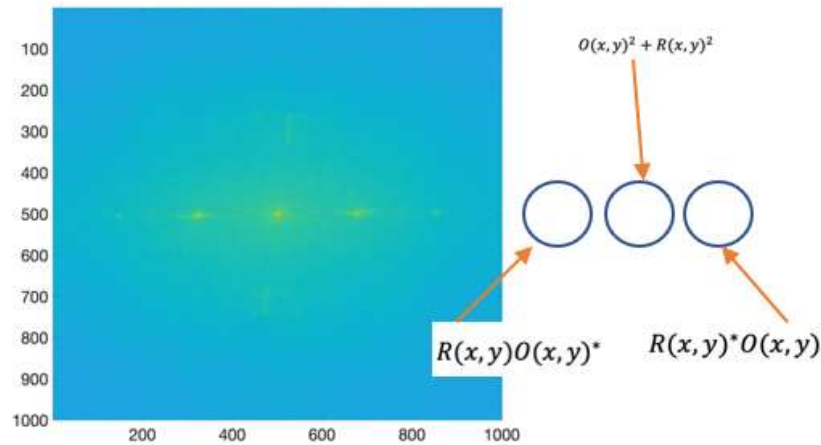


Fig. 4. Distribución del espectro de Fourier del holograma capturado.

Posteriormente una función ventana $W(f_x, f_y)$ es utilizada en el dominio de las frecuencias para obtener la onda objeto $R(x, y)^*O(x, y)$ como se expresa en la siguiente expresión matemática:

$$O(f_x, f_y) = W(f_x, f_y) \mathfrak{F}^{\pm}[H(x, y) * RD(x, y)]. \quad (2)$$

Donde $H(x, y)$ es el holograma digital, $RD(x, y)$ es la onda de referencia que re-ilumina de manera sintética el holograma y \mathfrak{F}^{\pm} es la transformada de Fourier (+) inversa y (-) directa. De lo anterior la reconstrucción del objeto $O(x, y)$ se lleva a cabo por medio del algoritmo de propagación de Kirchhoff-Fresnel como se describe a continuación:

$$O(x, y, d) = \mathfrak{F}^+ \{ [O(f_x, f_y)] \exp(jkd) \exp[-j\pi\lambda d][f_x^2 + f_y^2] \} \quad (3)$$

Donde j es el número complejo, k es el número de onda y d es la distancia de reconstrucción. A partir del frente de onda del objeto reconstruido se obtiene la amplitud del objeto $A(x, y) = |O(x, y, d)|^2$ y la fase $\phi(x, y) = \tan^{-1}[\text{imag}(O(x, y, d))/\text{real}(O(x, y, d))]$. El espesor (e) correspondiente a la fase calculada se obtiene como sigue:

$$e(x, y) = \frac{\phi(x, y)/k}{n - n_0} \quad (4)$$

Donde n es el índice de refracción del material PLA y n_0 es el índice de refracción del aire.

RESULTADOS

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de las reconstrucciones de los hologramas para determinar las deposiciones de nano-partículas de PLA sobre los sustratos de vidrio. Es importante mencionar que las mediciones realizadas fueron sobre la película delgada que eventualmente fue depositada en el sustrato por un lapso de 2 horas a una temperatura de 200 grados Celsius. También hemos de comentar que las partículas no fueron medidas de manera individual, sino colectivamente sobre la distribución en el sustrato. De esta manera se presenta una propuesta que se valida según los resultados reportados por (Stephens et al., 2013). El espesor de la película que se reporta en el presente estudio, se encuentra entre los 40 nm y 80 nm para diferentes distribuciones en la zona examinada. Con lo anterior en este trabajo se presenta una alternativa más para medir de manera global nano-partículas utilizando como herramienta principal la HDM.

En la Fig. 5 se muestra la reconstrucción del holograma digital con una distancia de reconstrucción de $d=0.006\text{mm}$. Para eliminar aberraciones y desalineamientos del sistema se utilizó el modelo de holograma de referencia (Colomb et al., 2006). En la Fig. 5 a) se muestra la distribución de amplitud de la reconstrucción del holograma, mientras que en la Fig. 5 b) se presenta la distribución de espesores al utilizar la Ecuación 4 con la distribución de fase obtenida $\phi(x, y)$.

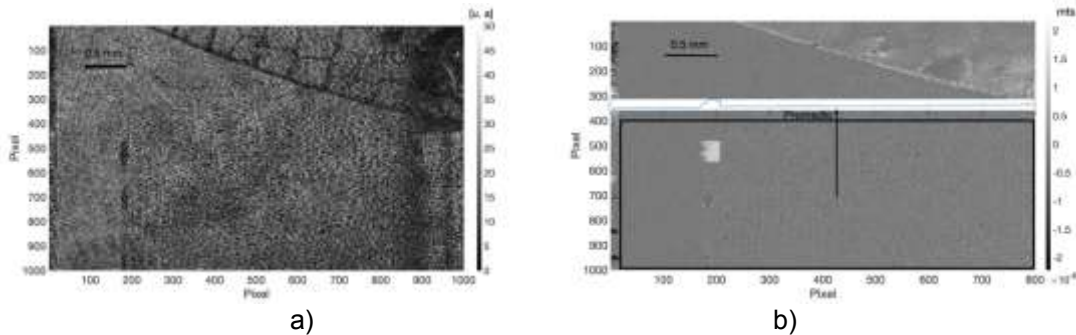


Fig. 5. Reconstrucción del objeto de interés, a) Distribución de amplitud y b) distribución de espesor de la muestra de película PLA depositada.

En la Fig. 6 se muestra el promedio de espesor en dirección vertical como se muestra el procedimiento en la Fig. 5. En esta gráfica bidimensional se muestra de manera detallada un espesor de 50 nm correspondiente a la película depositada en el sustrato. El índice de refracción del PLA utilizado es de 1.465.

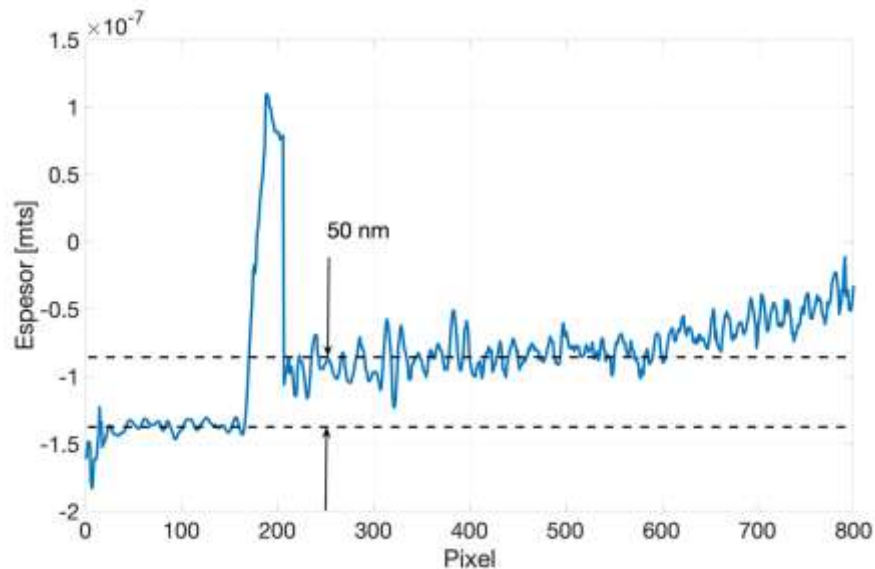


Fig 6.- Medición del promedio del espesor de la película depositada en el sustrato de vidrio.

CONCLUSIONES

En el presente trabajo se muestra la medición de las distribuciones de nano-partículas de PLA en el proceso de manufactura aditiva presente en las técnicas de FDM. Investigaciones previas han reportado que, dentro de los procesos de fundición de termoplásticos, característicos de esta tecnología, existe la presencia de emisiones de nano-partículas, las cuales pueden llegar a ser tóxicas para el ser humano en concentraciones determinadas. La holografía digital microscópica, fue la técnica empleada para la realización de dicha inspección; donde, a pesar de las limitaciones laterales del microscopio, la medición del espesor de la película depositada sobre un sustrato de vidrio fue de 50 nm; confirmando los resultados obtenidos por Stephens et al. En relación a lo

anterior, es posible concluir que el procedimiento planteado es confiable para su aplicación en la medición de nano-estructuras, apoyando de esta forma el área de la nanotecnología como herramienta de medición alternativa, la cual resulta atractiva por su viabilidad económica.

Finalmente, la presencia de nano-partículas en los procesos de fundición de filamento posicionará ciertas actividades específicas, como la selección de materiales a emplear por parte de la industria de las gafas; como factores determinantes en el desarrollo sustentable de las misma. Requiriendo, la elección de compuestos que generen menores concentraciones de nano-partículas, derivados de las condiciones de trabajo definidas por sus características físicas; así como una urgencia en la implementación de normas de seguridad, las cuales contribuyan a la regulación en las concentraciones de nano-partículas en los espacios de trabajo, mitigando así la posibilidad de generar afecciones a los colaboradores de la industria.

BIBLIOGRAFÍA

1. BERMAN, B., 2012. 3-D printing: The new industrial revolution. *Business Horizons* [en línea], vol. 55, no. 2, pp. 155-162. ISSN 0007-6813. DOI <https://doi.org/10.1016/j.bushor.2011.11.003>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681311001790>.
2. BOURNE, R.R.A., STEVENS, G.A., WHITE, R.A., SMITH, J.L., FLAXMAN, S.R., PRICE, H., JONAS, J.B., KEEFFE, J., LEASHER, J., NAIDOO, K., PESUDOVS, K., RESNIKOFF, S. y TAYLOR, H.R., 2013. Causes of vision loss worldwide, 1990-2010: A systematic analysis. *The Lancet Global Health*, ISSN 2214109X. DOI 10.1016/S2214-109X(13)70113-X.
3. BURANSKÁ, E., BURANSKÝ, I., MOROVIČ, L. y LÍŠKA, K., 2019. Environment and Safety Impacts of Additive Manufacturing: A Review. *Research Papers Faculty of Materials Science and Technology Slovak University of Technology* [en línea], vol. 27, no. 44, pp. 9-20. DOI <https://doi.org/10.2478/rput-2019-0001>. Disponible en: <https://content.sciendo.com/view/journals/rput/27/44/article-p9.xml>.
4. CAMPAGNOLO, D. y CAMUFFO, A., 2011. Globalization and Low-technology Industries: The Case of Italian Eyewear. *Knowledge Transfer and Technology Diffusion* [en línea]. S.I.: Edward Elgar Publishing, Disponible en: https://econpapers.repec.org/RePEc:elg:eechap:13293_6.
5. CHEN, D., HEYER, S., IBBOTSON, S., SALONITIS, K., STEINGRÍMSSON, J.G. y THIEDE, S., 2015. Direct digital manufacturing: definition, evolution, and sustainability implications. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 107, pp. 615-625. ISSN 0959-6526. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.009>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652615005429>.
6. COLOMB, T., KÜHN, J., CHARRIÈRE, F., DEPEURSINGE, C., MARQUET, P. y ASPERT, N., 2006. Total aberrations compensation in digital holographic microscopy with a reference conjugated hologram. *Opt. Express* [en línea], vol. 14, no. 10, pp. 4300-4306. DOI 10.1364/OE.14.004300. Disponible en: <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-14-10-4300>.
7. FORD, S. y DESPEISSE, M., 2016. Additive manufacturing and sustainability: an exploratory study of the advantages and challenges. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 137, pp. 1573-1587. ISSN 0959-6526. DOI <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.150>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652616304395>.
8. FURLONG, C. y PRYPUTNIEWICZ, R.J., 2003. Optoelectronic characterization of shape and deformation of MEMS accelerometers used in transportation applications. *Optical Engineering* [en línea], vol. 42, no. 5, pp. 1223-1231. DOI 10.1117/1.1566776. Disponible en: <https://doi.org/10.1117/1.1566776>.
9. GEBLER, M., SCHOOT UITERKAMP, A.J.M. y VISSER, C., 2014. A global sustainability perspective on 3D printing technologies. *Energy Policy* [en línea], vol. 74, pp. 158-167. ISSN 0301-4215. DOI <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.08.033>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421514004868>.

10. GOODMAN, J.W. y LAWRENCE, R.W., 1967. DIGITAL IMAGE FORMATION FROM ELECTRONICALLY DETECTED HOLOGRAMS. *Applied Physics Letters* [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 77-79. DOI 10.1063/1.1755043. Disponible en: <https://doi.org/10.1063/1.1755043>.
11. GORDOIS, A., CUTLER, H., PEZZULLO, L., GORDON, K., CRUESS, A., WINYARD, S., HAMILTON, W. y CHUA, K., 2012. An estimation of the worldwide economic and health burden of visual impairment. *Global Public Health*, ISSN 17441692. DOI 10.1080/17441692.2011.634815.
12. GUO, N. y LEU, M.C., 2013. Additive manufacturing: technology, applications and research needs. *Frontiers of Mechanical Engineering* [en línea], vol. 8, no. 3, pp. 215-243. ISSN 2095-0241. DOI 10.1007/s11465-013-0248-8. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11465-013-0248-8>.
13. HARRABI, H., AUBIN, M.J., ZUNZUNEGUI, M.V., HADDAD, S. y FREEMAN, E.E., 2014. Visual difficulty and employment status in the world. *PLoS ONE*, ISSN 19326203. DOI 10.1371/journal.pone.0088306.
14. HEYMANN, J., STEIN, M.A. y MORENO, G., 2014. Disability and Equity at Work [en línea]. Nueva York: s.n. Disponible en: <https://global.oup.com/academic/product/disability-and-equity-at-work-9780199981212?cc=mx&lang=en&#>.
15. HUANG, S.H., LIU, P., MOKASDAR, A. y HOU, L., 2013. Additive manufacturing and its societal impact: a literature review. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [en línea], vol. 67, no. 5, pp. 1191-1203. ISSN 1433-3015. DOI 10.1007/s00170-012-4558-5. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00170-012-4558-5>.
16. LEÓN-RODRÍGUEZ, M., RAYAS, J.A., CORDERO, R.R., MARTÍNEZ-GARCÍA, A., MARTÍNEZ-GONZALEZ, A., TÉLLEZ-QUIÑONES, A., YAÑEZ-CONTRERAS, P. y MEDINA-CÁZARES, O., 2018. Dual-plane slightly off-axis digital holography based on a single cube beam splitter. *Appl. Opt.* [en línea], vol. 57, no. 10, pp. 2727-2735. DOI 10.1364/AO.57.002727. Disponible en: <http://ao.osa.org/abstract.cfm?URI=ao-57-10-2727>.
17. LEÓN-RODRÍGUEZ, M., RODRÍGUEZ-VERA, R., RAYAS, J.A. y CALIXTO, S., 2012. High topographical accuracy by optical shot noise reduction in digital holographic microscopy. *J. Opt. Soc. Am. A* [en línea], vol. 29, no. 4, pp. 498-506. DOI 10.1364/JOSAA.29.000498. Disponible en: <http://josaa.osa.org/abstract.cfm?URI=josaa-29-4-498>.
18. LUXOTTICA, 2018. 2018 non-financial statement. *Luxottica* [en línea]. Disponible en: http://www.luxottica.com/sites/luxottica.com/files/dnf_eng_0.pdf.
19. NATIONAL INSTITUTE EYE, 2019. Refractive Errors. *National Institute Eye* [en línea]. Disponible en: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/eye-conditions-and-diseases/refractive-errors>.
20. O'CONNEL, L., 2020. Value of the global eyewear market from 2018 to 2025. *Statista* [en línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/statistics/300087/global-eyewear-market-value/>.
21. ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2013. Salud ocular universal : un plan de acción mundial para 2014-2019. *Organización Mundial de la Salud* [en línea]. Disponible en: https://www.who.int/blindness/AP2014_19_Spanish.pdf?ua=1.
22. PETRICK, I.J. y SIMPSON, T.W., 2013. 3D Printing Disrupts Manufacturing: How Economies of One Create New Rules of Competition. *Research-Technology Management* [en línea], vol. 56, no. 6, pp. 12-16. DOI 10.5437/08956308X5606193. Disponible en: <https://doi.org/10.5437/08956308X5606193>.
23. PETROVIC, V., GONZALEZ, J.V.H., FERRANDO, O.J., GORDILLO, J.D., PUCHADES, J.R.B. y GRIÑAN, L.P., 2011. Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research* [en línea], vol. 49, no. 4, pp. 1061-1079. DOI 10.1080/00207540903479786. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/00207540903479786>.
24. RAPPAZ, B., MARQUET, P., CUCHE, E., EMERY, Y., DEPEURSINGE, C. y MAGISTRETTI, P.J., 2005. Measurement of the integral refractive index and dynamic cell morphometry of living cells with digital holographic microscopy. *Opt. Express* [en línea], vol. 13, no. 23, pp. 9361-9373. DOI 10.1364/OPEX.13.009361. Disponible en: <http://www.opticsexpress.org/abstract.cfm?URI=oe-13-23-9361>.

25. ROBERTS-ISLAM, B., 2019. The Fast-Growing Spectacles Brand Making Frames From Potatoes, Discarded CDs And Even Human Hair. Forbes [en línea]. Disponible en: <https://www.forbes.com/sites/brookeroberthislam/2019/08/29/the-fast-growing-spectacles-brand-making-frames-from-potatoes-discarded-cds-and-human-hair/#45383f3a55e8>.
26. STATISTA, 2019. Consumer market outlook worldwide: eyewear frames. Statista [en línea]. Disponible en: <https://www.statista.com/outlook/12030000/100/eyewear-frames/worldwide#market-revenue>.
27. STEPHENS, B., AZIMI, P., EL ORCH, Z. y RAMOS, T., 2013. Ultrafine particle emissions from desktop 3D printers. Atmospheric Environment [en línea], vol. 79, pp. 334-339. ISSN 1352-2310. DOI <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2013.06.050>. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231013005086>.

PROGRAMACIÓN DE SECUENCIAS AEREO Y TERRESTRE DEL MODULAR HEXACOPTER AIRBLOCK

Miroslava Cano Lara¹, Higinio Juárez Rios², Marcelino Carrera Rodríguez³, Horacio Rostro González⁴

¹Ing. Mecatrónica, TecNM/ITES de Irapuato, ²Depto. Profesional Específica, Instituto Politécnico Nacional, ³Depto. Profesional Genérica, Instituto Politécnico Nacional, ⁴Ing. Electrónica, Universidad de Guanajuato.

[*miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx](mailto:miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx)

RESUMEN

El modular hexacopter drone Airblock es un dispositivo con 6 motores equidistantes horizontalmente del centro, con 3 posibles modalidades de operación: aéreo, terrestre y acuático. Las conexiones de los módulos de poder al tener polaridad N-S pueden armarse de diversas formas para considerar comportamientos de vuelo o desplazamiento específicos. En este trabajo se muestra la programación a través de la app Makeblock para dos modos de trabajo: aéreo y terrestre. Al emplear un entorno gráfico y dinámico basado en Scratch 2.0, los bloques de programación que ofrece la app Makeblock generan códigos para la lecturas, control y trayectorias necesarias para la ruta predeterminada. La técnica de programación aquí presente; orienta y apoya a los usuarios en el manejo de drones con la app Makeblock y con módulos de conexión magnética. Se utiliza la opción inicial de juego y principalmente la opción de programación de secuencias, identificando su estabilidad, control y fácil acceso a su programación.

Palabras clave: **Hexacopter, Makeblock, Programación de secuencias.**

INTRODUCCIÓN

Un multi-rotor es un vehículo aéreo que tiene múltiples rotores, se basan en rotores de paso fijo y usan variaciones en la velocidad del motor para el control del vehículo. Dentro del grupo de los multi-rotor se dividen varios grupos en función del número de hélices, su tamaño, el rango de vuelo y equipamiento como cuadricópteros, hexacopteros y octocopteros. Cuantos más motores emplee más estabilidad y fuerza de propulsión tendrá [1-2]. El Hexacopter Airblock HA dado que todas las hélices están igualmente separadas del centro de gravedad, el empuje de las hélices no produce un par de rotación neto en la aeronave. Utiliza tres hélices giratorias en sentido horario (CW) señaladas de color verde y tres hélices giratorias en sentido antihorario (CCW) señaladas de color rojo, para que el par de la hélice se cancele cuando funcionan a la misma velocidad (ver Fig. 1) [3].

El HA (ver Fig.2) se controla sobre su eje de balanceo aumentando la velocidad de las hélices en un lado y disminuyendo la velocidad de las hélices en el otro lado. Cuando el aumento de empuje en un lado es igual a la disminución del empuje en el lado opuesto, el empuje neto sigue siendo el mismo. Del mismo modo, el efecto neto del par sigue siendo el mismo. El control de inclinación es análogo al control de balanceo. El diferencial de empuje entre las hélices delantera y trasera hace que el hexacopter se balancee; si el empuje aumenta en las hélices traseras y disminuye en las hélices delanteras, el hexacopter se lanza hacia adelante. El control de guiñada se logra equilibrando los pares de rotación de la hélice en sentido horario con los pares de rotación de la hélice en sentido antihorario. Al girar las hélices en sentido antihorario más rápido que las hélices en sentido horario (o viceversa), la reacción neta opuesta en el hexacopter induce una rotación en guiñada [3].

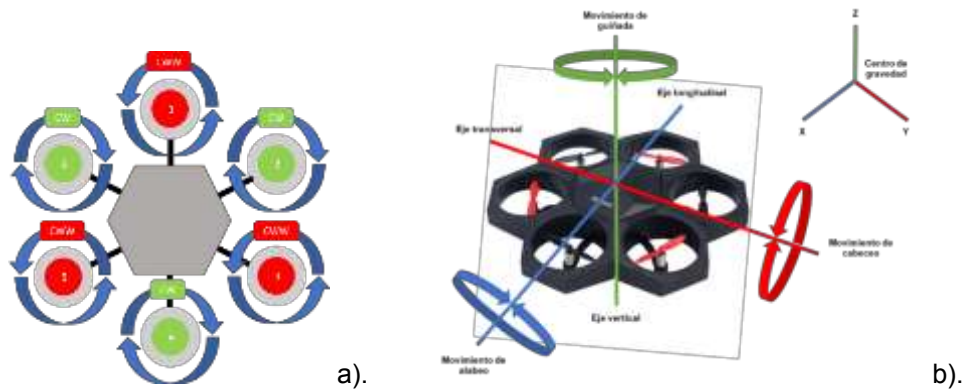


Figura 1. Comportamiento de rotores: a). Hélices CW y CCW. b). Posición de Ejes y movimientos.

El módulo HA es un dron que contiene 6 motores que pueden alternar hélices en la posición de ensamble. La conexión de los módulos de poder al bloque central es magnética, tienen polaridad de manera que los bloques de un mismo color no se puedan conectar donde debe ir uno del otro color. La Fig. 2a es la representación en posición para modo de vuelo, los rotores 1,3 y 5 pueden ser rotados 180° para contrarrestar la posición de los rotores 2,4 y 6. La Fig. 2b es el HA en configuración terrestre o agua. Cada módulo de poder puede instalarse en su puerto correspondiente en el módulo de controlador principal en 4 ángulos diferentes [3].

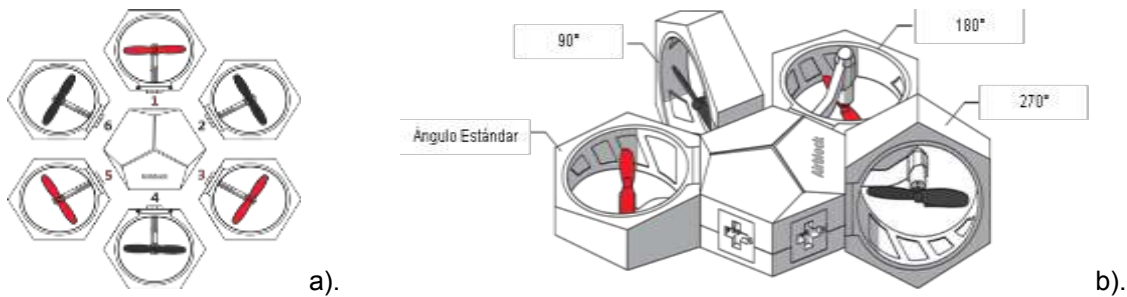


Figura 2: HA a). Configuración modo aire. b). Configuración modo tierra o agua.

El módulo de control principal Airblock es el equivalente al cerebro, es el ordenador integrado que recoge datos del sistema, velocidades, información de giroscopios y acelerómetros, y ordena los movimientos al HA (ver Fig. 3).

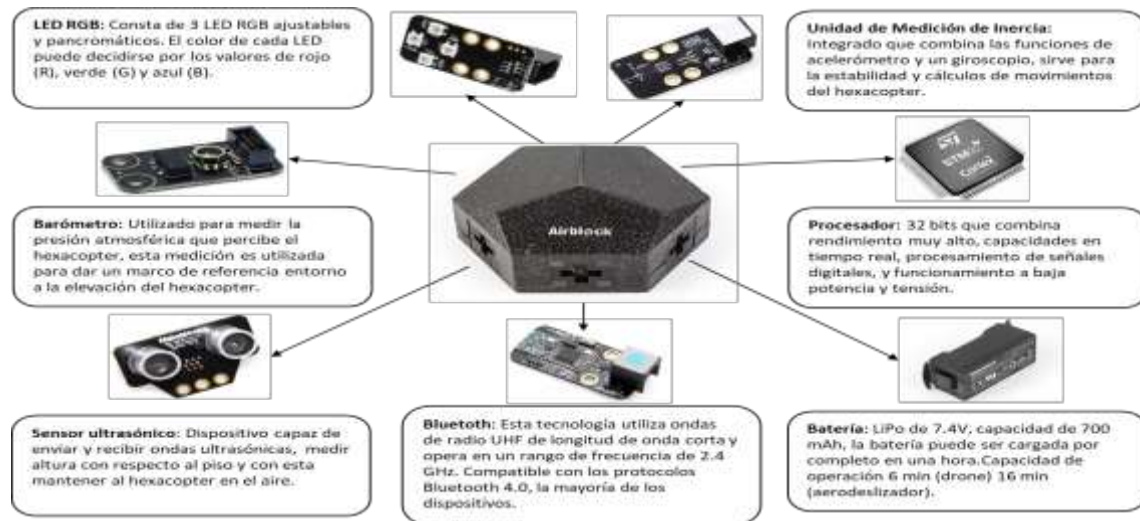


Fig. 3. Representación ilustrativa de los componentes electrónicos internos del HA [4].

PARTE EXPERIMENTAL

El HA se controla y programa con la app makeblock v3.5.0, es un entorno gráfico de programación basado en Scratch 2.0 Open Source Code, y facilita la programación y la creación de proyectos interactivos. La app makeblock es libre esta compuesta por el Lenguaje Visual y Modular Scratch, es compatible con Android y iOS, pero no es compatible con Windows, se tiene que emplear el programa bluestacks4 para realiza la comunicación entre el ordenador y el HA la cual se realiza por bluetooth. El hexacopter tiene acceso a través de la aplicación makeblock a varias secciones dentro de la categoría “juego”, se puede operar de manera manual en modos de operación aéreo, terrestre y acuático, (ver Fig. 4). En el modo “código” nos encontramos con los bloques de programación en el cual esta categorizados por color y funcionamiento que estos tienen en el cual se explica en la Tabla 1.

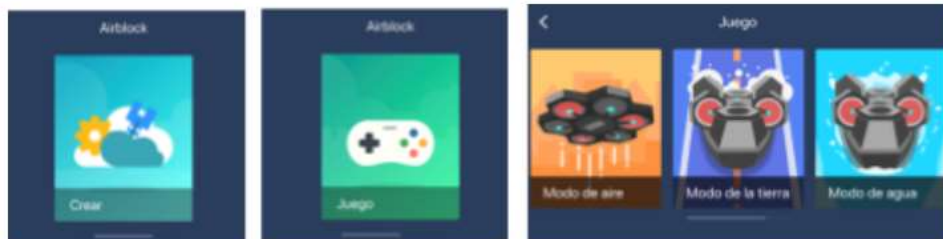


Figura 4. Aplicación Makeblock con opciones: Modo crear, juego aéreo, terrestre, acuático.

Categoría	Característica
Inicio	Controlador power on/off
Montar/desmontar	Controlador de ángulos, posición y aceleración
Apariencia	Controlador de elementos visuales
Eventos	Controlador de eventos
Sensores	Sensores (Interacción con el entorno)
Operadores	Operadores matemáticos, comparadores, etc.
Controlar	Condicionales, bucles, etc.

Tabla 1: Categoría de los bloques de programación.

Para utilizar el modulo en la parte experimental se consideran los dos modos que se presentan en la Fig. 5 para el modo aéreo y modo terrestre. El HA tiene la facilidad de montar y desmontar magneticamente los módulos de poder, es posible que en el momento de utilizar la forma aérea no aterrice de forma adecuada y se separen las piezas. Sin embargo, se vuelven a unir para seguir trabajando.



Figura 5. Configuración del HA: a).modo de operación aéreo y b).modo de operación terrestre/acuático.

Al tener la aplicación de montar y desmontar los 6 módulos de poder, al momento de sufrir alguna caída inesperada o al configurar para algún modo de trabajo pueden ser adaptados magnéticamente sin ningún problema. El equipo queda configurado de dos formas para su programación, se plantea una trayectoria en forma de cuadro (ver Fig. 6) con el señalamiento de secuenciainicial y final de 1 a 4.

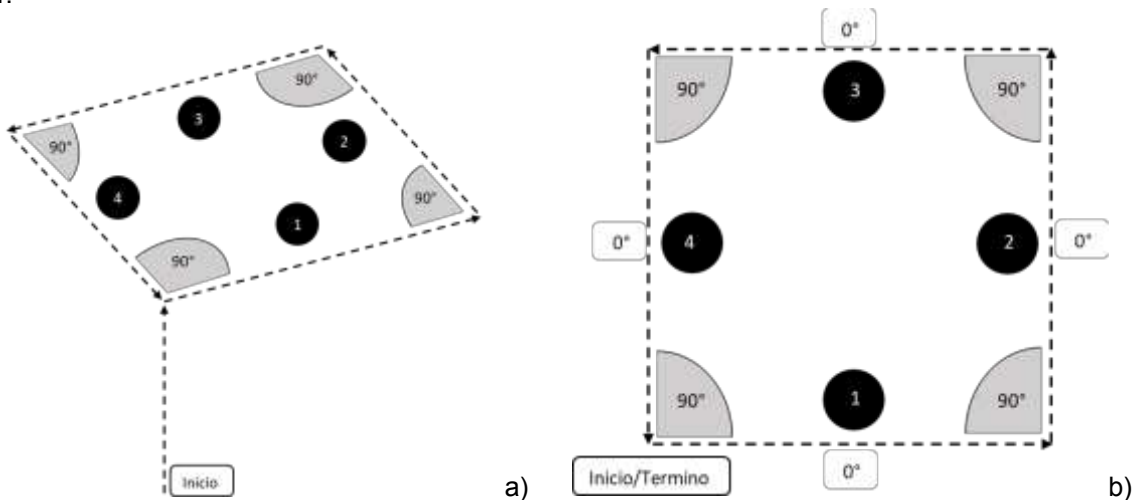


Figura 6. Trayectoria de trabajo para a). modo aire, b). modo terrestre.

Programación modo aéreo

La programación de las secuencias de vuelo contemplan los siguientes pasos básicos de izquierda a derecha: encender/apagar, aterrizaje, ascenso/descenso, inclinación, información de batería, balanceo e información de trayectoria.

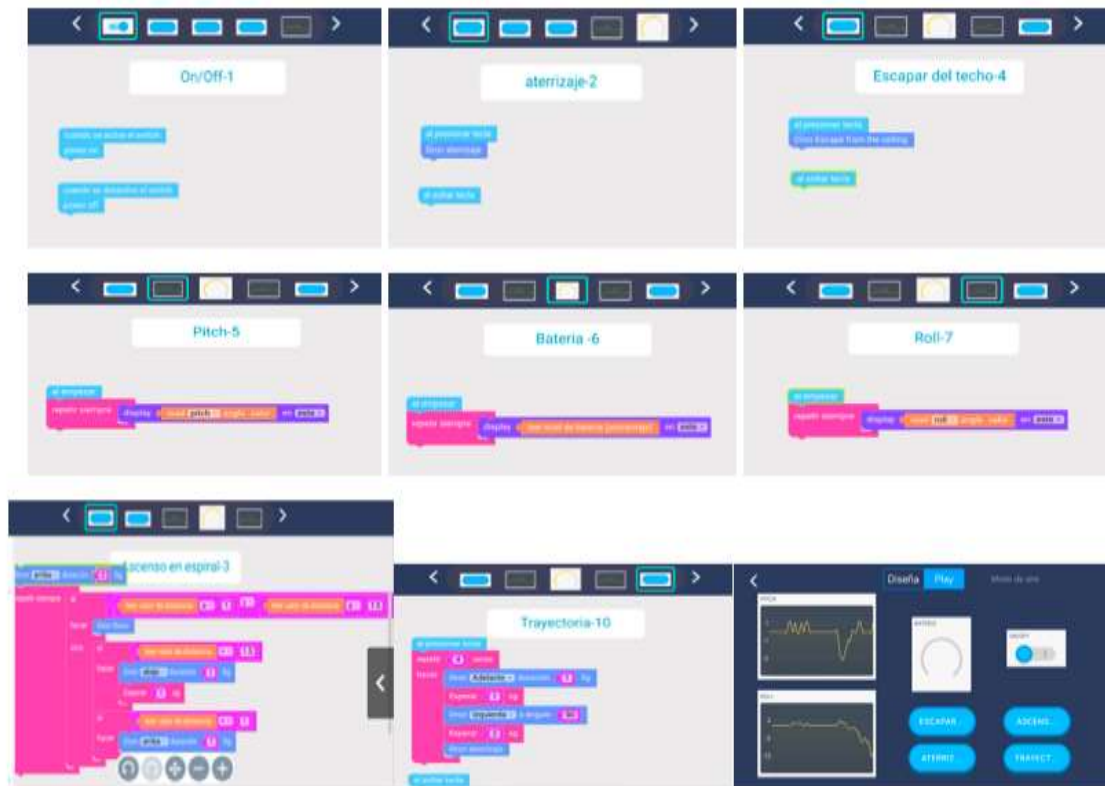


Figura 7: Interfaz y programación de la trayectoria aérea.

Programación modo terrestre

Las secuencias del modo terrestre de izquierda a derecha: encender/apagar, aceleración, información de trayectoria, información de batería y la interfaz.

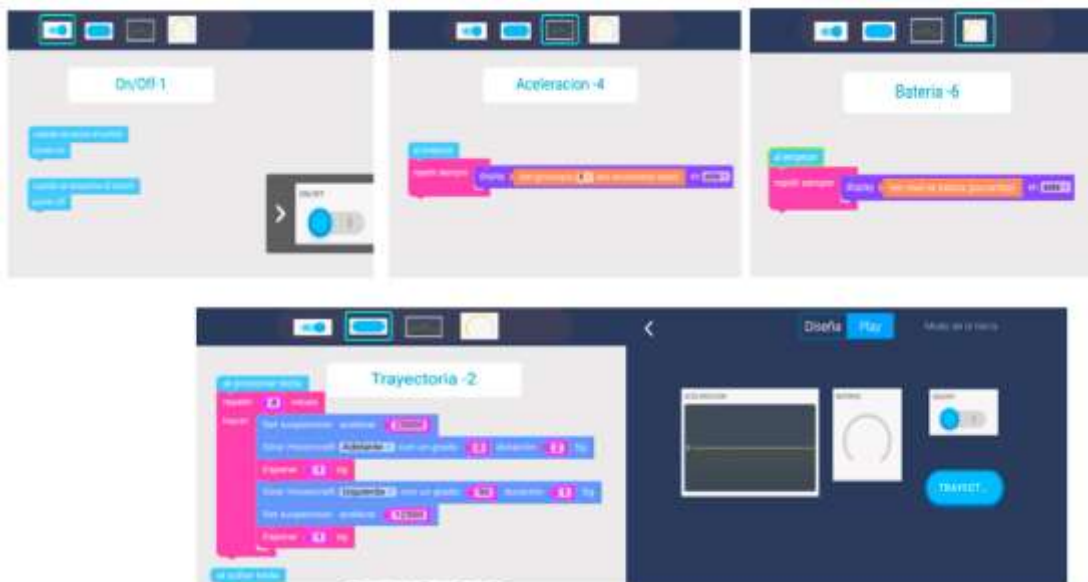


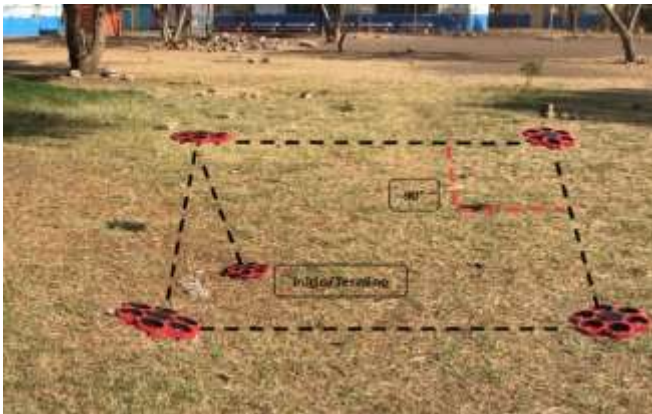
Figura 8: Interfaz y programación de la trayectoria terrestre.

En la Fig. 7 y 8 se observa el código elaborado en makeblock v3.5.0 . Se lleva el manejo de acciones de control para obtener los valores y movimientos adecuados para la ruta planeada.

RESULTADOS

La aplicación del HA puede generar acciones tanto de juego como programadas, en figuras anteriores se llevo la secuencia de comandos de facil entendimiento para generar una ruta básica en forma de cuadro, se anexan los tiempos que comprendieron cada trayecto.

Trayectoria modo aéreo

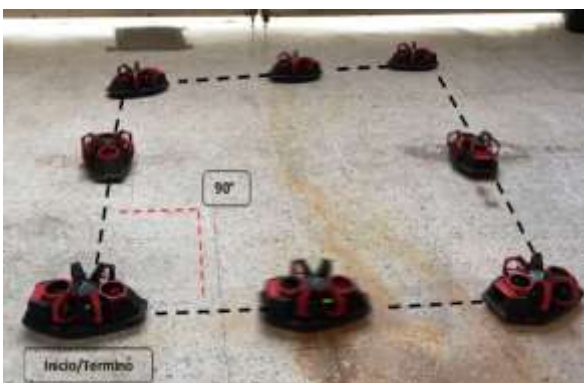


COMANDO	TIEMPO
Ascender	3s
1er Desplazamiento horizontal	2s
Giro de 90°	2s
2do Desplazamiento horizontal	2s
Giro de 90°	2s
3er Desplazamiento horizontal	2s
Giro de 90°	2s
4to Desplazamiento horizontal	2s
Giro de 90°	2s
Total	20s

Figura 9: Tiempo total de la trayectoria ejecutada.

El hexacopter puede despegar de forma autónoma en una posición fija con algunas desviaciones causadas por la turbulencia del aire y errores en la estimación de la posición y la velocidad. Los vuelos son más estables cuando se encuentra en un ambiente controlado o con poca turbulencia de aire. El controlador horizontal mantiene la posición estimada dentro de un rango aceptable de manera estable. La parte derivada en el controlador de velocidad demostró ser un parámetro muy importante para la estabilidad, altitud de mantuvo entre 1-1.5 m.

Trayectoria modo terrestre



COMANDO	TIEMPO
1er Desplazamiento horizontal	3s
Giro de 90°	2s
2do Desplazamiento horizontal	3s
Giro de 90°	2s
3er Desplazamiento horizontal	2s
Giro de 90°	2s
4to Desplazamiento horizontal	3s
Giro de 90°	2s
total:	20s

Figura 10: Trayectoria ejecutada en modo terrestre/acuático.

El HA en el modo aerodeslizador puede presentar perturbaciones debido al tipo de suelo y el contacto de el mismo y resultar un derrape debido al suelo o la velocidad que lleve. Con la aplicación del estabilizador cada comando ejecutado tiene un tiempo de espera para que una vez ejecutar el comando anterior este lo pueda ejecutar una vez el aerodeslizador haya frenado y no tenga un efecto derrapante.

CONCLUSIONES

El HA es un módulo interactivo que ejecuta 3 modalidades de operación establecidas por el fabricante. Se pueden generar códigos en la programación de la aplicación móvil makeblock v3.5.0. Se presento el entorno gráfico de programación basado en Scratch 2.0 Open Source Code para trayectorias de vuelo y terrestre. En el modo aéreo, la programación de control en cascada ha demostrado funcionar de manera estable del sistema de circuito en cuadro. Debido a su liviandad, el hexacopter es altamente susceptible a corrientes de viento. Por esto, se debe operar en lugares cerrados donde pueda realizar correctamente su ejecución programada. Para el modo terrestre, el aerodeslizador puede alcanzar velocidades que afecte en los cambios la dirección del movimiento, no se debe operar sobre superficies rugosas o con objetos que dañen la estructura.

BIBLIOGRAFÍA

1. González M. "Tipos de drones: Los distintos tipos de drones que hay". 2020, <https://filmora.wondershare.com/es/drones/types-of-drones.html>
2. González M. "Tipos de drones: Los distintos tipos de drones que hay". <https://filmora.wondershare.es/drones/types-of-drones.html>
3. Ella M. Atkins. "Multicopter Aerodynamics: Characterizing Thrust on a Hexacopter". 2021. Sitio web: <https://www.jove.com/science-education/10469/multicopter-aerodynamics-characterizing-thrust-on-a-hexacopter>.
4. Makeblock. "Manual de Usuario: Aeronave programable 3-en-1". China: STEAM Education. 2017.

ESTUDIO DE LAS TRANSFORMACIONES DE FASE A LA TEMPERATURA INTERCRÍTICA EN UN ACERO TRIP FE-1.39SI-2.57MN-0.17C

Brenda Anahí Sandoval Reyes, Maribel Leticia Saucedo Muñoz, Ana Karen García Ramirez, Darío Alberto Sigala

ESIQIE-IPN

brendandanahi996@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se estudió el efecto que tienen las transformaciones de fase a la temperatura intercrítica en un acero TRIP con 1.39 por ciento de Si, 2.57 por ciento de MN y 0.17 por ciento de C. A partir de una placa proveniente de la industria automotriz que se ocupa para fabricar el chasis de los automóviles, se obtuvieron tres muestras más pequeñas que fueron tratadas térmicamente a tres distintas temperaturas, una de las muestras se templó desde los 750°C, otra fue calentada a 750°C y enfriada al aire. Todas las muestras se ensayaron por tensión y microdureza Vickers. El análisis microestructural se hizo por microscopía óptica, y microscopía electrónica de barrido, MEB, para conocer las fases presentes después de cada tratamiento térmico y la cantidad de cada una de ellas. De manera paralela se utilizó el software Thermo-Calc para conocer las fases presentes, porcentaje de austenita retenida, porcentaje de martensita en base a la composición química y temperaturas de los tratamientos térmicos. Así como el módulo TC-Prisma para modelar la cinética de precipitación de la austenita durante el enfriamiento. Encontrando que se formara entre un 7-15 por ciento de austenita retenida y de martensita durante los tratamientos térmicos, y ferrita-austenita-martensita y bainita como microestructuras principales. Del análisis de resultados se comprueba que al enfriar desde la temperatura intercrítica se promueve una microestructura de austenita retenida y martensita en una matriz de ferrita, lo que promueve un endurecimiento superior sin perder ductilidad y que la austenita retenida se transforma en martensita cuando es expuesta a un esfuerzo externo, incrementando así su resistencia.

INTRODUCCIÓN

La generación de nuevos materiales como los aceros de alta resistencia permite lograr principalmente tres objetivos que las automotoras se plantean en la actualidad:^{1,2} reducir el espesor de la lámina, lo que implica disminuir costos, una mayor ligereza de los automóviles, generando así una menor cantidad de CO₂ emitido en cada viaje.

A pesar de que en la actualidad un automóvil este compuesto de diversos materiales como aceros, aluminio, plásticos y vidrio. El acero sigue representando el 70% de la constitución de un automóvil, por lo que la ingeniería ha incorporado a la carrocería los llamados aceros de alta resistencia. Estos brindan mayores propiedades mecánicas de resistencia principalmente, sin sacrificar su plasticidad gracias a los elementos de aleación que lo conforman.

Dentro de los aceros de alta resistencia se encuentran los aceros TRIP (Transformation-Induced Plasticity), los cuales resultan muy adecuados durante el proceso de estampado, ya que presentan una buena distribución de los esfuerzos,³ y al mismo tiempo una alta resistencia utilizándose principalmente en piezas de estructura y seguridad.

Los aceros TRIP tienen la característica principal de estar conformados por una microestructura combinada de austenita retenida en una matriz de ferrita, donde la cantidad de austenita retenida generada durante el tratamiento intercrítico será fundamental durante su desempeño mecánico.

Este tipo de aceros, dentro de los aceros de alta resistencia, cuenta con la cualidad de tener una buena relación de resistencia mecánica y capacidad de deformación, gracias a que la matriz ferrítica le brinda ductilidad y la austenita retenida, bainita y martensita que son posibles de promover durante el o los tratamientos mecánicos posteriores a la laminación, dan una alta resistencia mecánica.

En general los aceros TRIP presentan una composición química basada en elementos de aleación como el Si y Mn en bajas cantidades, sin embargo, durante los últimos años las investigaciones han demostrado que al incrementar las cantidades de ambos hasta sus límites máximos de ± 1.5 y 2.5 por ciento respectivamente, se promueve la generación de austenita retenida de manera más eficiente durante el tratamiento térmico.

Es por todo lo anterior, que el objetivo de este trabajo es estudiar la evolución microestructural de un acero TRIP, después de ser tratado térmicamente a distintas temperaturas intercríticas, y su efecto en las propiedades mecánicas. _

TEORÍA

Para comenzar a hablar de la función que desempeña la estructura completa de un automóvil en la seguridad de los pasajeros, hay que entender que esta se divide en dos partes:⁴

- Seguridad activa: Esta diseñada para prevenir accidentes. Se conforma por los neumáticos, sistemas de frenado (ABS, ESC, BAS, AEB), control de tracción, dirección, ISA, iluminación, entre otros.
- Seguridad pasiva: Los elementos que la conforman tienen como objetivo principal el reducir los daños que se pueden producir sobre los pasajeros durante un accidente. Aquí se ubica el cinturón de seguridad de tres puntos (este elemento reduce nueve veces la probabilidad de muerte), bolsas de aire, estructura de deformación programada (modulo trasero, delantero y habitáculo), ROPS, reposacabezas, sistemas de retención infantil, ventanillas, etc.

Sabiendo esto, toda la carrocería de automóvil, la cual está conformada por el chasis y el bastidor⁵ es quizás el elemento más importante de la seguridad pasiva. Años antes esta estructura estaba fabricada de manera que fuera rígida y sin deformación haciendo que al haber una colisión frontal, esta se desplazara completamente hacia el interior de habitáculo, ver figura 1(a), actualmente el chasis es autoportante, es decir, es una estructura metálica envolvente constituida por la unión de elementos de chapa de diferentes formas y espesores, es decir, una caja resistente que a su vez se soporta a sí misma y a los elementos mecánicos que se fijan sobre ella.

Este cambio en los modos de producción ha hecho que la seguridad de los pasajeros y las probabilidades de sobrevivir a un accidente catastrófico se incrementen, ya que la carrocería ahora tiene a absorber la energía, distribuirla a toda la estructura y de ser necesario, compactarse mediante un mecanismo conocido como deformación programada, ver figura 1(b).



Figura 1. Comparación de la evolución del chasis en dos vehículos. (a) vehículo antiguo, (b) vehículo nuevo.

Los automóviles están divididos en tres zonas principales, hablando en términos de resistencia y deformación, cada una de ellas cumple una función al momento de exponerse a un impacto. La figura 2 muestra esta clasificación:

1. Modulo trasero: abarca la zona de la cajuela hasta el neumático trasero.
2. Habitáculo: es esencialmente el área que salvaguarda a los pasajeros.
3. Modulo delantero: lo compone toda la zona del motor.

El uno y tres deben ser zonas deformables, capaces de absorber la máxima cantidad de energía generada en un choque, sacrificando todos los elementos de la periferia del habitáculo. De esta manera se consigue retener o frenar la energía liberada en el impacto para evitar la transmisión de cargas extremas a los ocupantes del vehículo.



Figura 2. Zonas de seguridad del chasis de un automóvil.

Así, cada uno de los elementos de las distintas zonas se comporta de distinta manera con la función de liberar la energía producida en la colisión lo antes posible. De esta manera se consigue que el habitáculo se transforme en una celda de seguridad.

ACEROS DE ALATA RESISTENCIA Y LOS ACEROS TRIP

Como ya se dijo, los aceros avanzados, pasaron a ser el foco de investigación en la industria automotriz. Los primeros aceros de alta resistencia eran aceros dulces a los cuales se les incrementaba su temperatura de laminado para incrementar así su resistencia mecánica, aunque contaban con una baja formabilidad.^{6,7}

Posteriormente se estudió que los aceros reducidos en frío también brindaban una buena resistencia mecánica, al volverse muy duros por su proceso de conformado, y que eran útiles cuando la aplicación no requería un alto grado de formabilidad. Este tipo de aceros sigue siendo popular dentro de la industria de la construcción.

En los años subsecuentes el énfasis que se le dio al desarrollo de estas aleaciones fue hacer más estrecha la relación entre la resistencia y la deformación, con la finalidad de obtener aceros que cumplieran con los dos parámetros. La figura 3 muestra como existe una relación entre el valor de r y la resistencia a la tensión para cada tipo de acero al inicio de estas investigaciones.^{7,8,9}

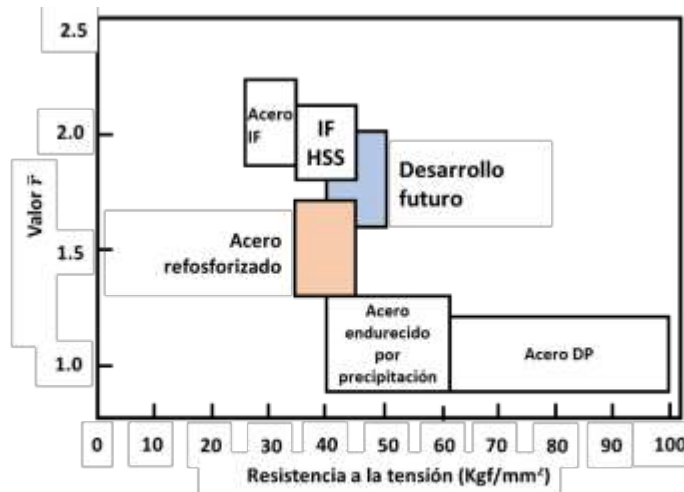


Figure 1.61 Relationship between r value and tensile strength (After Takechi⁹⁶)

Figura 3. Relación entre el factor de deformación r y la resistencia a la tensión⁹

Años después y con la incorporación de más tipos de aceros de alta resistencia, la relación de estas dos propiedades ahora se puede observar como se muestra en la figura 4, donde cada tipo de acero presenta una relación distinta de resistencia-elongación:³

- Aceros de doble fase (DP)
- Aceros de fase compleja (CP)
- Aceros de plasticidad inducida por transformación (TRIP)
- Aceros de plasticidad inducida por hermanamiento (TWIP)
- Aceros martensíticos (MS)

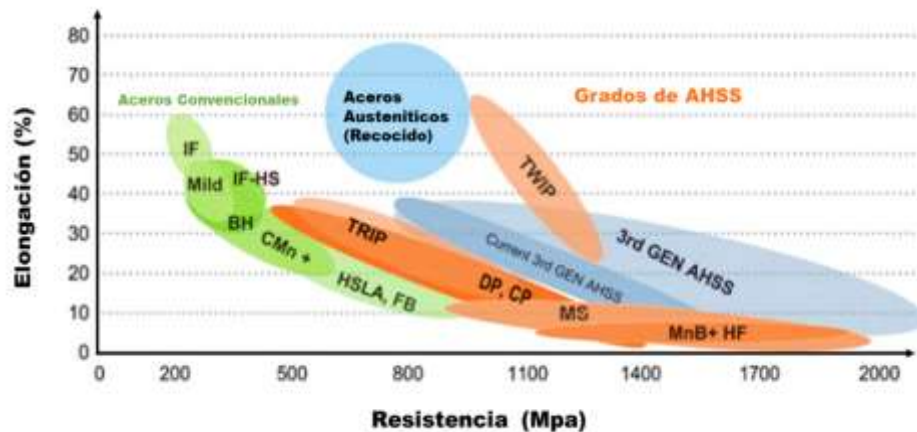


Figura 4. Grafica de distribución de los aceros avanzados por su relación resistencia-elongación.

ACEROS TRIP

Los aceros de plasticidad inducida por transformación o TRIP forman parte de los aceros de alta resistencia. Son aleaciones basadas en el contenido de carbono y manganeso, aunque usualmente también contienen altos porcentajes de silicio o aluminio para inhibir la precipitación de carburos.^{10, 11} Estos tienen la característica principal de estar constituidos por una microestructura combinada de austenita retenida en una matriz de ferrita, donde la cantidad de austenita retenida generada durante el tratamiento intercrítico será fundamental durante su desempeño mecánico. También puede contener diferentes cantidades de martensita y/o bainita, pero es esencial contener al menos un 5 por ciento de austenita retenida, como lo muestra la figura 5. Poseen una resistencia máxima de alrededor de 800 N/mm².

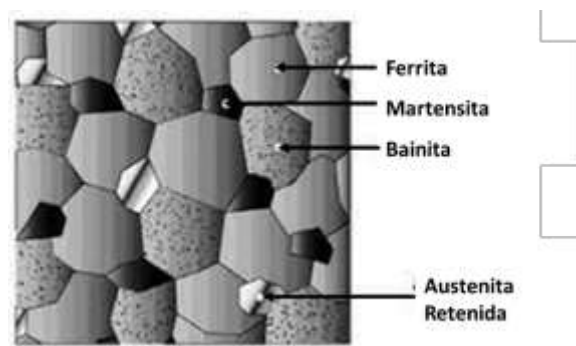


Figura 5. Esquema ilustrativo de la microestructura típica de un acero TRIP.

Algunas de las características de estos aceros son:

- Alta capacidad de formación
- Muy alta resistencia
- Resistencia a la fatiga

Los aceros que poseen una microestructura bainítica o martensítica van a aportar una alta resistencia mecánica, sin embargo, también disminuyen significativamente la ductilidad del material. A pesar de ello, el uso de aceros con una microestructura bainítica en su totalidad aún sigue utilizándose para algunas aplicaciones más robustas.⁹ Otras ocasiones se busca a partir de un tratamiento térmico promover dichas microestructuras, ya que elevan la resistencia mecánica a un valor cercano a los 1600 N/mm².

Los beneficios que aportaba la utilización de los aceros TRIP fue reconocida originalmente en aquellos que poseían una composición química rica en cromo, níquel y molibdeno; pero es bien sabido que aquellos que contienen manganeso y silicio o aluminio también presentan un buen desempeño, además de requerir elementos de aleación de menor costo.

Tanto los aceros TRIP como los aceros de doble fase con resistencias de alrededor de 600-800 N/mm², son producidos en condiciones de laminación en caliente, controlando sus condiciones de enfriamiento de acuerdo con su composición química, pero también pueden ser obtenidos a partir de la laminación en frío con un recocido posterior a fin de lograr una resistencia superior. En ambos casos este enfriamiento debe ser continuo y lento a fin de generar la microestructura necesaria. Este recocido es similar para ambos aceros, con la diferencia principal que en los aceros TRIP el enfriamiento se hace hasta una temperatura más baja, cercana a los 400 °C (temperatura de austenización) con el objetivo de lograr las transformaciones de fase necesarias. Los cambios microestructurales y sus efectos finales en las propiedades dependen de la precisión del conocimiento de la composición química y el procedimiento utilizado.

APLICACIÓN DE LOS ACEROS TRIP EN LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ

Inicialmente las carrocerías eran de aceros convencionales, aceros dulces, no aleados, con bajo contenido en carbono y laminados en frío, aceros con una gran capacidad de embutición, a los que era fácil de darles la forma adecuada a la pieza, aunque con unos espesores considerables al tener el material una resistencia no muy elevada.

Debido a la necesidad de crear estructuras más resistentes, sobre todo frente a colisiones laterales, se empezaron a utilizar los aceros de muy alta resistencia (aceros DP, CP y TRIP). Actualmente las carrocerías se diseñan con una especie de arco o celda de seguridad, que consiste en utilizar aceros de ultra alta resistencia para las piezas estructurales del habitáculo, tales como pilar B, pilar A inferior y superior, estribo y travesaño salpicadero y travesaño asiento. Algunos de estos componentes como el pilar B, están fabricados de aceros TRIP, como se muestra en la figura 6.

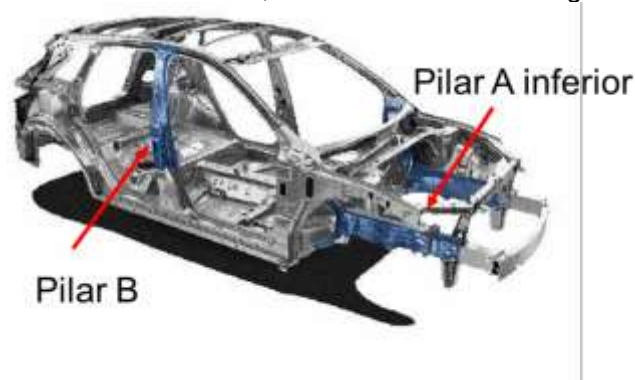


Figura 6. Ubicación del pilar A y B fabricados con aceros TRIP, en un chasis de automóvil.

La capacidad de consolidación de estos aceros es importante, lo que favorece la distribución de las deformaciones, y, por lo tanto, le asegura una buena estampación, así como ciertas características sobre piezas, en particular el límite elástico, que son mucho más altas en comparación con otros aceros de alta resistencia.

AUSTENITA RETENIDA

Dentro de las transformaciones alotrópicas de Fe durante el enfriamiento, la austenita se obtiene del enfriamiento del Fe δ para llegar a Fe γ , como se observa en la figura 7. Esta microestructura muchas

veces es utilizada en la industria para dar paso a otras transformaciones por medio de tratamientos mecánicos, térmicos, termo-mecánicos, etc ya que no es estable a temperatura ambiente. Sin embargo, tiene como característica ser blanda y dúctil por lo que la mayoría de las operaciones de forja y laminado de aceros se efectúa a aproximadamente los 1100 °C, cuando la fase austenítica es estable.¹⁰

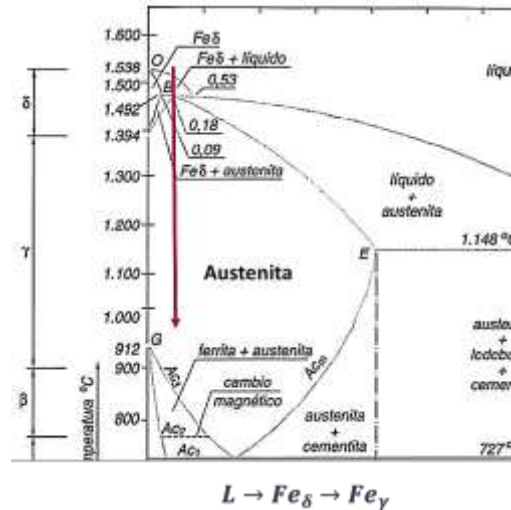


Figura 7. Cambios alotrópicos del Fe hasta la obtención de austenita.

Al ser la austenita una morfología no estable a temperatura ambiente, la tecnología ha encontrado que con la adición de elementos de aleación del tipo gammagénos, la curva de transformación se desplaza hacia la derecha, permitiendo anclar esta morfología y aprovechar sus propiedades a temperatura ambiente, con la capacidad de poder transformarse en martensita con la aplicación de esfuerzos externos, como sucede con los aceros TRIP. La figura 8 muestra la micrografía de un acero con austenita retenida en su microestructura.

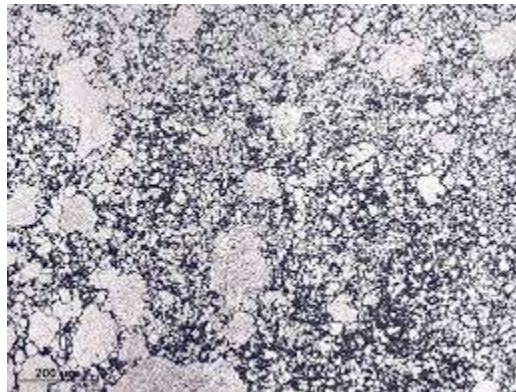


Figura 8. Microestructura de martensita con austenita retenida.

TRANSFORMACIÓN DE AUSTENITA-MARTENSITA

Como se observa en la figura 9 la transformación martensítica implica una deformación en un plano invariante con un gran componente de corte. Muchas veces debido a tal deformación la energía es lo suficiente para propiciar esta transformación incluso por arriba de la línea de M_s . La figura 9 muestra como la transformación martensítica está directamente influenciada por los esfuerzos externos e internos y la temperatura.

Se puede observar en la figura el esfuerzo crítico requerido para causar la transformación aumenta linealmente con la temperatura en el rango de temperatura de M_s a $M_s \sigma$. Además, la tensión crítica en esta región de temperatura es menor que el esfuerzo de fluencia (por deslizamiento) de la

austenita estable y la transformación se produce por nucleación heterogénea en los mismos sitios de nucleación que son responsables de la transformación al enfriarse por debajo de la temperatura de M_s .

Conociendo esto, se puede estimar la temperatura máxima hasta la cual la austenita puede transformarse en martensita por el mecanismo asistido por esfuerzo, el esfuerzo necesario para iniciar la transformación de martensita es lo suficientemente grande como para causar deformación plástica (por deslizamiento) en la austenita. A temperaturas superiores a M_s , la transformación de martensita tiene lugar en una austenita deformada plásticamente en nuevos sitios de nucleación generados por deformación plástica y en esfuerzos que son considerablemente más bajos de lo que se espera de una simple extrapolación de la línea de temperatura de tensión crítica entre M_s y M_s .

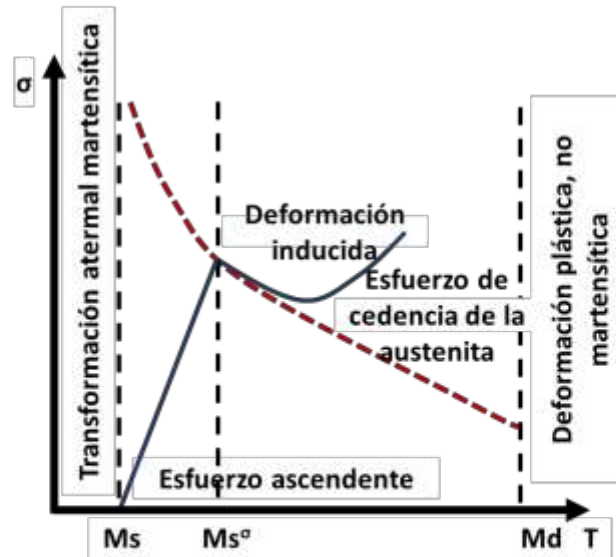


Figure 8.11 Schematic illustration of the influence of temperature and applied stress on martensite transformation mechanisms [93,94]. The solid line indicates the critical stress required to initiate martensite transformation at temperatures above M_s .

Figura 9. Esquema de la influencia de la temperatura y el esfuerzo aplicado en la transformación martensítica.

Aplicando esto a los aceros TRIP, se puede decir que sus propiedades mecánicas se deben principalmente a la transformación inducida por deformación de austenita retenida metaestable en martensita como se describió anteriormente. Sin embargo, el efecto beneficioso de esta transformación depende en gran medida de la resistencia de la austenita retenida a la misma o de la “estabilidad” de la austenita que puede entenderse como la falta de energía de activación necesaria para la transformación. Si la estabilidad es demasiado baja o alta, no se puede aprovechar el efecto beneficioso de la transformación constante durante el conformado. Por lo tanto, no es sólo la cantidad de austenita retenida, sino también su estabilidad a la deformación plástica, lo que es responsable de una buena formabilidad.

IMPORTANCIA DE LA TEMPERATURA INTERCRÍTICA EN LOS ACEROS TRIP

Tanto para los aceros de doble fase como los aceros TRIP se vuelve de gran importancia la temperatura a la cual sea llevado a tratamiento ya sea por un recocido intercrítico o continuo, ya que de esta depende el desarrollo de las estructuras necesarias para el desempeño mecánico que se busca. A la mayor temperatura de recocido las dos fases principales, ferrita y austenita, se comportarán de manera distinta; ya que conforme incrementa la temperatura del tratamiento térmico

la proporción de ferrita disminuirá y al mismo tiempo tendrá menores cantidades de carbono disuelto, pasando a la fase austenítica.

Aquí el Si y el Mn ayudan a expulsar el C de la ferrita, por lo que la austenita tendrá un alto porcentaje de C pero será pobre en Si y Mn. Algunos autores como Hofer y colaboradores¹¹ han comprobado a partir de análisis puntuales como estos tres elementos van cambiando de concentración dependiendo de la zona a analizar. En su estudio en 2015, Hofer y colaboradores¹¹ caracterizaron una muestra metálica a distintos tiempos de recocido con el objetivo de observar la evolución microestructural de la bainita y la austenita, obteniendo que las zonas claras eran ricas en C a diferencia de las zonas oscuras, como se puede ver en la figura 10.

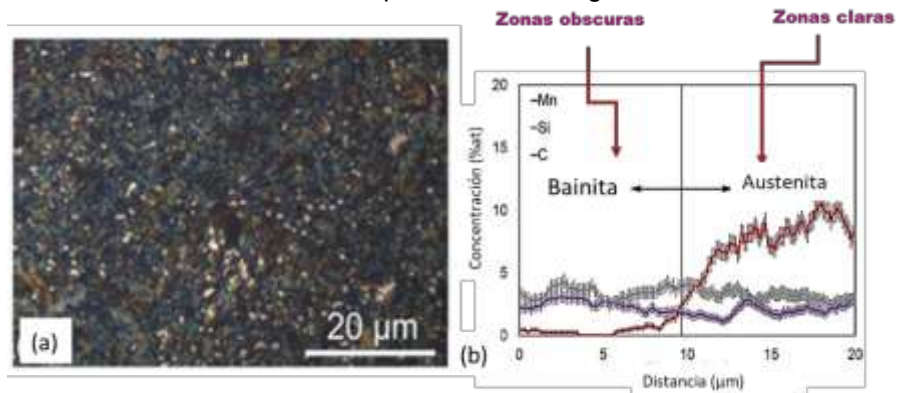


Figura10. (a)Microestructura encontrada a 350°C x 1000s, (b) Movimiento de los átomos a las fases presentes.

También se debe considerar que el rango de enfriamiento en el tratamiento va a provocar que la fracción volumen de austenita disminuya, mientras que el contenido de carbono incrementa. La figura 11 muestra como entre más lento se haga el enfriamiento, mayor contenido de carbono. En algunos casos, el carbono que se difunde en la austenita puede no alcanzar el equilibrio y, por lo tanto, puede desarrollar una capa rica en carbono, justo dentro de la superficie de la austenita.⁹

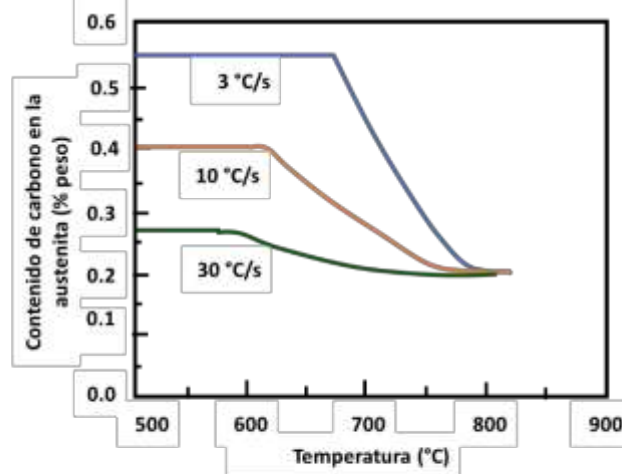


Figure 1.85 Evaluation of carbon enrichment in untransformed and during cooling from 825°C. After Minote et al.¹³⁶

Figura11. Evaluación del contenido de C en la austenita para distintas velocidades de enfriamiento desde los 825°C.

A la temperatura de austemperizado es común que una parte de la austenita se transforme de manera gradual en bainita, dejando una mezcla de bainita y austenita retenida residual. Esta bainita se puede presentar en forma de placas o a lo largo de los límites de grano de la ferrita.

Dado que los aceros TRIP poseen como característica principal la presencia de austenita retenida en la microestructura, es importante conocer cómo es posible formarla a partir de un tratamiento térmico. Cuando el tiempo de retención y la temperatura de templado son relativamente bajos, el carbono en la austenita permanece en su valor inicial relativamente bajo formado al enfriarse. Esto provoca que, al enfriarse todavía más, llegando a valores de temperatura ambiente, gran parte de esta austenita se transforme en martensita, ya que la temperatura de M_s se encuentra por encima de la temperatura ambiente, pasando obligatoriamente por esta zona de transformación.

A medida que avanza la transformación en bainita, el carbono rechazado de la bainita se acumula en la austenita con el resultado de que su temperatura M_s eventualmente disminuye por debajo de la temperatura ambiente. Entonces, la austenita es estable a temperatura ambiente y no se forma martensita al enfriarse. Por tanto, la fracción volumétrica de austenita retenida a temperatura ambiente aumenta. Por otro lado, si la fracción de volumen de austenita retenida a temperatura ambiente disminuye porque una mayor parte se habrá transformado en bainita antes del enfriamiento final.

En este tipo de procesamientos el silicio tiene un papel importante como inhibidor de carburos en la austenita, por su alto contenido de C, además de conducir a la retención de una fracción volumétrica más alta de austenita con un contenido de carbono mayor, asegurando así que no se convierta en martensita conforme va enfriando.

Cuando la austenita retenida a temperatura ambiente se deforma, por ejemplo, durante el conformado, existe una tendencia a que se transforme en martensita, como se indicó anteriormente, y este es el proceso que conduce a la alta tasa de endurecimiento por trabajo y consecuentemente altos valores de deformación uniforme. Algunos autores han encontrado que regiones de austenita del mismo material, pero con distinta cantidad de carbono, presentan comportamientos diferentes frente a la deformación. Por un lado, la austenita con un contenido de carbono muy alto resulta más estable, a diferencia de la que tiene niveles más bajos, transformándose completamente en martensita bajo la acción de cantidades relativamente pequeñas de esfuerzos.

Para efectos de comportamiento mecánico, ninguna de las dos condiciones resulta en la más óptima; por lo que la debe tener una estabilidad intermedia para que se transforme gradualmente en todo el rango de deformación necesario. En la figura 12 se ilustra un ejemplo del efecto del tiempo de retención en la región bainítica sobre la acumulación de carbono en la austenita retenida para un acero que contiene 0,14% de carbono, 1,94% de silicio y 1,66% de manganeso. Se ve que al mantener a 400 ° C durante 10 segundos, 1 minuto u 8 minutos conduce a una acumulación progresiva de carbono en la austenita retenida.

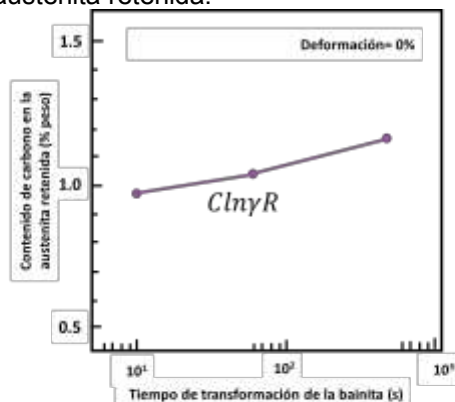


Figure 1.90 Effect of bainite transformation time at 400°C on C content in retained austenite (After Itami et al.¹⁴¹)

Figura12. Efecto del tiempo de transformación bainítica a 400 °C sobre el contenido de C en la austenita retenida.

Tal como se puede apreciar en la figura 13, no solo existe un incremento en la cantidad de carbono en la austenita retenida conforme se va transformando la bainita, esta transformación también tendrá un efecto directo en las propiedades mecánicas. Se muestra que gran parte de la austenita retenida se transforma en una prueba de tracción durante el primer porcentaje de deformación, mientras que la austenita retenida después de la retención de 8 minutos se transforma más gradualmente en una deformación superior al 30%.

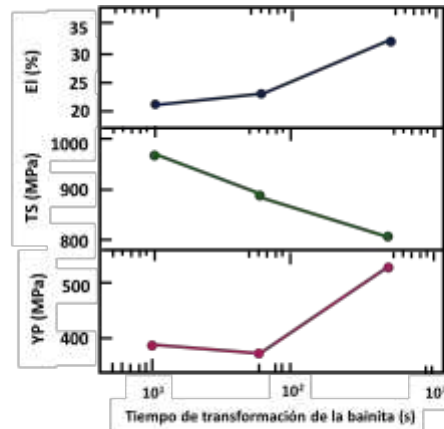


Figure 1.93 Relationship between bainite transformation time and tensile properties (After Itami et al.¹⁴¹)

Figura13. Relación entre el contenido de C en la austenita retenida y las propiedades mecánicas en tensión.

THERMO CALC

Thermo-Calc es un software que sirve para cálculos de propiedades termodinámicas muy amplio, al proveer de resultados no solo en función de temperatura, presión y composición, sino también de contribución magnética, estructuras cristalinas, defectos cristalográficos, tensión superficial, deformaciones mecánicas, potenciales electroquímicos, etc.

Este programa hace los cálculos de diagramas de fases de aleaciones multicomponentes, basado en algoritmos y bases de datos establecidas por Calphad. Dichos cálculos se pueden hacer dentro o fuera del equilibrio, lo que permite hacer simulaciones de procesos reales, como es el caso de la soldadura, que no ocurren dentro de un equilibrio termodinámico, ayudando a predecir fases y precipitados a partir de los datos que se le introduzcan al software.¹²

METODOLOGIA NUMERICA

Mediante el software Thermo-Calc® versión 2020, se hizo un análisis de la aleación con la que se trabajó. Para ello se utilizaron dos bases de datos del mismo sistema, TCFE10 y MOBFE5, así como los rangos de temperatura y la composición química de la placa, obteniendo distintos diagramas que serán analizados posteriormente en la sección de análisis de resultados.

Adicionalmente se siguió una metodología numérica para el módulo TC-Prisma utilizando las mismas bases de datos anteriores, con el objetivo de conocer la precipitación de la austenita en el acero y las temperaturas de A3 y A1 que posteriormente nos ayudarían a diseñar los tratamientos térmicos.

METODOLOGIA EXPERIMENTAL

La tabla 1 muestra la composición química de la placa de acero TRIP que fue utilizada para tratarla térmicamente, de aquí se obtuvieron las probetas para el ensayo de tensión, dureza, y metalografía.

Tabla 1. Composición química del acero TRIP

Elemento	% Peso
C	0.17
Si	1.399
Mn	2.572
P	0.007
S	0.001
Al	0.023
Ti	0.024
Nb	0.001
Cu	0.012
Mo	0
V	0.001
B	14 ppm
N	31 ppm
Fe	Balance

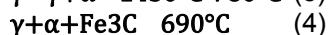
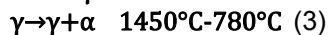
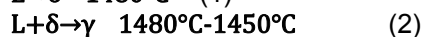
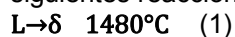
Para ello las muestras se dibieron en tres lotes: el material original, las muestras llevadas al un calentamiento isotérmico a 750°C por 30 min en un horno de tubo y posteriormente templadas en agua y las muestras calentadas a la misma temperatura y enfriadas al aire (normalizadas).

Una vez realizados los tratamientos térmicos, fueron ensayadas y analizadas, obteniendo los resultados que se presentan en la siguiente sección.

RESULTADOS

FASES EN EQUILIBRIO POR THERMO-CALC

La figura 14 corresponde al diagrama de cantidad de fases en equilibrio vs temperatura calculado por Thermo-Calc. Aquí se observa como conforme disminuye la temperatura se lleva a cabo las siguientes reacciones:



De acuerdo con los tratamientos propuestos para poder obtener una microestructura de 50% ferrita-50% austenita, se debe llevar el acero a una temperatura intercrítica de 755 °C aproximadamente, y de 60% austenita-40%ferrita, a 780 °C.

También se observa en el diagrama como si se deseara obtener Fe₃C, se debe hacer a muy bajas temperaturas y la cantidad es muy poca, esto se debe a que el Mn ayuda a expulsar el C de la ferrita, y el Si ancla la fase ferrítica haciendo que el Fe no se difunda hacia otra fase. Ambos elementos en combinación hacen que, de acuerdo con este diagrama, sea mucho más sencillo obtener austenita aun a bajas temperaturas, que Fe₃C.

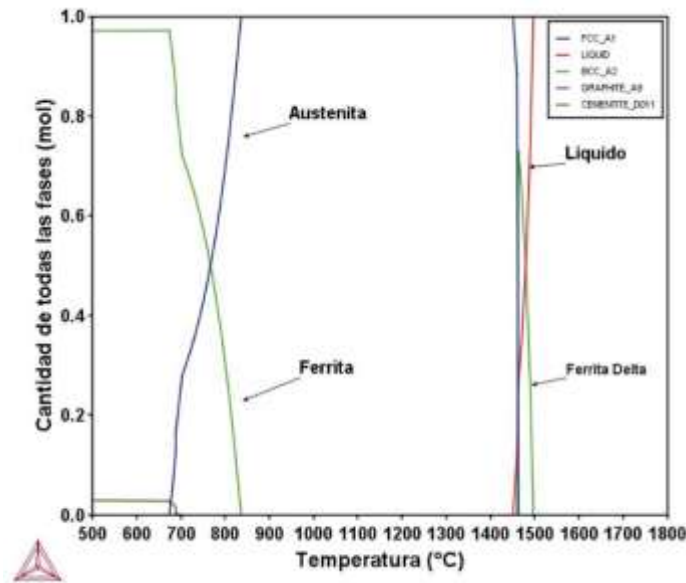


Figura14. Diagrama de fases presentes vs T.

DIAGRAMA TIEMPO-TEMPERATURA-TRANSFORMACIÓN (TTT)

El desempeño final de un componente esta dado por su relación composición química-microestructura-procesamiento, de este último y en este caso particular para la efectiva conservación de la austenita, va a depender su temperatura de calentamiento y el tiempo de enfriamiento.

La figura 15 muestra el diagrama Tiempo-Temperatura-Transformación obtenido para el acero de estudio, fue obtenido por el programa Thermo Calc. Aquí se muestra la evolución microestructural del acero conforme se lleve al enfriamiento. Se observa como de acuerdo con este diagrama, se tiene alrededor de 1 s para enfriar desde la temperatura intercrítica y evitar la transformación perlítica y conservar la fase austenita.

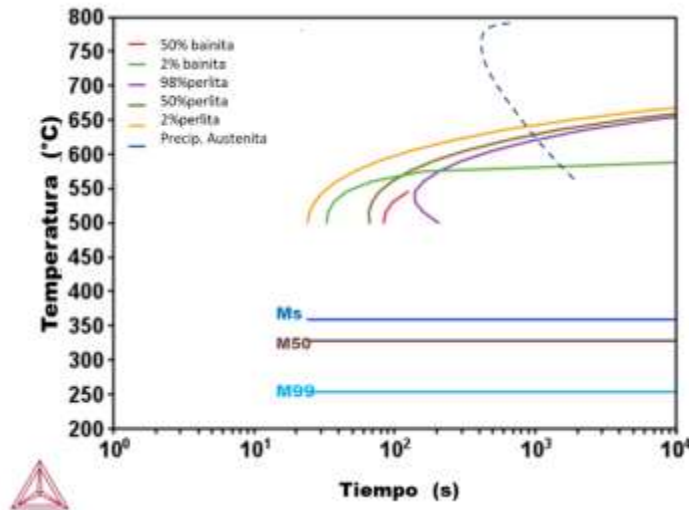


Figura15. Diagrama TTT generado por Thermo-Calc®.

TRANSFORMACIÓN MARTENSÍTICA

Adicionalmente se obtuvo por Thermo-Calc las curvas de total de porcentaje de martensita obtenidas para cada temperatura de tratamiento intercrítico seleccionada.

Este mismo procedimiento se hizo para las temperaturas de 750°C, 730°C y 720°C, las curvas obtenidas se muestran en la figura 16. Seleccionando como temperatura isotérmica 350°C para los tres casos.

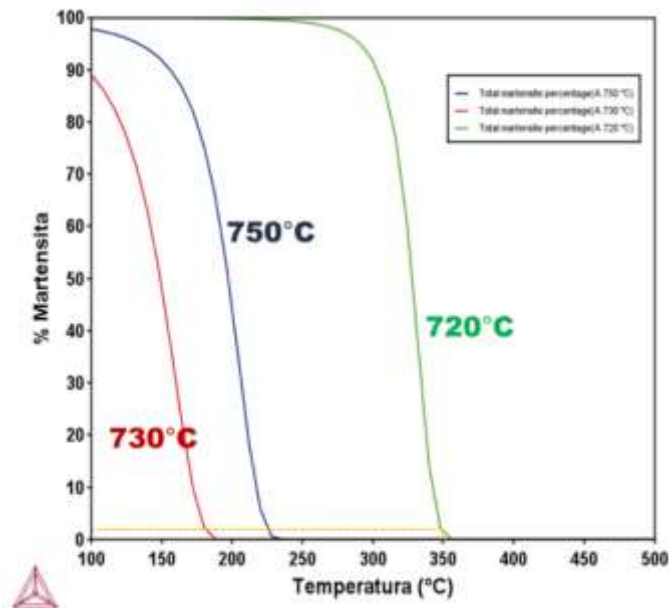


Figura16. Total de martensita desde tres distintas temperaturas de tratamiento.

GRAFICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN

La figura 17 muestran las gráficas esfuerzo-deformación ingenieril obtenidas para cada caso estudiado, mostrando como el material original y normalizado presentan la mejor relación de resistencia y deformación asegurando así que la cantidad de austenita retenida formada y la matriz ferrítica proporcionan suficiente cantidad de capacidad de deformación.

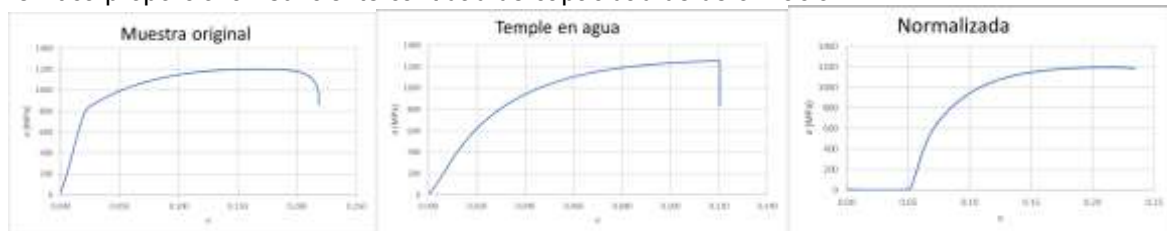


Figura 17. Graficas esfuerzo-deformación ingenieril.

CONCLUSIONES

1. Las propiedades de los aceros TRIP dependen de la composición química y del tratamiento térmico recibido.
2. La temperatura intercrítica es el principal factor que determinará la cantidad de austenita retenida que se encuentra en los aceros, dando como resultado un incremento en la resistencia máxima del material.
3. La simulación numérica sirve como una herramienta para predecir el comportamiento del material y seleccionar las mejores condiciones del tratamiento térmico.
4. La pérdida de la capacidad de deformación del acero se debe al tipo de enfriamiento recibido, conservando un mejor desempeño cuando es enfriado al aire (normalizado).

BIBLIOGRAFÍA

1. “Evolución de la industria automotriz en el mundo”, <https://www.semana.com/contenidos-editoriales/sobre-ruedas/articulo/evolucion-de-la-industria-automotriz-en-el-mundo/615747/> (25/02/2021 1:00)
2. Tisza, Miklós. Development of lightweight steel for automotive applications. [aut. libro] Zoia Duriagina y Sanjeev Kumar. Engineering Steels and high entropy-alloys. s.l. : IntechOpen, 2020.
3. “Tipos de aceros en las carrocerías”, <https://www.autocasion.com/actualidad/reportajes/tipos-de-aceros-en-las-carrocerias> (25/02/2021 1:56)
4. R. Radhakanta, S. Shiv Brat, “Automotive Steels: Design, Metallurgy, Processing and Applications”, Woodhead Publishing-Elsevier, 2017, pp. 2-5, 169-246.
5. “Sistemas de seguridad en el automóvil”, <https://www.aprendemergencias.es/seguridad-vial/sistemas-de-seguridad-en-el-veh%C3%ADculo/> (22/04/2021 15:38)
6. ¿Por qué al tener un impacto el coche se deforma más ahora que hace unos años?, <https://buscadorde talleres.com/blog/por-que-al-tener-un-impacto-el-coche-se-deforma-mas-ahora/> (22/04/2021 14:00)
7. D.T. Llewellyn, R. C. Hudd, “Steels: Metallurgy and Applications”, Third Edition, Butterworth-Heinemann publishing, 1998, pp. 137-167.
8. H. K. D. K. Bhadeshia, R. W. K. Honeycombe, “Steels: Microstructure and Properties”, Third Edition, Butterworth-Heinemann-Elsevier, 2006, pp. 155-167
9. “Austenita”, <https://www.ecured.cu/Austenita> (08/05/2021 20:00 hrs)
10. “Metalografía”, <https://www.feandalucia.ccoo.es/docu/p5sd8732.pdf> (14/05/2021 13:42 hrs)
11. C. Hofer, H. Leitner, F. Winkelhofer, H. Clemens, S. Primig, “Structural Characterization of carbide-free bainite in a Fe-0.2C-1.5Si-2.5Mn steel” (2015), Materials Characterization, Vol. 102, pp. 85-91.
12. Thermo-Calc software solutions”, <https://thermocalc.com/> (08/05/2021 13:00 hrs)

AMPLIFICACION Y PROPUESTA DE CONTROL ON-OFF DE UN RELVADOR HIBRIDO MONOFÁSICO PARA AUTOMATIZACIÓN RESIDENCIAL.

Miguel Roque Vasquez Hernández, Gerardo López Gómez, Alberto Gutiérrez Martínez, Tizoc López López, Manuel Eduardo Sánchez Solchaga.

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.
roque.vasquez@umich.mx.

RESUMEN-

El avance en la tecnología en elementos de switcheo para la Corriente Alterna (CA), avanzado mucho con los relevadores de estado sólido que son elementos semiconductores de electrónica de potencia, que para operar una correcta necesitan estar conectados siempre a CA, con una carga eléctrica mínima que permita su activación y además de una corriente de activación en el gatillo o compuerta (G), como es el caso de los SCR's y en los TRIAC's para tener un control ON-OFF, sin embargo, se pueden quedar en corto circuito por no tener una buena disipación de temperatura. En la industria y en el control de la electricidad en general se sigue utilizando los relevadores electromecánicos, donde su vida útil es corta por el desgaste en los planitos en los contactores e incluso se puede quedar pegado por el efecto de flameo en la generación de arco eléctrico la cerrase o al abrirse. La siguiente investigación reutilizar la aplicación y la efectividad de los relevadores electromecánicos en conjunto con los elementos de electrónica de potencia para CA en serie, para desarrollar un prototipo de relevador Híbrido de CA, aplicando la propuesta de control adecuada que permitirá siempre activar (el o) los contactores electromecánicos sin un flujo de corriente que no genere arco eléctrico, esto evitará un menor desgaste por flameo en la activación, aumentado así su ciclos de trabajos del relevador electromecánico, y después de un tiempo se activa el TRIAC permitiendo que el control ON-OFF sea más eficiente con cargas eléctricas monofásicas (1Ø). En la misma metodología durante la desactivación del relevador Híbrido, ahora el relevador electromecánico será el último elemento abrirse después de desactivares el elemento de electrónica de potencia y permitirá a su vez la apertura segura del semiconductor en caso de que se quede activado o en corto circuito, además, evitará activaciones falsas por electrostática en la compuerta o en caso de sobre voltajes en la líneas de CA, ya que el TRIAC o SCR no estará conectado directamente a la carga eléctrica ni a la fuente de energía por tener (el o) los contactores abiertos en serie del relevador electromecánico. La aplicación del relevador Híbrido 1Ø permite el control de encendido y apagado de dispositivos electrónicos en una casa residencial, como por ejemplo: no permitir encender la impresora, solo y cuando la computadora este encendida o lista para imprimir, esto para ahorrar energía, se puede encender por medio un cable USB o por un medio inalámbrico (bluetooth o wifi), que permita encender o pagarse solo cuando se necesite, y útil en aplicaciones en domótica para control ON-OFF de forma segura en casas residenciales.

INTRODUCCIÓN

El avance en la tecnología en elementos de switcheo ha sido importante en la industria y en la automatización de máquinas eléctricas, más allá de aparición de los Controladores Lógicos Programables (PLC) cerca de 1960, los relevados electromecánicos han sido indispensables para el control de la Corriente Alterna (CA) y de Corriente Directa (CD), e incluso el avance va hasta los relevadores de estado sólido que son elementos semiconductores de electrónica de potencia. Que Funcionan como un interruptor asilados controlado por un circuito eléctrico o electrónico, que no solo permite el control en la industria, sino en nuestros hogares con el desarrollo de la Domótica al controlar las redes eléctricas y las señales de comunicación dentro de nuestras viviendas, en conjunto con las tecnologías aplicadas al control y automatización inteligente, que en ingles de denomina Smart Home. Permitiendo el uso eficiente de la energía al proporcionar seguridad y confort en el uso adecuado de los electrodomésticos, la iluminación, calefacción y todos nuestros recursos eléctricos y electrónicos en nuestros hogares, además de una nueva forma de comunicación entre el usuario y el sistema eléctrico en general.



Figura 1.- Representación de sistema de una vivienda inteligente.

En los sistemas dominicos o inteligentes inicialmente son sensores como circuitos electrónicos que proporcionan señales eléctricas o de radio (en el caso del bluetooth o wifi), que permite activar o desactivar actuadores que regularmente son relevadores para el control ON – OFF de la CA al energizar los dispositivos eléctricos y electrónicos de nuestras viviendas.

TEORÍA

Al saber que los actuadores más comunes para el control y automatización para casas residencial, es por medio de la interrupción del flujo de potencia en CA de forma aislada y segura, ya sea por medio de electroimanes como son los relevadores electromecánicos o optoacopladores como son los relevadores de estado sólido.

Relevadores electromecánicos (EMR). – El cual es una pieza móvil de uno o varios contactores acoplados núcleo de hierro laminado y a una bobina que al ser energizada por una pequeña señal eléctrica se genera un electroimán, que acciona el juego de contactares al permitir abrir o cerrar otros circuitos eléctricos independientes sea de CD o CA, tal como se observa en la Figura 2. El componente físico dentro del relé electromecánico suele hacer el sonido de un "clic", lo cual puede resultar útil en algunas situaciones, aunque esto puede generar arcos internos, los cuales pueden acortar su vida útil por el desgaste en los planitos en los contactores e incluso se puede quedar pegados por el efecto de flameo, y tiende a demora relativamente mucho tiempo la acción de cierre o apretura, la cual es de cerca de 100 a 500 mili segundos (mseg), que en el caso de la CA puede tardar más de 3 o 6 ciclos en abrirse o cerrarse.

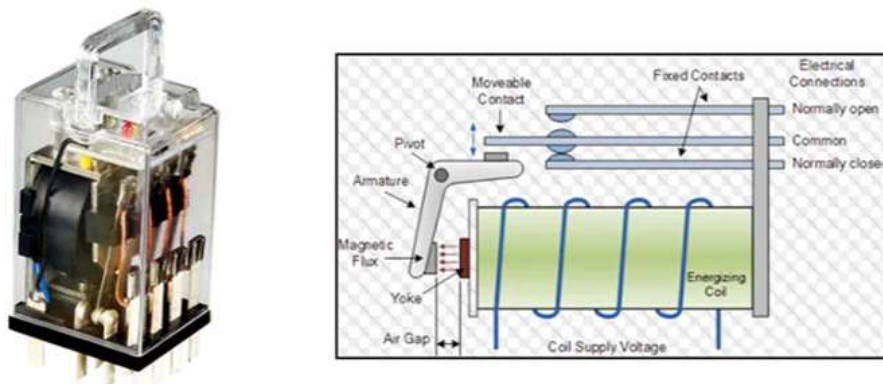


Figura 2.- Forma física e interna de un relevador electromecánico (EMR).

Relevadores de estado sólido (SSR). – Es un circuito electrónico con elementos semiconductores al ingresar una pequeña señal a un optoacoplador y que accionan los elementos de electrónica de potencia, los cuales para operar correctamente necesitan estar conectados siempre a la CA, con una carga eléctrica mínima, que permita su activación por un flujo de corriente y además de una corriente de activación en el gatillo o compuerta (G) que deja pasar el optoacoplador, como es el caso de los Rectificadores controlados de silicio (SCR's) y los interruptores de corriente alterna de tridodo (TRIAC's) para tener un control ON-OFF de la CA, tal como se observa en la Figura 3. Sin embargo, los relevadores SSR se pueden quedar en corto circuito por no tener una buena disipación de temperatura, además los semiconductores internos pueden ser muy susceptibles a las variaciones de la CA, además cambiar su modo de operación dependiendo el tipo de carga eléctrica y su activación es más rápida que los relevadores electromecánicos, ya que solo pueden tardar menos de 10 mseg en desactivarse o activarse, que puede ser menor a medio ciclo de la señal de CA, ya sea de 50 o 60Hz.

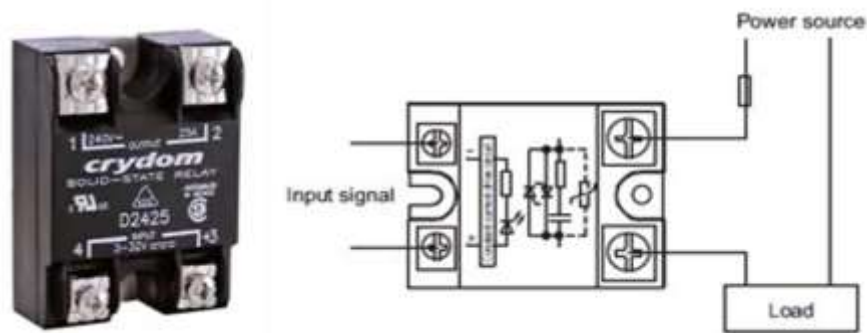


Figura 3.- Forma física e interna de un relevador de estado sólido (SSR).

Ambas tecnologías se pueden usar en aplicaciones de domótica, sin embargo, los relés de estado sólido son superiores a los relés electromecánicos en casi todas las categorías comparativas. Los relés electromecánicos son una tecnología algo antigua que usa un enfoque de diseño mecánico simple, mientras que los relés de estado sólido son mucho más rápidos en su respuesta de operación, recientes y avanzados; y sí, también son más complejos. Aunque ambos relevadores pueden dañarse y quedarse en corto circuito, que evitará la desactivación ya sea por la temperatura en el de estado sólido o por un arco eléctrico entre los contactares en el relevador electromecánico. Relevado Híbrido. - Reutilizar la aplicación y la efectividad de los relevadores electromecánicos en conjunto con los elementos de electrónica de potencia para CA en paralelo o en serie, tal como se observa en los esquemas de la Figura 4 (A) y (B) respectivamente; ambos tipos de relevadores híbridos permitirá que el relevador electromecánico este activado cuando se desea tener plena tensión en la carga a controlar.

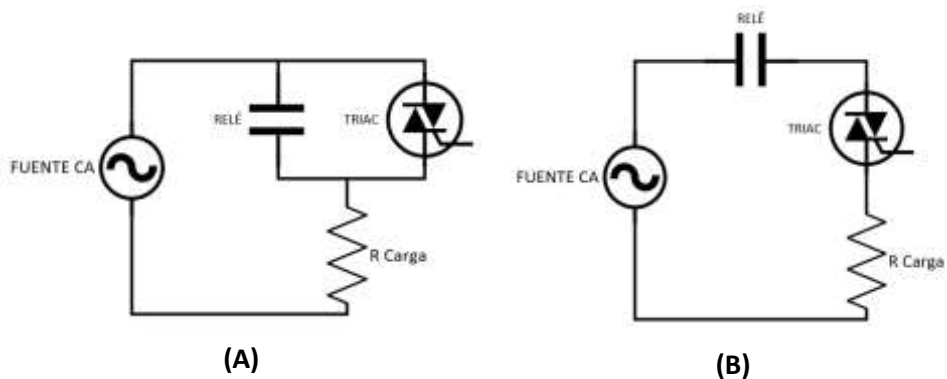


Figura 4.- Las Distintas topologías de relevadores Híbridos de CA, (A) En Paralelo o (B) En Serie.

En la presente investigación se enfoca en el relevador Híbrido en serie, tal como se observa la topología de la Figura 4 (B). Ya que el propósito evitar el efecto de arco eléctrico en el relevador electromecánico, al permitir que se activen (el o) los contactores sin un flujo de corriente o con poca diferencia de potencial para que no se desgaten o se queden pegado los platinos, por flameo en la activación, aumentado así sus ciclos de trabajos del relevador electromecánico, y después de un tiempo se activa el TRIAC permitiendo que el control ON-OFF sea más eficiente con cargas eléctricas monofásicas (1Ø). En la misma metodología, durante la desactivación del relevador Híbrido en Serie, ahora el relevador electromecánico será el último elemento en abrirse después de pasar un tiempo en que se desactiva el elemento de electrónica de potencia y permitirá a su vez la apertura segura del semiconductor en caso de que se quede activado o en corto circuito por exceso de temperatura, además, evitará activaciones falsas por electroestática en la compuerta o en caso de sobre voltajes en la línea de CA, ya que el TRIAC o SCR no estará conectado directamente a la carga eléctrica ni a la fuente de energía por tener (el o) los contactores abiertos en serie del relevador electromecánico como un interruptor de paso.

PARTE EXPERIMENTAL

La efectividad del relevador Híbrido 1Ø en serie depende de los tiempos de activación o desactivación de cada elemento para un buen control de encendido y de apagado para cualquier aplicación de control o automatización de casas residenciales o aplicaciones de domótica. Por lo cual es necesario una buena metodología de control de switcheo, tal como se muestra en los diagramas de flujo el método de activación en la Figura 5 (A) y de desactivación en la Figura 5 (B) para el relevador Híbrido en CA.

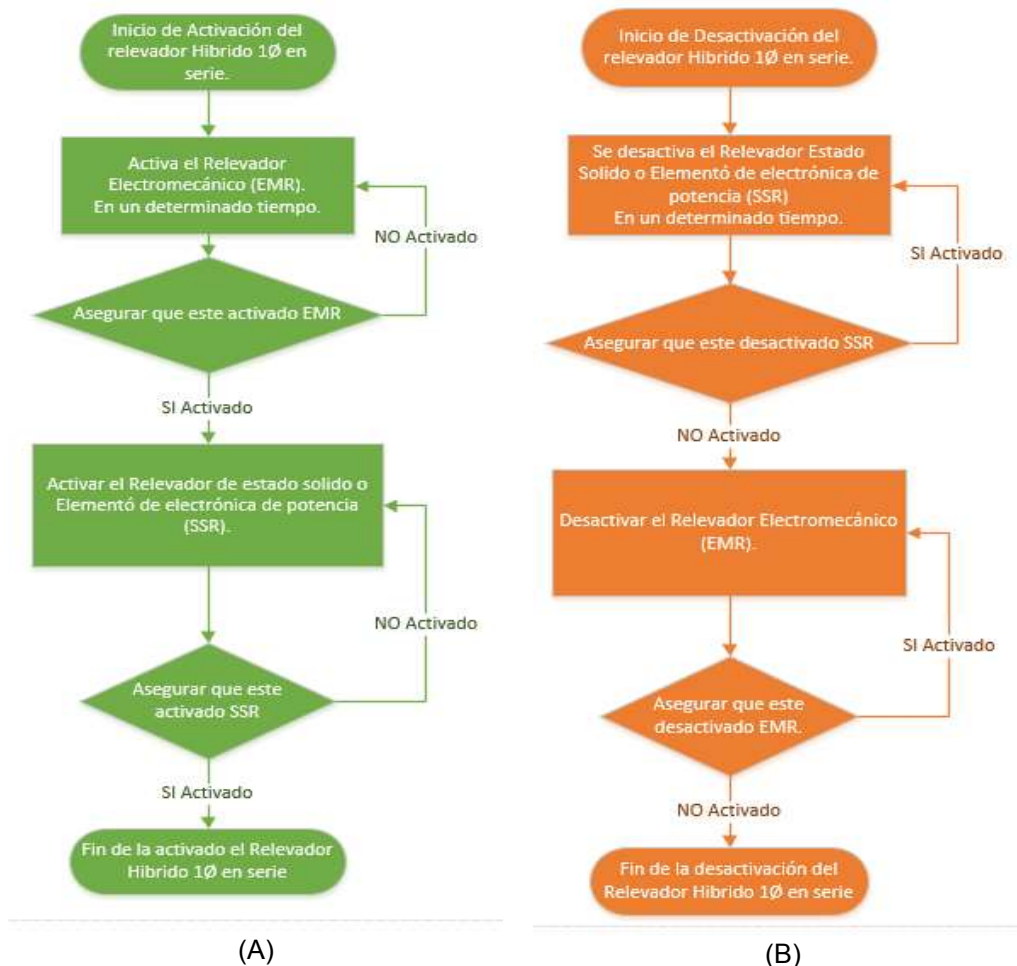


Figura 5.- Diagrama de flujo: (A) Para Activar y (B) para desactivar el relevador Híbrido. En la Figura 5 (A) se muestra la metodología de activación (ON) para el relevador híbrido 1Ø en serie:

- Al recibir una señal de activación primeramente se debe cerrar los contactores del relevador electromecánico (en inglés es normally open: NO) que debe estar conectado en sus terminales normalmente abierto (NO), y considerando que tarda un determinado tiempo en cerrarse, hasta 100 mseg. Se sugiere esperar un tiempo mínimo de 50 o 60 mseg antes de activar el elemento de electrónica de potencia para CA.
- Después de asegurarse que se activó la bobina del relevador electromecánico y dejar pasar los 50 mseg. después, se activa por medio de la señal en un optoacoplador con salida DIAC se activa el gatillo del TRIAC para dejar activado y plena tensión el relevador híbrido.

En cambio, en la Figura 5 (B) se muestra la metodología de desactivación (OFF) para el relevador híbrido 1Ø en serie:

- Ahora para apagar el relevador híbrido se debe desactivar la señal en el optoacoplador que activa el gatillo del elemento de electrónica de potencia (TRIAC), asegurando que quede sin señal de activación.
- Pasando un determinado tiempo de más de 8.3 mseg., ya que el TRIAC puede dejar de operar cada medio ciclo de CA ya sea a 50 o 60Hz, por lo cual se sugiere dejar pasar 16.6 o 20mseg. como mínimo para asegurar que el TRIAC quede sin señal de activación, ahora se desactiva el relevador electromecánico para apagar el relevador Híbrido 1Ø en serie.

RESULTADOS

Para comprobar la metodología y el funcionamiento del relevador Híbrido 1Ø en serie. Primeramente, se observa cómo se genera el arco entre los platinos de los contactores en la parte de potencia de un relevador EMR con CA, debido a que cada vez que se cierra o se abren los contactores se rompe el aire como dieléctrico por la diferencia de potencia y por la separación o el acercamiento entre los platinos de acuerdo al circuito de potencia de la Figura 6 y en la Figura 7 se observa claramente el efecto de flameo en los platinos del relevador EMR 1Ø.

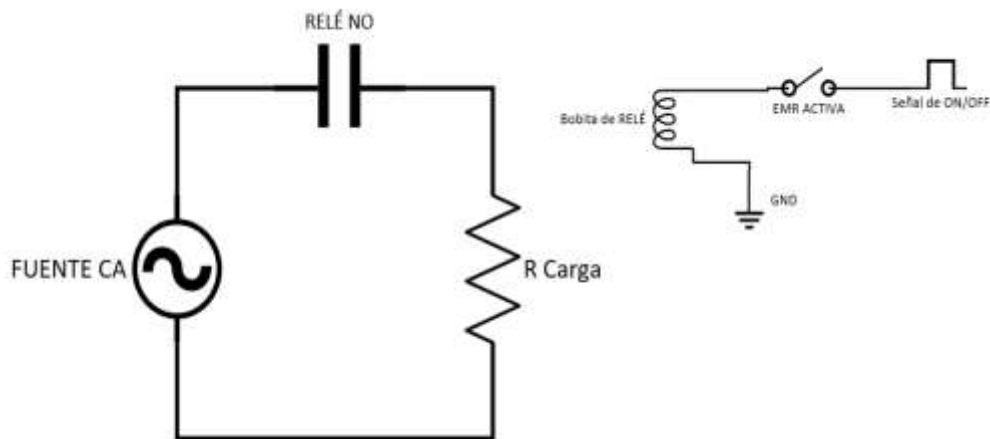


Figura 6.- Circuito de potencia de un relevador EMR 1Ø para comprobar la generación de arco en los contactores.

La segunda prueba se realizó al circuito de potencia del relevador híbrido 1Ø en serie, tal como se observa en la Figura 8 el circuito en general, donde se observa cómo se activa el relevador EMR desde su bobina de activación y el elemento de electrónica de potencia desde un optoacoplador con salida DIAC, para comprobar que no se genere el arco eléctrico en los platinos del relevador EMR al

cerrarse o al abrirse tal como se observa en la Figura 9, aplicando las metodologías de activación y desactivación del relevador híbrido que se vieron en la Figura 5 (A) y (B).



Figura 7.- Imagen del relevador EMR 1Ø con un circuito de potencia para comprobar la generación de arco en sus contactores y platinos.

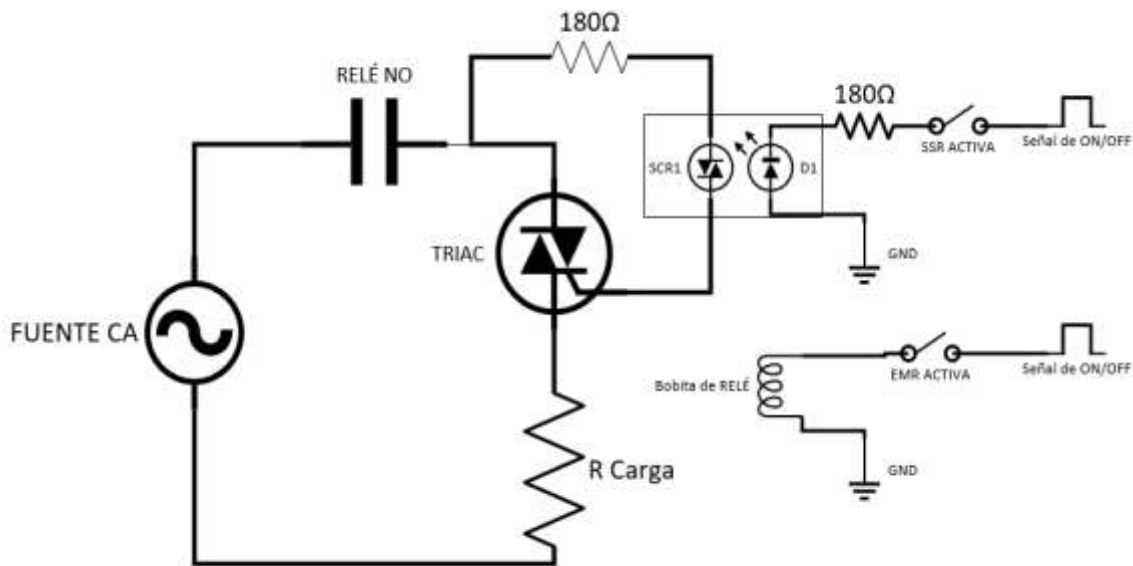


Figura 8.- Circuito general de la parte de potencia del relevador híbrido 1Ø en serie.

De acuerdo a la metodología de control del relevado híbrido 1Ø en serie que se observó en la Figura 5, al cual se puede aplicar con electrónica analógica ya sea con circuitos RC y/o con timer en un circuito integrado (CI) como es el 555 para ajustar los tiempos de retardo, o con electrónica digital que se puede programar la metodología de control ON-OFF en un microcontrolador, o algún ARM o FPGA.

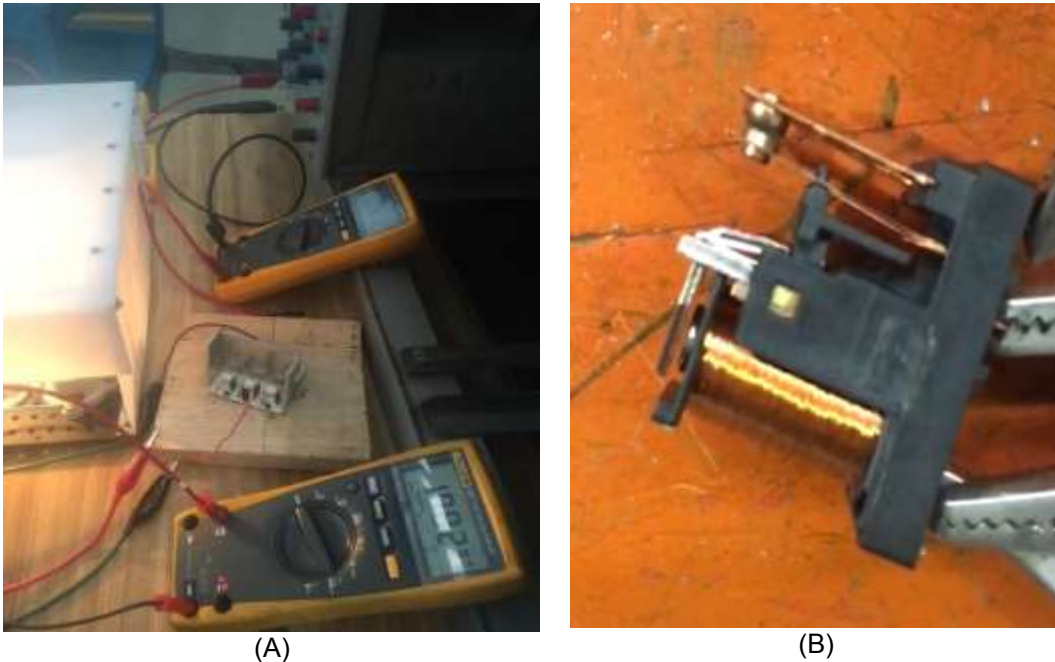


Figura 9.- (A) Imagen se observa el encendido y apagado de un foco con CA con el esquema de potencia para el relevador híbrido 1Ø y (B) se observa como no se genera arco eléctrico en los platinos de contactores del relevador EMR.

Una aplicación del relevado híbrido para casas residenciales es, por ejemplo, el no permitir encender las impresoras o monitores adicionales de una computadora de escritorio, solo y cuando la computadora esté encendida o lista para imprimir, para ahorrar energía. Al integrar un relevador híbrido 1Ø dentro de un multicontacto, tal como se observa en la Figura 10 (A) y (B) que permita encender y apagar los equipos adicionales, al activarse por medio del voltaje de 5V de un cable USB, así como se observa en la Figura 11 (A) y (B) de forma segura o en un futuro se activará por un medio inalámbrico (bluetooth o wifi); que será útil en aplicaciones de domótica para control ON-OFF de CA en casas residenciales.

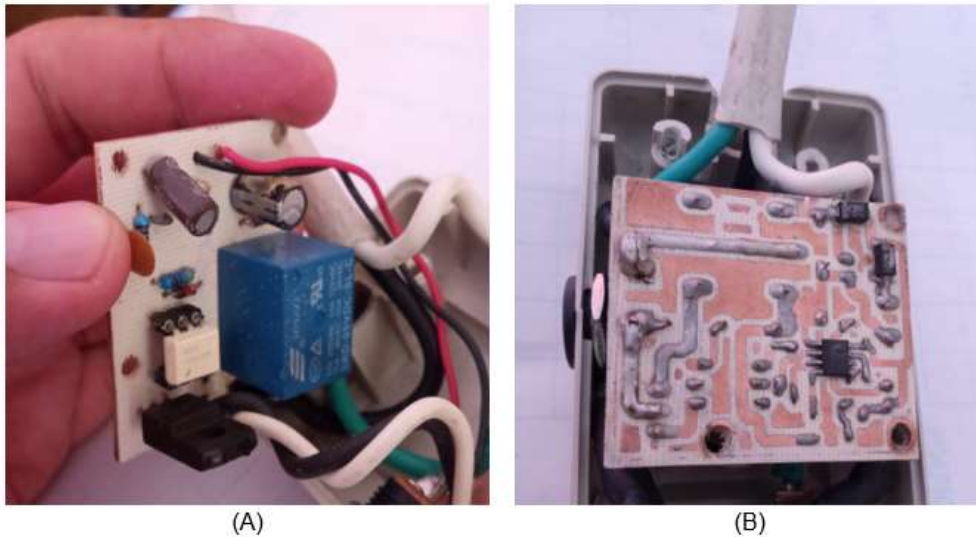


Figura 10.- (A) Imagen frontal y (B) lateral de una aplicación de un relevador híbrido 1Ø en serie insertado en un multicontacto.

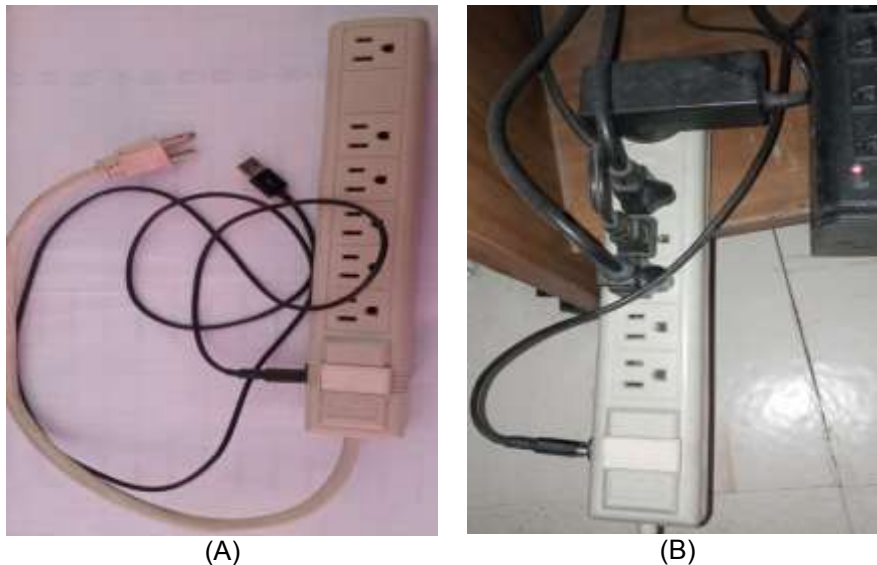


Figura 11.- Imágenes de un multicontacto ya con el relevador híbrido 1Ø integrado que se activa o desactiva por medio del voltaje de 5V de un cable USB para encender equipos adicionales a una computadora de escritorio.

CONCLUSIONES

El relevador Híbrido 1Ø es una alternativa de segura para el control ON-OFF en CA, como para aplicaciones de domótica, en un futuro se podría activar por un medio inalámbrico (bluetooth o wifi) y su metodología se puede extender al control de arranque suave en CA y CD.

BIBLIOGRAFÍA

1. Domingo Peña, Joan; Segura Casanovas, Joan. "Revisión histórica de los PLC, en el 50 aniversario". *Técnica Industrial*, 2018, no 321, p. 48-52.
2. Domínguez, Hugo Martín; Vacas, Fernando Sáez. "Domótica: Un enfoque sociotécnico". Fundación Rogelio Segovia para el desarrollo de las Telecomunicaciones, 2006.
3. Aguilar Marquez, Jose Ines, et al. "Diseño de un relevador de estado sólido para la protección de equipo eléctrico". 2018.
4. Guerra, Miguel A. Peralta; Cisneros, Francisco; Chávez, Juan C. Silva. "Coordinación Óptima de Relevadores de Sobrecorriente utilizando un Algoritmo Híbrido", 2008.
5. Zhang, Xu; REN, Wanbin; Wang, Shujuan. "Experimental Investigation of Contact Welding Characteristics of Electromechanical Relays". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2020, vol. 68, no 9, p. 8531-8539.
6. Gergič, Bojan; Hercog, Darko. "Design and implementation of a measurement system for high-speed testing of electromechanical relays. Measurement", 2019, vol. 135, p. 112-121.
7. Fernández, Manuel, et al. "Analysis of solid state relay solutions based on different semiconductor technologies". En 2017 19th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE'17 ECCE Europe). IEEE, 2017. p. P. 1-P. 9.
8. Fernández, Manuel, et al. "Solid-state relay solutions for induction cooking applications based on advanced power semiconductor devices ". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 2018, vol. 66, no 3, p. 1832-1841.
9. Lbsce, Kasaragod. "SPST to DPDT Switching Conversion Module for Solid State Relays (SSR)".
10. Petkova, Elena N., and Ivan S. Kolev. "Optocouplers and Optoelectric Elements Controlled by Sensors.", 2006.
11. Mohan, Ned Undeland, et al. "Electronica de potencia: convertidores, aplicaciones y diseño/Ned Mohan", Tore M. Undeland y William P. Robbins. 2009.

USO DE LA TIC'S DURANTE LA PANDEMIA COVID-19 EN EL ÁREA DE INGENIERÍAS

Martha Irene Bello Ramírez¹ y María Eugenia Sánchez Morales².

¹ Instituto Tecnológico Superior de Libres. Cuerpo Académico: Tecnologías Emergentes en los Procesos Educativos, ITSLIBRES-CA-1, ² Cuerpo Académico de Ciencias Aplicadas a la Ingeniería UDG-CA-871 Universidad de Guadalajara, Centro Universitario de la Ciénega.

marthairene.br@libres.tecnm.mx; eugenia.sanchez@academicos.udg.mx

RESUMEN-

La forma de enseñanza debido a la emergencia sanitaria, conocida como COVID-19, ocasionó un cambio en las actividades cotidianas en lo que respecta al área educativa, pasó de ser presencial a un método virtual con clases sincrónicas o asincrónicas.

En lo que se refiere a las materias de Matemáticas o Física, en donde normalmente se utilizaba un pintarrón y plumones para resolver problemas, ahora en esta emergencia sanitaria se tuvo la necesidad de hacer uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC's), para tener un aprendizaje y desarrollar las habilidades cognitivas en los estudiantes de Ingenierías.

Se realizó un estudio descriptivo de carácter cuali-cuantitativo entre alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Libres, ubicado en la ciudad de Libres, Puebla y al Centro Universitario de la Ciénega de la Universidad de Guadalajara ubicada en la ciudad de Ocotlán, Jalisco; a través de formularios de Google, con el objetivo de detectar el uso de TIC's para su aprendizaje ante el cambio de un ambiente presencial a un ambiente virtual, así como saber si estas le han ayudado en el entendimiento de los diferentes temas en sus clases a distancia.

Se encontró que ya usaban ciertas TIC's, dentro las cuales las más usadas estaban Youtube, Geogebra y Classroom y durante la pandemia hubo un incremento en la utilización de algunas como Phet, Tracker, Edpluzze además de las que ya se utilizaban. Encontramos que el 95.8% de los alumnos están de acuerdo en que el uso de las TIC's les ayudó en mejorar la comprensión de los temas vistos en clase y el 89.5% quieren que aun y cuando se regrese a un ambiente de aprendizaje presencial sería de gran utilidad continuar usando estas TIC's como herramientas.

INTRODUCCIÓN

La aparición de la COVID-19 a finales del 2019 y su posterior expansión por todo el mundo durante los meses siguientes ha representado todo un reto, ya que ha afectado todos los ámbitos de la vida, tanto en lo económico, lo social y por supuesto el ámbito educativo.

La pandemia obligó al cierre de aulas y propició una migración forzada hacia la modalidad no presencial en todos los niveles educativos, esta medida afectó a más de cuatro millones de estudiantes de educación superior (licenciatura y posgrado) (ANUIES, 2020).

Los docentes se vieron forzados a migrar sus cursos a una modalidad en línea y a distancia, y comenzaron a utilizar diversas estrategias y herramientas para hacer dicha transición. Se vieron en la necesidad de utilizar una mayor cantidad de herramientas tecnológicas para realizar su labor docente, empezaron a hacer un mayor uso de plataformas educativas y de las tecnologías de información y comunicación (TIC's).

Por otro lado los alumnos también se vieron afectados, empezaron la llamada "escuela en casa", empezaron a realizar sus actividades académicas a distancia y se vieron forzados a empezar a hacer uso de las herramientas tecnológicas, algo que quizás no estaban acostumbrados. Esto representó un reto aún mayor, ya que muchos de los alumnos ni siquiera contaban con los recursos tecnológicos necesarios para afrontar estas actividades académicas. Según la Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares 2020, sólo 38% por ciento de la población dispone de computadora y 72% de acceso a internet (ENDUTIH, 2020). Además en muchas ocasiones no existe una computadora en casa con la que pueden trabajar y en el mejor de los casos, existe una sola computadora en la casa que se comparte con todos los miembros de la familia, además muchos alumnos no cuentan con un espacio adecuado para desarrollar sus actividades escolares.

En este trabajo se presentan los resultados de una investigación sobre los antecedentes del uso de las TIC's en los alumnos del Instituto Tecnológico Superior de Libres, y del Centro Universitario de

la Ciénega de la Universidad de Guadalajara durante el semestre Enero-Junio 2021 (EJ21), así como la evolución del uso de las TIC's desde el inicio de la pandemia, hasta el semestre en curso.

METODOLOGÍA

POBLACIÓN

La investigación se realizó con un grupo de 95 estudiantes del área de ingenierías pertenecientes a ambas instituciones mencionadas anteriormente. La distribución de la participación por semestre puede observarse en la Figura 1, los participantes iban del segundo al sexto semestre, con edades que van desde los 18 hasta mayores de 24 años, como se puede observar en la Figura 2. Teniendo una participación por género de un 83.2% de hombres y un 16.8% de mujeres, como se puede ver en la Figura 3.

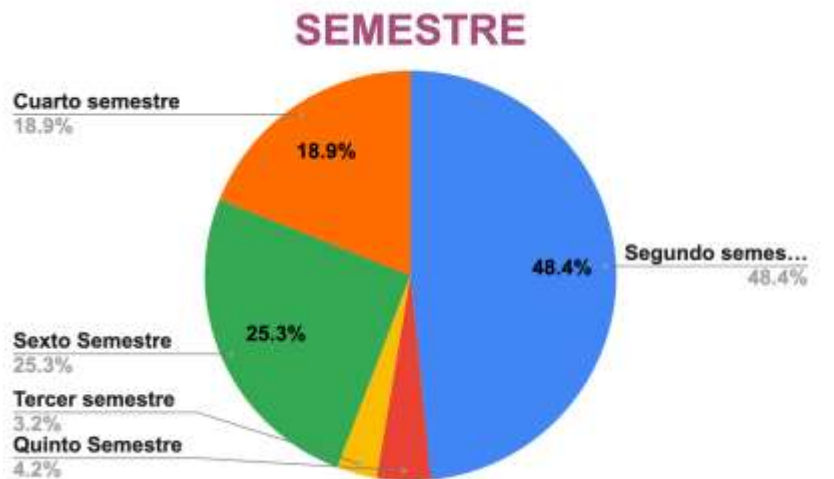


Figura 1. Distribución de la muestra por semestre.

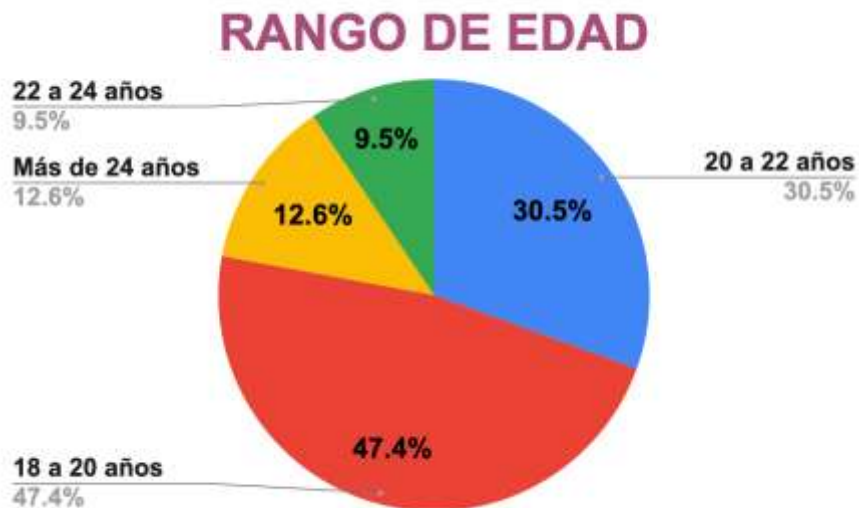


Figura 2. Distribución de la muestra por edades.



Figura 3. Distribución de la muestra por género.

PROCEDIMIENTO

La información sobre el uso de las TIC's, se obtuvo a partir de un Formulario de Google, el cual estaba conformado por 24 ítems y fue compartido para que los alumnos lo pudieran contestar dentro de un periodo de 1 semana.

Los primeros 3 ítems fueron para conocer el tipo de población, los siguientes 2 ítems fueron para conocer su situación de conectividad para poder realizar sus actividades y los últimos 19 ítems fueron para conocer sus antecedentes en el uso de las TIC's así como los conocimientos adquiridos sobre nuevas TIC's hasta el semestre EJ21.

Debido a nuestra experiencia docente hemos detectado que dentro de las TIC's más utilizadas son las que se muestran dentro de la Tabla 1, y estas fueron las que utilizamos en nuestra encuesta.

Nombre de la TIC	Descripción
Geogebra	Es un software de matemáticas para todo nivel educativo. Reúne dinámicamente geometría, álgebra, estadística y cálculo en registros gráficos, de análisis y de organización en hojas de cálculo. GeoGebra, con su libre agilidad de uso, congrega a una comunidad vital y en crecimiento. Puede utilizarse en línea o instalarse en computadora o tableta (<i>GeoGebra</i>). Es de libre acceso, aquí el estudiante puede llevar a la práctica lo visto en clases teóricas.
PhET	Ofrece simulaciones divertidas, gratuitas e interactivas de ciencias y matemáticas que se basan en la investigación. Las simulaciones funcionan con Java, Flash o HTML5 y se pueden ejecutar en línea o descargar en una computadora. Todas las simulaciones tienen código abierto. Cuenta con lo cual permite que estos recursos sean gratuitos para todos los estudiantes y docentes (<i>PhET</i>).
Tracker	Es una herramienta gratuita de análisis y modelado de vídeo construida sobre el marco de Java Open Source Physics (OSP). Está diseñado para usarse en Física. El modelado de video de seguimiento es una forma poderosa de combinar vídeos con modelado por computadora. Siendo de acceso gratuito (<i>Tracker</i>).

¡Kahoot!	Es una plataforma de aprendizaje global, facilita que cualquier individuo o corporación cree, comparta y juegue juegos de aprendizaje que generen un compromiso atractivo. ¡Kahoot! Los juegos se pueden jugar en cualquier lugar, en persona o virtualmente, utilizando cualquier dispositivo con conexión a Internet (Kahoot!).
Edpuzzle	Es una plataforma fácil de usar donde puedes convertir cualquier video en tu lección. Se puede encontrar lecciones en video creadas por otros maestros, incluida la evaluación formativa y puede adaptar ese video insertando sus propias preguntas o audio. La plataforma nos indica quién vio el video, quién no entendió la lección y quién hizo un buen trabajo. Los estudiantes pueden volver a ver el video tantas veces como lo necesite a su propio ritmo, se puede verificar fácilmente el progreso desde su cuenta (Edpuzzle).
Google Classroom	Es la herramienta que une la enseñanza y el aprendizaje en un solo lugar. Una herramienta segura y fácil de usar que ayuda a los educadores a administrar, medir y enriquecer las experiencias de aprendizaje. Herramienta totalmente gratuita (Classroom).
Powtoon	Es la plataforma de comunicación visual líder, más fácil de usar e intuitiva del mundo. Con Powtoon, cualquiera puede crear videos atractivos con una apariencia profesional.
Genially	Somos la herramienta más versátil para crear todo tipo de contenidos alucinantes. Nuestra misión es que todo el mundo pueda crear contenidos visuales e interactivos. Esta es la razón por la que queremos convertir el contenido interactivo en un estándar. Tanto como dar los buenos días o mirar antes de cruzar (Genially).
Prezzi	Es una aplicación de presentaciones en línea y una herramienta narrativa que usa un solo lienzo en vez de diapositivas tradicionales y separadas. Los textos, imágenes, videos u otros objetos de presentación son puestos en un lienzo infinito y presentados ordenadamente en marco presentable. El lienzo permite a los usuarios crear una presentación no lineal, donde pueden usar zoom en un mapa visual. Se puede definir un camino a través de los objetos y marcos, logrando un orden deseado por el usuario (Virtual).
Quizizz	Utiliza la misma técnica educativa que Kahoot, pero tiene ligeras variaciones. Kahoot solo se usa para evaluaciones formativas en tiempo real, pruebas, cuestionarios y discusiones en el aula. Quizizz enumera dos modos de aplicación diferentes. Una es formar una evaluación formativa en tiempo real en el aula, y la otra debe ser organizada por el maestro para el estudiante como una tarea extracurricular (Quizizz).
Youtube	Sitio web de origen estadounidense dedicado a compartir videos. Las personas que crean contenido para esta plataforma generalmente son conocidas como youtubers. En la actualidad existen varios canales con contenido educativo.

Tabla 1. Descripción de las TIC's usadas para el análisis estadístico.

RESULTADOS

El presente estudio se realizó en municipios de los estados Puebla y Jalisco, ambos fuera de las capitales el primero en Cd. de Libres en Puebla con una población de 31,532 (2010) y en Ocotlán Jalisco con una población de 89 mil 340 habitantes (2010). En ambas ciudades los centros de educación superior atienden a poblaciones que circundan la ciudad, con comunidades de menor población. Bajo esta premisa muchos estudiantes tienen problemas de conexión, así como el tener

un equipo de cómputo para realizar sus labores escolares. La Figura 4 nos muestra que el 41.1% no cuenta con equipo de cómputo para sus labores escolares siendo el 4.2% de la población realiza sus trabajos fuera de casa mientras que el 36.8% en su celular. La figura 5 muestra que únicamente 76.6% de los alumnos tiene internet en casa, por lo que tomando en cuenta que el 4.2% debe utilizar un ciber para conectarse a internet, nos indica que alrededor del 19% de los alumnos se conecta a través de datos de celular.



Figura 4. Relación de alumnos que cuentan equipo de cómputo para realizar trabajos escolares.

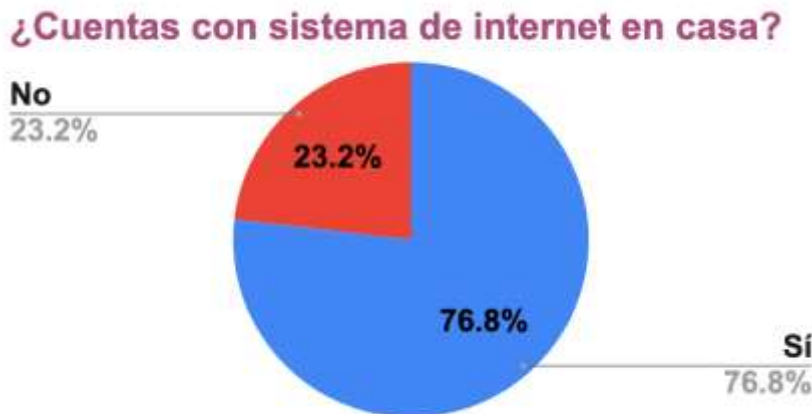


Figura 5. Relación de alumnos que cuentan con internet en casa.

El 66.3% de los alumnos conocía alguna TIC's antes de iniciar la pandemia, siendo YouTube y Geogebra la más común; siendo YouTube la que utilizaban para encontrar tutoriales para ayudarse a resolver trabajos para casa, mientras que Phet, Tracker y Genially solo 2 alumnos conocían estas herramientas antes de la pandemia (ver Figura 6).

Durante las clases a distancia se incrementó el uso de las TIC's tanto en materia teóricas como laboratorios virtuales, entre las que tuvieron un mayor incremento en su uso fueron Classroom, Phet y Edpuzzle y las que tuvieron un poco de incremento fue YouTube, Geogebra.

Fue importante conocer el tipo de TIC's que se usaron durante sus clases a distancia, pero igual de importante fue conocer sobre las dificultades en el uso de estas, ver Figura 7, Classroom y Youtube fueron las que presentaron menor dificultad en su manejo y Geogebra la que presentó mayor dificultad en su manejo,

El 95.8% de los alumnos indicaron que tuvieron una mejor comprensión del tema al utilizar las TIC's (Figura 8) y el 89.5% quisiera seguir utilizando herramientas digitales una vez que se regrese a

clases presenciales (Figura 9). En la Figura 7 la columna gris indica cuales son las herramientas que consideran que serán necesarias para comprender mejor los temas. Las TIC's encuestadas no son las únicas utilizadas por los alumnos, la Figura 10 muestra algunas otras usadas durante sus clases a distancia, siendo Zoom y Canvas las que más fueron utilizadas por los alumnos.

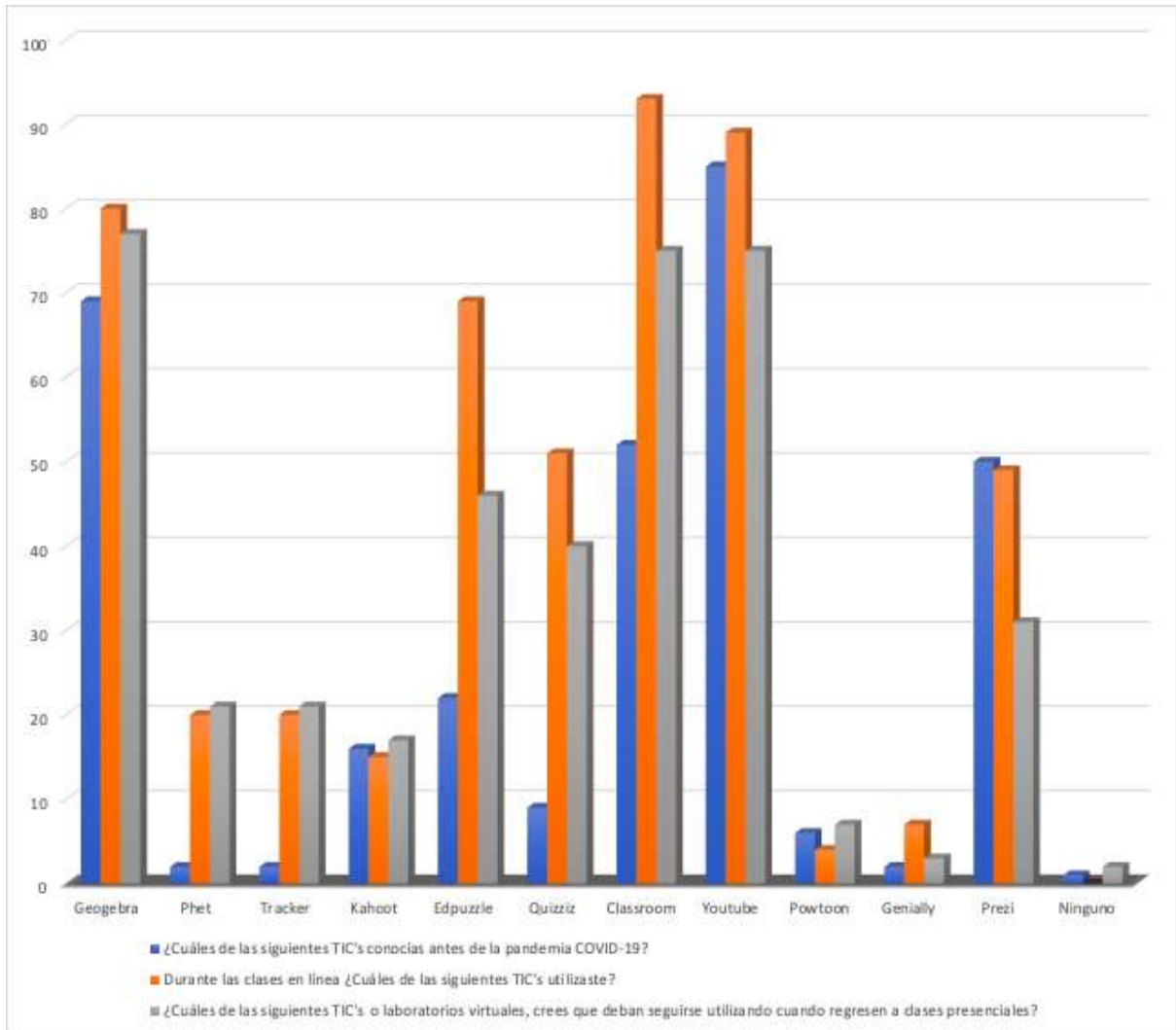
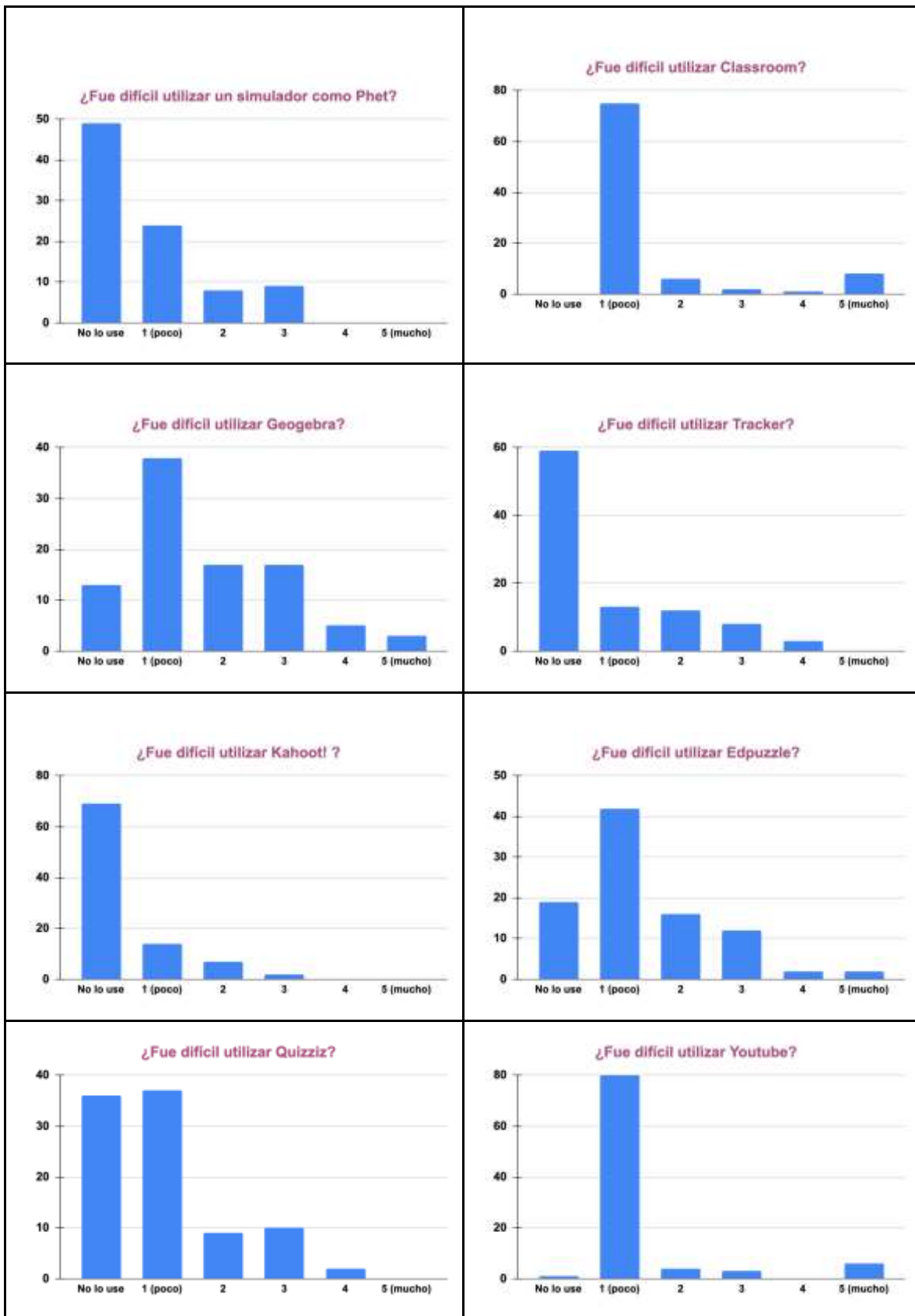


Figura 6. Comparación de uso de TIC's antes y durante clases en línea, así también una proyección de cómo les gustaría seguir utilizando dichas herramientas.



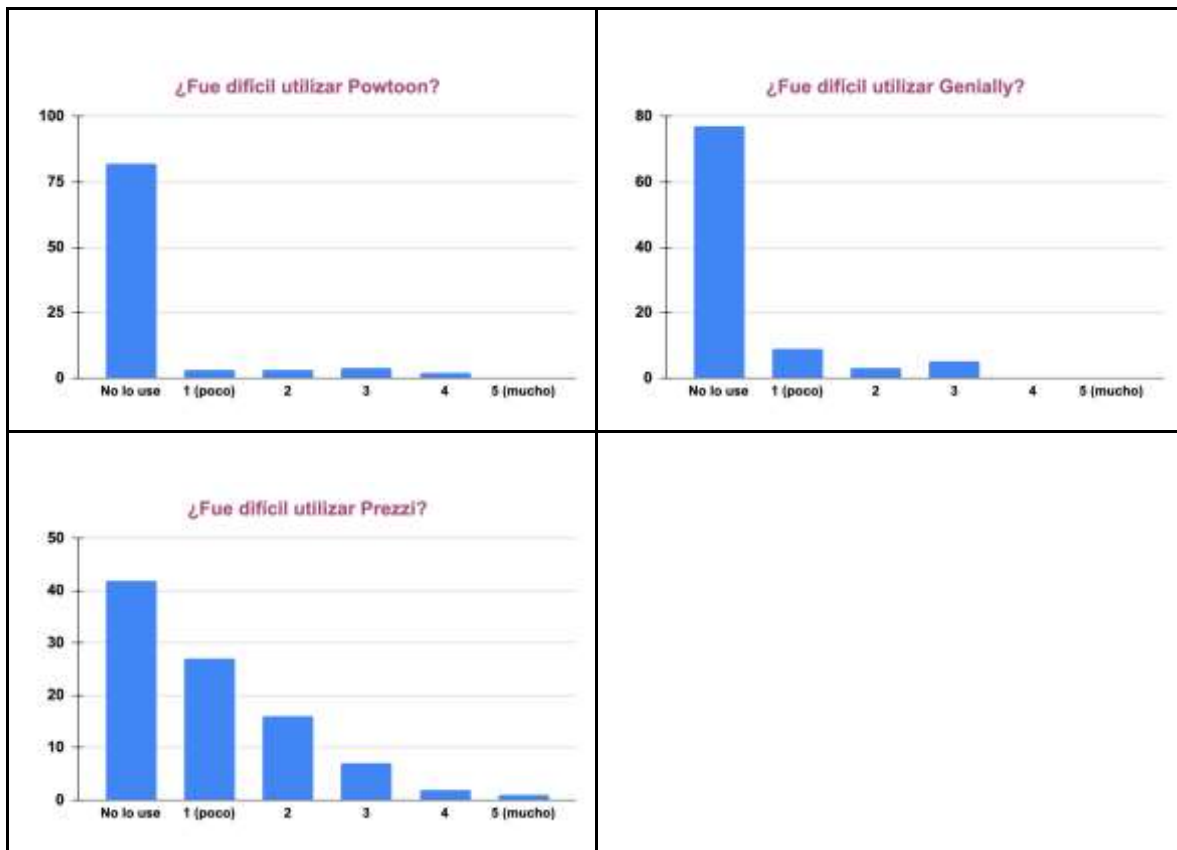


Figura 7. Relación de la factibilidad en el uso de las TIC's

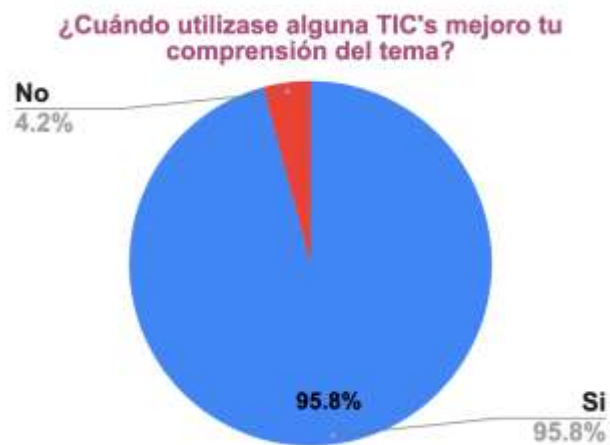


Figura 8. Utilidad de las TIC's en la comprensión de los temas



Figura 9. Conveniencia del uso de las TIC's en las clases presenciales



Figura 10. Otras TIC's utilizadas durante las clases a distancia

CONCLUSIONES

La pandemia COVID-19 ha sido un parteaguas en el modelo enseñanza- aprendizaje, al tener que detener las clases presenciales tradicionales a un modelo virtual, muchas asignaturas se adaptaron de la mejor manera posible, se buscaron TIC's para tener una forma de explicar los temas, una de las principales características es que fuera software libre para así no tener que pagar al utilizarlo. Los alumnos mostraron un interés al utilizarlos, teniendo un mejor entendimiento de los temas, por lo mismo ellos sugieren seguir utilizandolas una vez que se pueda regresar a las clases presenciales.

BIBLIOGRAFÍA

1. ANUIES. (2020). Anuarios Estadísticos de Educación Superior. <http://www.anui.es.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
2. ENDUTIH. (2020). Encuesta Nacional sobre Disponibilidad y Uso de Tecnologías de la Información en los Hogares.
3. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2021/OtrTemEcon/ENDUTIH_2020.pdf

4. GeoGebra - the world's favorite, free math tools used by over 100 million students and teachers. (s. f.). GeoGebra. Recuperado 31 de julio de 2021, de <https://www.geogebra.org/>
5. PhET Interactive Simulations. (s. f.). PhET. Recuperado 13 de julio de 2021, de <https://phet.colorado.edu/>
6. Tracker Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education. (s. f.). Tracker. Recuperado 31 de julio de 2021, de <https://physlets.org/tracker/>
7. Kahoot! | Learning games | Make learning awesome! (s. f.). Kahoot! Recuperado 31 de julio de 2021, de <https://kahoot.com/>
8. Edpuzzle | Make Any Video Your Lesson. (s. f.). Edpuzzle. Recuperado 3 de agosto de 2021, de <https://edpuzzle.com/>
9. Quizizz The world most engaging learning platform. (s. f.). Quizizz. Recuperado 31 de julio de 2021, de https://quizizz.com/teachers?ref=header_tab
10. Prezi; Presentaciones virtuales y software de presentaciones interactivas | Prezi. (s. f.). prezi.com. Recuperado 1 de agosto de 2021, de <https://prezi.com/es/>

ELABORACIÓN DE PALETAS FIJAS PARA BUTACAS ESCOLARES A BASE DE DESECHOS DE TETRA PAK

Rosalía Daza Merino, Virginia Lagunes Barradas, Lilia Licea Hernández, Miguel Eduardo Rosas Baltazar

Instituto Tecnológico Superior de Xalapa
daderos@hotmail.com

RESUMEN-

El Instituto Tecnológico Superior de Xalapa (ITSX) actualmente cuenta con una matrícula de más de 7,000 alumnos los cuales diariamente se enfrentan con el problema de no tener la cantidad de butacas requeridas en el salón, o en su caso sí está la silla, pero carece de la paleta, lo cual implica ir a buscar a otros salones, perdiendo tiempo al tratar de conseguirla.

Así mismo, existe un gran número de butacas en el almacén del Instituto que no pueden ser utilizadas ya que no se les da el mantenimiento correcto, lo que provoca que se encuentren en malas condiciones, careciendo de la paleta fija o de otras piezas.

Derivado de lo anterior, este proyecto tiene la finalidad de aprovechar los desechos Tetra Pak para elaborar una paleta fija y satisfacer las necesidades de los estudiantes contribuyendo a lograr la atención adecuada y comodidad durante su estancia en el salón.

Aunado a ello, se hizo un prototipo de paleta fija a base de desechos de Tetra Pak con la finalidad de dar solución al problema, además, de esa manera el departamento de servicios generales puede evitar el acumulamiento de bancas en malas condiciones ocupando espacios que podrían ser utilizados para otras cosas; también se ha observado que el área ha tenido que improvisar los espacios para resguardar esas sillas que no tienen la paleta fija apilándolas en sitios que están a la intemperie ocasionando el deterioro del mobiliario por no tener más espacios donde almacenarlas, causando mala imagen.

El Tetra Pak, una vez que cumple su función como contenedor para alimentos, presenta un valor agregado, ya que puede: ser incinerado para producir energía, reciclado para la fabricación de papel, o para láminas y productos aglomerados.

En relación a lo anterior, surge esta propuesta de la paleta fija haciendo uso de 48 cajas de Tetra Pak desechadas las cuales se recolectaron con familias de los estudiantes, después se lavaron y se dejaron secar, posteriormente se hizo el corte de las cajas hasta quedar de 1 a 2 cm aproximadamente, no fue uniforme debido a que no se cuenta aún con una trituradora, por lo tanto, se usaron tijeras como herramienta de corte, después se diseñó el molde de la paleta fija con las medidas estándares, se vertió sobre el molde una capa de sellador, un capa de Tetra Pak triturado y una capa de barniz (repitiendo el mismo proceso tres veces), se dejó secar, se desprendió del molde y finalmente se obtuvo la paleta fija con un peso aproximado de 1.480 kg. a comparación de la paleta normal hecha de madera que pesa 2.500 kg.

Para concluir, este proyecto tiene como estrategia dar una alternativa de solución por la falta de sillas y fomentar la educación ambiental al reutilizar el Tetra Pak.

INTRODUCCIÓN

Actualmente, el cuidado del medio ambiente se ha vuelto un tema de preocupación mundial. El uso desmesurado de los recursos, ha generado la iniciativa de buscar materiales alternativos o reciclar los ya existentes, como es el caso del Tetra Pak material perfectamente reciclable, por lo que en muchos países existen depósitos públicos para recolectar los envases utilizados y proceder a su reciclaje. Además, en México se generan 102 mil 895 toneladas de residuos, de las cuales 1,478 se recuperan para el reciclaje. Gaceta de la Comisión Permanente (2019). En el estado de Veracruz se generan 6 mil toneladas diarias de basura y 2 millones 200 mil al año. Tan sólo en la ciudad de Xalapa se producen aproximadamente 400 toneladas diarias de residuos y 146 mil al año; residuos de los cuales aproximadamente el 70% es aprovechable; y de este porcentaje la mitad corresponde a materia orgánica. Así, el promedio de generación de un veracruzano es de 1 kg de basura al día (INEGI, 2015 citado por Cruz, 2018). Tetra Pak recicla 33 mil 500 toneladas de sus envases, lo que representa una tasa de reciclaje anual de casi 25 por ciento. Tetra Pak (2019). Los envases de cartón

laminado de la empresa Tetra Pak pueden convertirse, una vez reciclados en cuadernos, papel higiénico, cajas de cartón o plantillas para calzado; también se fabrican con ellos materiales para la construcción como pisos, techos y muros, mobiliario escolar y hasta tapas de coladeras.

Las altas cantidades de contaminación generadas por las cajas que se desechan de Tetra Pak y la falta de paletas fijas en los butacas de los salones del ITSX da pie a diseñar y realizar un prototipo de paleta fija como una alternativa de solución a las necesidades de los estudiantes, además de ayudar a generar un impacto ambiental positivo con el uso de envases de Tetra Pak que tardan hasta 35 años en degradarse, y si tomamos en cuenta que en México se producen más de 60 millones el impacto ambiental es considerable.

Hoy en día este material se ha utilizado para el desarrollo de mobiliario escolar por lo tanto el prototipo busca crear paletas fijas para una gran cantidad de sillas que se almacenan o bien se mantienen a la intemperie ocasionando el deterioro por la falta de paletas u otras piezas, viéndose afectados los estudiantes al tomar una clase ya sea de pie o bien usando la silla sin paleta fija, ocasionándole un bajo desempeño en sus actividades educativas al no estar cómodos tomando sus clases.

Podemos agregar que, aunque no se puede hacer mucho por el pasado, se debe pensar estratégicamente en el futuro. Por tal motivo, en este proyecto se plantea la alternativa de elaborar un material a base de Tetra Pak, para la fabricación de las paletas de las butacas que se encuentran a cargo del Departamento de Servicios Generales del ITSX. En las siguientes secciones se describe la fundamentación teórica del uso de Tetra Pak como opción de reciclaje para disminuir la huella ecológica a nivel estatal. Posteriormente, se detalla la parte experimental del proceso de reciclaje y finalmente, se muestran los resultados y conclusiones obtenidos.

TEORÍA

Tetra Pak es una empresa multinacional fundada en Suecia por el ingeniero sueco Rubén Rausing. Tetra Pak diseña y produce soluciones de envasado de cartón y procesamiento para la industria alimentaria Tetra Pak (2016). Los envases de Tetra Pak están formados por 6 capas diferentes como se muestra en la figura 1.

- 4 de polietileno “es un polímero elaborado de etileno”
- 1 de aluminio
- 1 de cartón

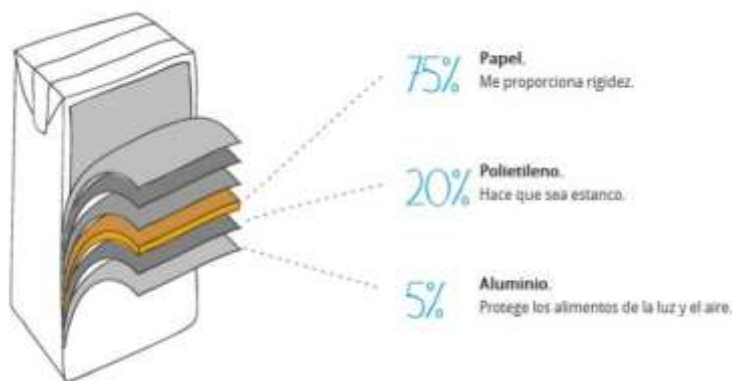


Figura 1. Porcentajes de los materiales que contienen la caja de Tetra Pak (Oliva, 2015).

El tratamiento de Tetra Pak no debe manejarse similar al papel y cartón, ya que se compone en 75% de papel y cartón, 20% de polietileno y 5% de aluminio; se trata de un material que debe ser manejado de otra manera, para conseguir la separación adecuada de sus componentes, consideró Arnold Ricalde, fundador de la organización ambientalista Organi-K. El sector del reciclaje de chatarra, PET, plásticos diversos, papel y derivados, cartón y Tetra Pak genera una derrama económica aproximada de 21 mil millones de pesos de forma anual.

De acuerdo a información investigada en la página de Tetra Pak (2019) Ciudad de México, se generan más de 37.5 millones de toneladas al año de Tetra Pak, y en donde cada persona desecha aproximadamente 1.4 kilogramos de basura al día, de acuerdo con cifras del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.

Si no se recicla, éste puede tardar hasta 35 años en degradarse, y si tomamos en cuenta que en México se producen más de 60 millones de envases de Tetra Pak al año, el daño ecológico puede ser muy importante. Estos envases se pueden aprovechar para fabricar servilletas, papel de baño y muebles. En México se reciclan 15% de los 6,000 millones de envases Tetra Pak que se producen al año” (Tetra Pack, 2016).

Otro ejemplo es el caso de “El Chiptec “es un material aglomerado (madera sintética) de alta calidad y durabilidad formada a partir de envases de Tetra Pak prensados. Sus características únicas lo hacen un material ideal para ser utilizado en la construcción y en los mobiliarios (sólido, resistente a la humedad, termo formable, moldeable”. (Oliva, 2015).

También hay otro tipo de madera sintética obtenida de los residuos de los envases Tetra Pak, se denomina Tectan, por ser el más conocido de todos los nombres que recibe en diferentes partes del mundo (Chiptec, Maplar etc.) ver figura 2, su producción está muy difundida en Europa; en cuanto al Perú, aún no se recicla a nivel comercial.



Figura 2. Madera sintética. Fuente: (Reyes, 2007).

Igualmente se encuentra otro tipo de material compuesto por el desecho de Tetra Pak triturado, cemento, arena, y grava. “TETRACRETE es un material versátil y atractivo al que se le pueden dar varios usos y acabados dependiendo de la pieza que se trabaje o el espacio en el cual se utilice” (Cajas, 2011).

Así mismo en la planta ubicada en el distrito de San Juan de Lurigancho en Lima, han lanzado el programa social “De envase a envase, la escuela se hace” (Mere, 2014), que busca el tratamiento de estos residuos para la construcción de mobiliario escolar, que posteriormente es entregado a una institución educativa.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo del prototipo, primero se realizó una investigación de las necesidades de la institución, posteriormente se identificó el uso que se puede dar con el Tetra Pak, después se analizó el método de recopilación del material que sería utilizado como materia prima para la transformación de la paleta fija. El proceso que se implemento es el que se muestra en la Figura 3.

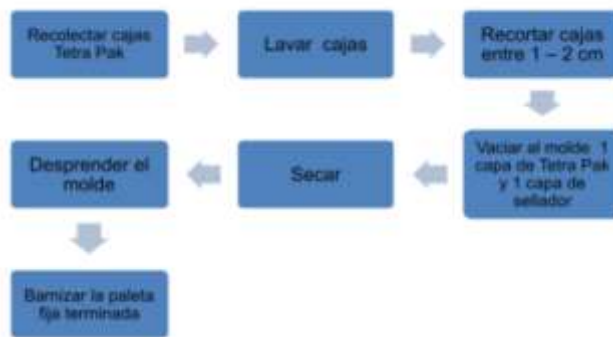


Figura 3. Proceso de elaboración de paleta fija. (Fuente: Propia)

Con el proceso antes mencionado se tuvo que analizar con qué otro producto podría ser compatible la mezcla para que quedara firme la paleta con los desechos de Tetra Pak, logrando llevar el proceso de transformación del producto de la siguiente manera, ver figura 4:

  <p>1. Se recolectaron 48 cajas de Tetra Pak desechadas las cuales se recopilaron con familias de los estudiantes, se hizo lavado de las cajas, dejándolas secar, aproximadamente un día.</p>	 <p>2. Proceso de corte, usando tijeras como herramienta para cortar las cajas en pequeños trozos hasta quedar entre 1 y 2 cm aproximadamente</p>	 <p>3. Diseño de paleta fija utilizando un software con las medidas estándares.</p>
 <p>4. Se requirió del apoyo de un proveedor para la fabricación del molde con las medidas estándares de una paleta fija.</p>	 <p>5. Proceso de fabricación de la paleta, primeramente, se vertió sobre el molde una capa de sellador, una capa de Tetra Pak triturado (repitiendo el mismo proceso 4 veces).</p>	 <p>6. Paleta fija terminada y con el acabado de una capa de barniz.</p>

Figura 4. Proceso de transformación de los desechos de Tetra Pak. (Fuente: Propia).

Posteriormente se diseñó una matriz de evaluación con la finalidad de analizar una lista de criterios que podrían ser de apoyo para conocer las oportunidades o mejoras del prototipo, obteniendo los siguientes resultados, ver tabla 1.

Característica	Paleta de madera	Paleta de plástico	Paleta de tetrapak
Versatilidad	7	8	10
Peso en kg	4	7	9
Apariencia	9	10	8
Aprovechamiento de desechos	0	0	10
Impacto ambiental	3	2	10

Tabla 1. Matriz de evaluación. (Fuente: Propia)

Después del análisis de criterios se puede observar como la paleta de Tetra Pak tiene también ventajas contra otras que son fabricadas de madera y plástico ver figura 5.



Figura 5. Diferentes tipos de materiales de las paletas de butacas escolares. (Fuente: Propia)

RESULTADOS

Los resultados obtenidos con un solo ensayo, comprobó que no presenta fracturas, además muestra casi la misma dureza y apariencia de una paleta de plástico. Al retirar del molde el producto logra extraerse completamente solo que es necesario ponerle un recubrimiento con papel aluminio para que no se quede pegado. Sin embargo, aún faltan más pruebas de ensayo para conocer la resistencia, fragilidad y permeabilidad del prototipo, por lo que se requiere del apoyo de un laboratorio para identificar todas las características necesarias y dar marcha a la producción de más paletas fijas.

Por otra parte, lograr un primera propuesta de manera artesanal con un prototipo de paleta fija a base de desechos de Tetra Pak como alternativa sustentable, ver figura 6, para el mantenimiento de las butacas que carecen de esa pieza en el área de servicios generales del Instituto Tecnológico Superior de Xalapa da una alternativa para utilizar material reciclable y con ello ayudar a minimizar el impacto que tiene dicho material con el medio ambiente, además con el prototipo se puede lograr una aportación en el área educativa al reutilizar muchas bancas sin paleta, sin la parte tubular así como otras piezas, mismas que están almacenadas en el taller de mantenimiento, deteriorándose al paso del tiempo.



Figura 6. Paleta fija elaborada con Tetra Pak. (Fuente: Propia)

CONCLUSIONES

Con el desarrollo del prototipo se logró comprobar que hacer uso de un material, como lo es el Tetra Pak, para transformarlo en materia prima y a su vez utilizarlo es una opción de solución a una necesidad en el área de servicios generales del ITSX, creando un producto de larga vida, que no contamine y de fácil almacenamiento; al mismo tiempo se recicla y se busca dar una de tantas alternativas a los desechos de las cajas de Tetra Pak para desarrollar unas paletas fijas, logrando que varias sillas sin paletas se vuelvan a utilizar y con ello abastecer a más salones, dándole un segundo uso para alargar más su vida útil y de esa manera no acumular sillas en lugares a la intemperie deteriorándose por la falta de una paleta fija.

Para concluir, es importante aprovechar al máximo los residuos y así transformarlos en materiales que sirvan para cubrir una necesidad y que den vida a nuevos productos.

Los procesos de reciclaje en la escuela nos proporcionan una herramienta práctica para que el estudiante 'aprenda haciendo', resolviendo situaciones necesarias para el aprovechamiento y racionalización de los recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cajas Rivera M. I. (2011) "Propuesta de desarrollo de un material para construcción utilizando empaque Tetra Pak como componente principal y su aplicación en el diseño para la optimización de espacios en escuela Pública Tula Ortega". Recuperado: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/841/Reyes_ph.pdf?sequence=1&isAllowed=y
2. Cruz Aburto, É. Y. (2018) "La basura que día con día generamos". Coordinación universitaria para la sustentabilidad, UV. Ciencia y Luz, Universidad Veracruzana. Recuperado: <https://www.uv.mx/cienciauv/files/2018/02/05-CYL-LA-BASURA-QUE-DIA-CON-DIA-00.pdf>
3. Gaceta de la Comisión Permanente (2019). Recuperado: https://www.senado.gob.mx/64/gaceta_comision_permanente/documento/98295.
4. Mere Juárez R. A. (2014) "Elaboración y evaluación de placas aglomeradas a base de polietileno de alta densidad reciclado y envases de tetra. Tesis de Licenciatura. Pág. 18. Recuperado: <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/2919/MTmejura025.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
5. Oliva Izaga, I.L.E (2015). "Diseño de un proceso para la elaboración del Chiptec". Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Trujillo. Perú. Recuperado: <https://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/3842/OLIVA%20IZAGA%20IVAR%20C%20LUIS%20EDUARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Reyes Perfecto H. (2007). "Reciclaje de Envases de Tetra Pak: Su Factibilidad Técnica y Económica". Tesis de licenciatura". Recuperado: https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/841/Reyes_ph.pdf?sequence=1&isAllowed=y
7. Tetra pak. (2016). "Impulsa tetra PAK cultura del reciclaje con historias reales". Recuperado: http://www.iesseneca.net/iesseneca/img/pdf/conectores_textuales.pdf

APLICACIÓN DE LA ESPINELA $ZnAl_2O_4$ EN LA DETECCIÓN DE GAS PROPANO

José Trinidad Guillen Bonilla¹, Alex Guillen Bonilla², María Eugenia Sánchez Morales³, Verónica María Rodríguez Betancourt⁴, Víctor Manuel Soto García⁴, Víctor Manuel Rangel Cobián⁵ y Héctor Guillen Bonilla⁵

¹Departamento de Electrónica, ⁴Departamento de Química, ⁵Departamento de Ingeniería de Proyectos, CUCEI, Universidad de Guadalajara, Blvd. M. García Barragán 1421, 44410, Guadalajara, Jalisco, México. ²Departamento de Ciencias Computacionales e Ingenierías, CUVALles, Carretera Guadalajara-Ámeca, Km 45.5, 46600, Ámeca, Jalisco, México.

³Departamento de Ciencias Tecnológicas, CUCLénege, Uninversidad de Guadalajara, Av. Universidad No. 1115, Col. Linda Vista, CP 47810, Ocotlan, Jalisco, México.

trinidad.guillen@academicos.udg.mx

RESUMEN

En este trabajo se propone un detector de gas propano a base de la respuesta eléctrica del óxido semiconductor tipo espinela de $ZnAl_2O_4$ en función de la temperatura y del tiempo. El sensor químico ($ZnAl_2O_4$) se construye con polvos del compuesto obtenidos de un proceso de síntesis de química húmedo. Para desarrollar el sistema de detección se desarrolló un circuito analógico que consiste en un puente de Wheatstone donde a uno de sus brazos se le conecta el sensor resistivo; sus señales de salida son comparadas con un circuito sumador-restador cuya señal de salida es la entrada de un circuito comparador de lazo abierto. El principio de operación del detector se basa en dos etapas: calibración y detección. En la calibración, el nuevo sensor resistivo se coloca en una atmosfera donde no hay presencia de gas propano y se calibra el circuito, siendo su señal de alarma aproximadamente cero, $V_{Alarm} \approx 0$. En la detección, el sensor se coloca en el lugar donde se desea monitorear la presencia de las concentraciones de propano. Entonces, si el sensor detecta la presencia del gas, su resistencia varía y esta variación causa un desbalanceo del puente de Wheatstone, como una consecuencia, su diferencial de potencial es diferente de cero. Esto significa, que el puente de Wheatstone fue desbalanceado, el detector de gas propano genera una señal de alarma diferente de cero, $V_{Alarm} \approx 11.3$ Volts. Esta señal de alarma indica la presencia de gas propano en la atmósfera. Nuestro nuevo sensor fue probado con una concentración de 1000 ppm de propano a temperatura de 250°C. De acuerdo con nuestros resultados, el $ZnAl_2O_4$ es ideal para ser aplicado en la industria donde se manejan altas temperaturas (mayores a 200 °C).

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, con el crecimiento de las urbes, más requerimientos de seguridad industrial y doméstica están siendo solicitados, por tal motivo, muchos grupos de investigación alrededor del mundo están desarrollando nuevos materiales para la detección de gases tóxicos (principalmente CO, CO₂, propano y NO, etc.). En los nuevos materiales se modifica su resistencia eléctrica cuando ellos son expuestos a atmósferas con presencia de gas tóxico. Los cambios de resistencia eléctrica cuando son expuestos a concentraciones de estos gases se aprovecha en el diseño de nuevos circuitos electrónicos cuyo objetivo es la adaptación de la señal eléctrica. En la referencia [1], los autores estudian la respuesta dinámica de impedancia para el óxido CoSb₂O₆ y a partir de su respuesta eléctrica, se proponen un nuevo detector de gas de dióxido de carbono (CO₂). El detector se basa en amplificadores operacionales a 250°C, la máxima concentración detectable fue de 100 ppm y la magnitud de impedancia promedio fue de 2.623KΩ. El circuito electrónico mostró buena eficiencia, rápida respuesta y alta funcionalidad. Por otro lado, en la referencia [2], se describe la respuesta estática del NiSb₂O₆. A partir de su respuesta eléctrica, los autores proponen y construyen un nuevo dispositivo para la detección de gas de monóxido de carbono (CO). El detector se basa en amplificadores operacionales, puede detectar concentraciones dentro del intervalo de 1 ppm hasta 300 ppm, puede operar a las temperaturas de 100 a 300°C. El nuevo dispositivo es económico, fácil de construir, posee alta eficiencia, rápida respuesta a la presencia de gas tóxico y es altamente sensible.

Considerando la información de la literatura [3-5], nuestro grupo de investigación sintetizó polvos del óxido semiconductor $ZnAl_2O_4$ a baja temperatura aplicando un proceso de química húmeda asistido

con radiación de microondas para su aplicación como detector de gases tóxicos (propano). Con los polvos del óxido, se manufacturaron pellets con el propósito de investigar su capacidad para detectar atmósferas de propano (C_3H_8) en corriente directa (C.D.). Los experimentos hechos sobre el óxido $ZnAl_2O_4$ presento estabilidad térmica, una alta sensibilidad y una excelente respuesta dinámica a temperatura de $250\text{ }^\circ\text{C}$. De acuerdo a esta información, el $ZnAl_2O_4$ es idóneo para ser aplicado como sensor de atmósferas de propano. Esto se demuestra en este trabajo desarrollando un nuevo dispositivo cuyas características son alta resolución, tiempos de respuesta seleccionable durante el diseño y voltajes pequeños de operación.

DETECTOR DE GAS PROPANO

En la Figura 1 se muestra el diagrama electrónico para la detección de gas propano de la espinela $ZnAl_2O_4$. De los polvos obtenidos del proceso de síntesis del óxido, se consideró 0.3 g de polvo del material que después fueron comprimidos mediante una prensa hidráulica para manufacturar los pellets usados durante la prueba de detección. Las dimensiones de los pellets fueron de 12 mm de diámetro y 0.5 mm de espesor, respectivamente. Para una adecuada prueba de detección de gases, al pellet se les colocaron dos contactos óhmicos de pintura de plata coloidal. Más tarde, los pellets se introdujeron dentro de una cámara de alto vacío (10^{-3} torr) y las terminales se conectaron al multímetro Keithley 2001. La superficie de los pellets, fueron expuestos a flujos de aire y gas propano (1000 ppm) durante periodos de 5 minutos y con el multímetro se registraron variaciones de resistencia dentro del intervalo de 1,520 y 1,670 k Ω .

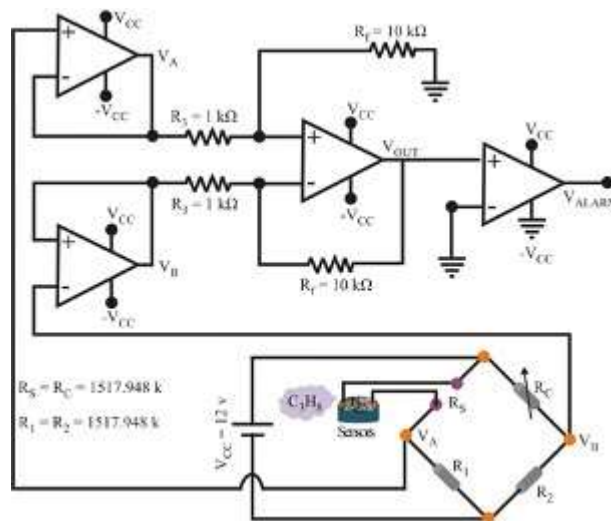


Figure 1. Diagrama electrónico propuesto para el detector de atmósferas de gas propano: Temperatura de operación de $250\text{ }^\circ\text{C}$ y una concentración de 1000 ppm.

A partir de la respuesta eléctrica obtenida para el $ZnAl_2O_4$, seleccionamos un punto de operación de $1517.948\text{ k}\Omega$ y entonces se propone un detector de atmósferas de gas propano. Su diagrama electrónico se presentó en la Figura 1. De acuerdo a este diagrama (ver Figura 1), el detector electrónico consiste de un puente de Wheatstone, dos circuitos seguidores, un circuito sumador-restador, un circuito comparador de lazo abierto y una fuente de alimentación de ± 12 Volts. El puente de Wheatstone tiene dos voltajes de salida V_A, V_B, V_A', V_B' y sus valores de resistencia son $R_c = R_r = R_1 = R_2 = 1517.948\text{ k}\Omega$. R_s es la resistencia del sensor de gas propano, R_v es una resistencia variable para calibrar el puente de Wheatstone y R_1, R_2, R_3, R_4 son resistencias de precisión. Los dos circuitos seguidores están hechos con amplificadores operacionales y son para estabilizar los voltajes V_A, V_B, V_A', V_B' e incrementar la impedancia del circuito sumador-restador. El circuito sumador-restador consiste de un amplificador

operacional y cuatro resistencias de precisión: dos $R_1 = 1K\Omega$, $R_2 = 1K\Omega$ y dos $R_f = 10K\Omega$, $R_c = 10K\Omega$, su función es hacer la diferencia entre los voltajes V_A y V_B y el resultado lo amplifica 10 veces. Finalmente, el comparador es un amplificador operacional cuya entrada inversora (-) y $-V_{cc}$ están conectadas a común (tierra), su función es generar 0 Volts cuando el sensor no detecta la presencia de gas propano en la atmosfera y también genera una señal de alarma (V_{Alarm}) (V_{Alarm}) si el sensor detecta gas propano en la atmosfera. El voltaje V_{Alarm} es equivalente al voltaje de saturación del amplificador operacional, $V_{sat} = 11.3V$. Nuestro nuevo detector de gas opera a la temperatura de $250^\circ C$ y una concentración de gas de 1000 ppm. Para su operación requiere de dos etapas: calibración y detección.

Calibración

En la etapa de calibración, el sensor de gas se coloca en una atmosfera sin presencia de gas propano y el detector se calibra implementando los siguientes pasos: a) el puente de Wheatstone se calibra con la resistencia variable R_c hasta que la condición $V_{AB} = 0$ es satisfecha,

$$V_{AB} = V_A - V_B = 0 \quad (1)$$

donde el voltaje V_A es calculado por

$$V_A = \frac{R_1}{R_1 + R_c} V_{cc} \quad (2)$$

y el voltaje V_B es

$$V_B = \frac{R_2}{R_2 + R_c} V_{cc} \quad (3)$$

Sustituyendo las expresiones (2) y (3) en la ecuación (1), el voltaje V_{AB} toma la forma

$$V_{AB} = V_{cc} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_c} - \frac{R_2}{R_2 + R_c} \right) \quad (4)$$

Sustituyendo los valores del Puente de Wheatstone y el valor de la fuente de voltaje (Ver Figura 1), obtenemos

$$V_{BA} = 12V \left(\frac{1517.94K\Omega}{1517.94K\Omega + 1517.94K\Omega} - \frac{1517.94K\Omega}{1517.94K\Omega + 1517.94K\Omega} \right) = 12V \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{2} \right) = 0 \quad (5)$$

b) los voltajes V_A y V_B se estabilizan con los circuitos seguidores; c) El circuito sumador-restador hace la diferencia entre V_A y V_B , posteriormente el resultado es amplificado 10 veces $\left(\frac{R_f}{R_2} = 10 \right)$

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_2} V_{AB} = \frac{R_f}{R_2} (V_A - V_B) \quad (6)$$

Sustituyendo valores en ecuación (6) y considerando las ecuaciones (1) y (5) se obtiene

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_2} (V_A - V_B) = \frac{10K\Omega}{1K\Omega} \left(\frac{12V}{2} - \frac{12V}{2} \right) = 10(6V - 6V) = 0 \quad (7)$$

d) el comparador tiene su voltaje de salida definido por

$$V_{Alarm} = V_{sat} = A_{ol} V_{out} = 100,000(0) = 0 \quad (8)$$

$A_{ol} \approx 100,000$ es la ganancia de lazo abierto del amplificador operacional. En este caso, el detector no genera señal de alarma ($V_{Alarm} \approx 0$) porque el sensor no detecta la presencia de la concentración del gas propano en la atmósfera.

Detección

En la etapa de detección, el sensor ZnAl_2O_4 se instala en una atmósfera donde es posible la presencia de gas propano y es deseable monitorearla. Para que el sensor realice adecuadamente el proceso de detección de propano, se requiere las siguientes etapas: a) cuando el sensor químico detecta la presencia de gas propano en la atmósfera, su resistencia eléctrica disminuye $\overline{\Delta R}$ y causa un desbalance el puente de Wheatstone, tal que, la condición (9) es satisfecha

$$\overline{V_A} > \overline{V_B} \quad (9)$$

Por que

$$\frac{V_{CC}R_1}{R_1 + R_c - \Delta R_c} > \frac{V_{CC}R_2}{R_2 + R_c} \quad (10)$$

Sustituyendo los valores del circuito electrónico mostrado en Figura 1, obtenemos

$$\frac{12V(1517.94K\Omega)}{1517.94K\Omega + 1517.94K\Omega - \Delta R_c} > 6V \quad (11)$$

b) el resultado de la diferencia de voltaje se amplifica diez veces con el circuito sumador-restador,

$$V_{out} = \frac{R_f}{R_2} V_{cc} \left(\frac{R_1}{R_1 + R_c - \Delta R_c} - \frac{R_2}{R_2 + R_c} \right) = 120V \left(\frac{1517.94K\Omega}{1517.94K\Omega + 1517.94K\Omega - \Delta R_c} - \frac{1}{2} \right) \quad (12)$$

y se cumple la condición $\overline{V_{out}} > 0$; c) el voltaje $\overline{V_{out}}$ causa que el comparador tenga saturación positiva y entonces su voltaje de salida es $\overline{V_{out}} \approx 11.3V$ debido a la ganancia de lazo abierto del amplificador operacional,

$$\overline{V_{alarm}} = A_{ol} V_{out} = 100,000(V_{out}) = V_{out} \approx 11.3V \quad (13)$$

Observando ecuación (13), la señal de alarma $\overline{V_{alarm}}$ y el voltaje de saturación $\overline{V_{out}}$ son equivalentes, estos se producen si y solamente si el nuevo detector está detectando la presencia de gas propano en la atmósfera monitoreada.

DISCUSIÓN

El óxido semiconductor ZnAl_2O_4 fue sintetizado mediante una ruta de química húmedo asistido con radiación de microondas y los polvos fueron caracterizado eléctricamente en presencia de concentraciones de propano. Para la caracterización eléctrica se utilizaron pellets, los cuales, fueron manufacturados con los polvos del compuesto. Durante las pruebas de detección a los pellets se aplicó un voltaje de corriente directa $V_{cc}=1V$ y se registró el valor de resistencia en función del tiempo, comprobando de esta manera el comportamiento típico del óxido ZnAl_2O_4 como un sensor químico de gas (en nuestro caso en propano). Los resultados obtenidos en los experimentos son consistentes con los reportados en las referencias [1,3].

Analizando la respuesta eléctrica del sensor (ZnAl_2O_4) se propone una metodología para su adaptación de señal, siendo la base para el diseño de un sistema detector de atmósferas de propano y amplificadores operacionales. En el diseño se considera la respuesta dinámica del sensor, ganancia del circuito electrónico, así como sus parámetros y su funcionalidad. Nuestro nuevo prototipo tiene amplia gama de aplicación en el hogar e industrias donde existe interés en detectar zonas con alto riesgo de explosión debido a fugas de combustible. Su construcción es económica y tiene excelentes características de funcionalidad. Nuestro trabajo futuro tiene las siguientes direcciones: modelar y analizar la respuesta eléctrica del óxido ZnAl_2O_4 y desarrollar detectores de gas aplicando dispositivos electrónicos programables con el objetivo de aplicarlo al internet de las cosas.

CONCLUSIONES

La microestructura del óxido semiconductor ZnAl_2O_4 fue preparado usando un método de síntesis alternativo de química húmedo con el propósito de obtener tamaños de partícula nanométrico para su aplicación como sensor de gases. Este tipo de procesos tienen la ventaja de obtener la fase cristalina a baja temperatura en comparación con las vías de síntesis tradicionales (reacción de estado sólido). Además, con las rutas de química húmeda es posible registrar diferentes morfologías de gran interés para el desarrollo electrónico de la tecnología de los sensores de gases tóxicos. La morfología (micro-rods) obtenida del ZnAl_2O_4 mostraron tener una buena estabilidad térmica y una alta respuesta dinámica al momento de someter los pellets en atmósfera de propano (1000 ppm) a temperatura constante de 250 °C. La respuesta dinámica encontrada del material fue calculado en el rango 1520–1670 k Ω y la sensibilidad del sensor se estimó en el rango 0.11–1.33. En base a estos resultados, diseñamos un detector de atmósferas de propano cuya resolución es $\Delta R_{s, \min} = 5.717 \Omega$, tiempo de respuesta de 3 s., voltaje de salida de operación es de 11.3V, su concentración de operación es 1000 ppm y temperatura de operación de 250 °C.

BIBLIOGRAFÍA

1. A. Guillen Bonilla, V. M. Rodríguez Betancourt, H. Guillen Bonilla, L. Gildo Ortiz, O. Blanco Alonso, N. E. Franco Rodríguez, J. Reyes Gómez, A. Casillas Zamora, J. T. Guillen Bonilla, "A new CO₂ detection system based on the trirutile-type CoSb₂O₆ oxide", *Journal of Materials Science: Material in Electronics*, Issue 18, **2018**, 13 Pages.
2. J. T. Guillen Bonilla, H. Guillen Bonilla, V. M. Rodríguez Betancourt, A. Casillas Zamora, J. A. Ramírez Ortega, L. Gildo Ortiz, M. E. Sánchez Morales, O. Blanco Alonso, A. Guillen Bonilla, "Carbone Monoxide (CO) detection device based on the Nickel Antimoniate Oxide and a DC Electronic Circuit", *Applied Science*, Vol. 9, **2019**, 3799, 17 Pages.
3. S. Farhadi, S. Panahandehjoo, "Spinel-type zinc aluminate (ZnAl_2O_4) nanoparticles prepared by the co-precipitation method: A novel, green and recyclable heterogeneous catalyst for the acetylation of amines, alcohols and phenols under solvent-free conditions", *Applied Catalysis A: General*, Vol. 382, **2010**, 293–302.
4. B. Cheng, Z. Ouyang, B. Tian, Y. Xiao, S. Lei, "Porous ZnAl_2O_4 spinel nanorods: High sensitivity humidity sensors", *Ceramics International*, Vol. 39, **2013**, 7379–7386.
5. M. Kumar, M. Mohapatra, "A case study of energy transfer mechanism from uranium to europium in ZnAl_2O_4 spinel host by photoluminescence spectroscopy", *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, Vol. 159, **2016**, 42–47.
6. R. Alammouz, J. Podlecki, P. Abboud, B. Sorli, R. Habchi, "A review on flexible gas sensors: From materials to devices", *Sensors and Actuators A*, Vol. 284, **2018**, 209–231.
7. H. Gómez-Pozos, T.V.K. Karthik, M. de la L. Olvera, A. García Barrientos, O. Pérez Cortés, J. Vega-Pérez, A. Maldonado, R. Pérez-Hernández, V. Rodríguez-Lugo, "ZnO thin films as propane sensors: Band structure models to explicate the dependence between the structural and morphological properties on gas sensitivity", *Journal of Physics and Chemistry of Solids*, Vol. 106, **2017**, 16–28.

MODELO HIDROGEOLÓGICO PARA DETERMINAR LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO HÍDRICO EN LA ZONA DE PASO DE PIRULES, GUANAJUATO.

Nelly Sarai Ramos Reyes¹, Ma. Jesús Puy Y Alquiza¹, José Miguel Soria Ugalde¹

¹Universidad de Guanajuato
n_0519@hotmail.com

RESUMEN

La presente investigación se lleva a cabo en la comunidad Paso de Pirules que se ubica en la zona sur de la ciudad de Guanajuato, esta zona presenta un proceso de expansión física y crecimiento urbano que se ha incrementado exponencialmente desde el 2000 (INEGI, 1980-2010). La expansión física registra condiciones de irregularidad en la ocupación y en la forma de propiedad del suelo. El Consejo Nacional de población (CONAPO) estima que en las décadas de 2010-2030 la población del municipio de Guanajuato crecerá en poco más de 25,000 habitantes (el 14.8%), lo cual se traduce en la demanda de 6,250 viviendas y se prevé que en el futuro en esta área de estudio continuará aumentando la demanda de uso de suelo urbano y crecimiento poblacional debido a la redistribución que presenta la ciudad, la zona sur tiende a aumentar su densidad, mientras que la cabecera (la cañada) tiende a disminuir lentamente. Este reordenamiento provoca altos costos en el mantenimiento y la introducción de infraestructura o incluso rezago en ciertas zonas más alejadas del centro de población, tal es el caso de la red de agua potable y drenaje con la generación de gastos excedentes para su mantenimiento, fugas hidráulicas. Ya que más del 95% de los pozos se localizan en esta zona suroeste. La presente propuesta de investigación tiene un carácter hidrogeoquímico e isotópico que tiene como objetivo profundizar en el conocimiento del funcionamiento de los sistemas hídricos de la zona Sur (Paso de Pirules, Puentecillas del municipio de Guanajuato). Para lograr dicho objetivo se realizará una modelación hidrogeoquímica utilizando la técnica de modelo inverso la cual utiliza los resultados de los análisis de los isótopos el (18O, 2H) contenida en las moléculas de agua subterránea y superficial, los parámetros físicos (temperatura, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos, pH) medidos en campo, los parámetros químicos de la concentración de iones mayores (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, HCO₃⁻, NO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻) disueltos en agua subterránea, y los parámetros biológicos (Coliformes totales y fecales) como herramientas enfocadas a evidenciar origen y patrones de flujo de los componentes mayoritarios existentes en el agua subterránea. Para la interpretación de los datos obtenidos de los isótopos y los parámetros físicos y químicos, se utilizará el programa AquaChem mientras que la modelación hidrogeoquímica se realizará mediante software PHREEQC. Y la modelación del agua superficial con el software Hydrus-2D. Se pretende también que el proyecto contribuya con recomendaciones para el mejor uso de los recursos hídricos de la zona de estudio y a su vez incentivar a la comunidad local en el control y vigilancia de los recursos hídricos.

INTRODUCCIÓN

Actualmente el uso del agua ha venido aumentando un 1% anual en todo el mundo desde los años 80 del siglo pasado, impulsado por una combinación de aumento de la población, desarrollo socio económico y cambio en los modelos de consumo. La demanda mundial de agua se espera que siga aumentando a un ritmo parecido hasta 2050, lo que representa un incremento del 20 al 30% por encima del nivel actual de uso del agua, debido principalmente al aumento de la demanda en los sectores industrial y doméstico. (WWAP (Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de la UNESCO), 2019).

La disponibilidad de agua promedio anual en el mundo es de aproximadamente 1,386 millones de km³, de estos el 97.5% es agua salada, el 2.5%, es decir 35 millones de km³, es agua dulce y de esta casi el 70% no está disponible para consumo humano debido a que se encuentra en forma de glaciares, nieve o hielo. En términos globales el agua superficial solo representa al menos el 0.5% del agua del planeta respecto al agua subterránea que representa aproximadamente el 2% del volumen total. Los ambientes hidrológicos superficiales se encuentran puntualmente ubicados y los caudales de explotación suelen no ser suficientes para los diversos usos a los que se destina, de igual manera se encuentran más expuesto a la contaminación, Por el contrario, el agua subterránea se

encuentra más homogéneamente distribuida en el planeta. (Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C., 2020) Por ello, en la mayoría de los países desarrollados, que se caracterizan por optimizar los usos de los recursos naturales, el empleo de agua subterránea para consumo humano, supera apreciablemente al del agua superficial. (Auge, 2004).

La presente investigación se lleva a cabo en la subcuenca de la Purísima, Guanajuato, México, donde el principal empleo de agua es de agua subterránea. Esta zona presenta un proceso de expansión física y crecimiento urbano que se ha incrementado exponencialmente desde el 2000 (INEGI, 1980-2010). La Comisión Nacional de la Población (CONAPO) estima que en las décadas de 2010-2030 la población del municipio de Guanajuato crecerá en poco más de 25,000 habitantes (el 14.8%), lo cual se traduce en la demanda de 6,250 viviendas y se prevé que en el futuro en esta área de estudio continuará aumentando la demanda de uso de suelo urbano y crecimiento poblacional debido a la redistribución que presenta la ciudad, la zona sur tiende a aumentar su densidad, mientras que la cabecera (la cañada) tiende a disminuir lentamente. Este reordenamiento provoca altos costos en el mantenimiento y la introducción de infraestructura o incluso rezago en ciertas zonas más alejadas del centro de población, tal es el caso de la red de agua potable y drenaje con la generación gastos excedentes para su mantenimiento, fugas hidráulicas. Ya que el más del 95% de los pozos se localizan en esta zona suroeste del municipio, siendo la zona más importante de recarga acuífera ya que auxilia al abastecimiento de la capital del estado.

Estos aspectos han motivado la investigación en esta zona para determinar la disponibilidad del recurso hídrico y su entorno hidrogeológico aplicando diferentes técnicas de estudio, entre las que destacan las hidroquímicas, isotópicas, hidrodinámicas y estadísticas. Estas técnicas de estudio aportan de manera integrada información sobre los procesos hidroquímicos e hidrodinámicos que se producen y su relación con el flujo subterráneo, estimación de los recursos disponibles con márgenes de certidumbre, áreas de recarga y descarga y tipo de interacción del acuífero con el río, infraestructuras subterráneas, etc. El modelo hidrogeológico conceptual permitirá conocer el funcionamiento hídrico en la zona de estudio y la disponibilidad del recurso hídrico para cubrir las demandas urbanas de la zona de estudio y así tener una mejor gestión del agua.

TEORÍA

La presente propuesta de investigación tiene un carácter hidrogeoquímico e isotópico que tiene como objetivo profundizar en el conocimiento del funcionamiento de los sistemas hídricos de la zona Sur (Paso de Pirules, Puentecillas del municipio de Guanajuato).

Para lograr dicho objetivo se realizará una modelación hidrogeoquímica utilizando la técnica de modelo inverso la cual utiliza los resultados de los análisis de los isótopos el (^{18}O , ^2H) contenida en las moléculas de agua subterránea y superficial, los parámetros físicos (temperatura, conductividad eléctrica, alcalinidad, sólidos disueltos, pH) medidos en campo, los parámetros químicos de la concentración de iones mayores (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}) disueltos en agua subterránea, y los parámetros biológicos (Coliformes totales y fecales) como herramientas enfocadas a evidenciar origen y patrones de flujo de los componentes mayoritarios existentes en el agua subterránea.

Para poder llegar a esta modelación hidrogeoquímica es necesario conocer el funcionamiento hidrológico y la interacción de los diferentes cuerpos de agua y realizar una caracterización hidrogeológica e hidrogeoquímica del agua superficial y subterránea, con el fin de construir un modelo hidrogeológico e identificar las zonas de recarga de los acuíferos y proponer un buen manejo y aprovechamiento del agua, se utilizó los Softwares ArcGis y Geomodel para analizar la información del área de estudio. Para la realización del modelo conceptual se desarrollaron cuatro modelos hídricos; modelo geológico, modelo hidrológico, modelo hidráulico y modelo hidrogeoquímico e isotópico lo cuales tiene diferentes características que conforman un modelo hidrogeológico conceptual, cada uno de los modelos aportan datos y herramientas que permiten conocer la dinámica del agua subterránea de la zona y su potencial de extracción para el abastecimiento de la población.

PARTE EXPERIMENTAL

Para llevar a cabo el modelo conceptual hidrogeológico se divide en dos fases:

La primer fase consiste en la integración del análisis e interpretación realizado sobre la información geológica, hidrológica, hidráulica del área de estudio.

En la segunda fase se realiza la integración de la información hidroquímica e isotópica, permitiendo ambas fases llegar a tener una visión del comportamiento de los acuíferos o sistemas acuíferos del área de estudio. Finalmente se construye un modelo hidrogeológico conceptual en el cual se integra la información geológica, hidrogeológica, hidrológica, e hidráulica que se haya recopilado

RESULTADOS

En cuanto al modelo hidrogeológico conceptual en su análisis geológico se puede observar que el área de estudio está conformada por dos zonas, la zona norte y zona sur. Desde el punto de vista geológico la zona norte está constituido por rocas del jurásico (calizas) y del terciario (Rocas sedimentarias y volcánicas), mientras que la zona sur está caracterizada por rocas sedimentarias del terciario (areniscas , conglomerado y aluvión).En función del tipo de roca podemos tener dos posibles acuíferos, en la parte norte un acuífero confinado y un acuífero granular en la zona sur. Respecto al perfil litológico se tiene el material granular (conglomerado) 200m, el material volcánico tiene un espesor de 500m. Y en la parte superior se encuentra el material aluvión con 250m de espesor.

En cuanto los sistemas de fallas se observa un sistema que actúan como fronteras entre el acuífero de la zona norte y el acuífero de la zona sur. Posiblemente dichas fronteras estructurales funcionan como canales de descarga hacia el acuífero. Desde el punto de vista las unidades hidrogeológicas en la zona de estudio se encuentran caracterizadas por cuatro unidades principales que son cuaternario, terciario sedimentario, terciario volcánico, jurasico-cretacico- sedimentario.

Con respecto al modelo hidrológico se analizaron 5 estaciones meteorológicas que mostraron la precipitación media anual es de 736.3mm, la distribución temporal de precipitación mostro que el periodo de lluvias es de mayo a octubre mientras que de noviembre a abril es la temporada de secas El cálculo del balance hídrico seriado nos mostró que durante el periodo de mayo a octubre tenemos el periodo de recarga mientras que del periodo octubre a febrero presentan excesos hídricos. Durante el periodo de febrero a mayo se presenta déficit de excesos hídricos.

Con los polígonos de Thiessen se observa que las lluvias son orográficas ya que la mayor cantidad de lluvia se presenta en la zona norte donde se encuentra la mayor pendiente y altitud. La zona de recarga se ubica en la zona norte mientras que en la zona sur de ubica la zona de extracción. Por lo cual la disponibilidad del agua presenta una mayor disponibilidad en la zona sur y en la zona norte una disponibilidad de baja a alta. La zona de estudio presenta un inventario de 73 pozos de los cuales se encuentran distribuidos en la zona norte 26 pozos sus principales usos son de servicios públicos y uso industrial. En la zona sur se cuenta con un inventario de 47 pozos sus usos principales son de uso agrícola.

De acuerdo con el Modelo hidráulico el área de estudio presenta 4 unidades hidrogeológicas principales que son Q, TS, TV,JKS. Respecto a su grado de permeabilidad las unidades Q, TS, y TV presentan una permeabilidad de bajo a alta, mientras que la unidad JKS tiene un grado de permeabilidad muy bajo. Con relación a la porosidad estas unidades hidrogeológicas tienen un grado de porosidad excelente, excepto la unidad terciario volcánico que presenta una porosidad baja. Por lo cual podemos indicar que las características de los acuíferos dentro de la zona norte, es donde se ubica la zona de recarga potencial media mientras que la zona sur presenta una transmisividad alta lo que permite que sea la zona de extracción.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados analizados hasta el momento podemos decir que el área de estudio se divide en dos zonas por sus características y propiedades acuíferas de las rocas.

En la zona se encuentran rocas riolíticas y tobas con permeabilidad secundaria debido al fracturamiento y fallamiento que presentan en su composición, las rocas metamórficas (filitas y calizas) presentan una porosidad significativa pero con un baja permeabilidad, que les permite almacenar agua en las fisuras. Las rocas volcánicas funcionan como fronteras impermeables de un acuífero que podría alojarse en las rocas calizas y lutitas, que podría mostrar condiciones de semiconfinamiento.

La zona sur está formada en su mayoría por sedimentos granulares constituidos por areniscas de medias a gruesas y conglomerados de una granulometría fina que presentan una porosidad y permeabilidad altas. En esta zona podría estar un acuífero aluvial ya que el tipo de rocas presentan una conductividad hidráulica vertical, donde se efectúa el almacenamiento del agua.

De la evaluación de la información hidrometeorológica es posible inferir que las lluvias que precipitan en el sistema montañoso de la zona norte constituyen en la fuente principal de agua que alimenta al subsuelo, esto es facilitado por la permeabilidad secundaria de las rocas fracturadas y el complejo metamórfico. Probablemente el flujo de las aguas subterránea tiene una dirección que proviene de las elevaciones topográficas y podrían indicar que la recarga del acuífero es por infiltración de la lluvia que están limitadas por las estructuras de fallas y que van hacia las partes del valle de la zona sur.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aparicio, J., Lafragua, J., Gutiérrez- López, A., Mejía, R., & Aguilar, E. (2006). *Evaluación de los recursos hídricos. Elaboración del balance hídrico integrado por cuencas hidrográficas. Programa Hidrológico Internacional*. Programa Hidrológico Internacional (PHI)-LAC Documento Técnico del PHILAC, (4).
2. Auge, M. (2004). *Hidrogeología Ambiental*. Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires .
3. Bécher Quinodóz, F. N., Blarasin, M. T., & Panarello, H. O. (2015). Modelado Geoquímico e Isotópico de las Relaciones Agua Superficial-Subterránea en la Planicie Arenosa del Sur de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 506-518.
4. Cano Rodríguez, I., Gómez Vallejo, F., Aguilera Alvarado, A., De la Rosa, G., & Gardea Torresdey, J. (2004). Transporte y destino final de fósforo en el acuífero de Puente de Guadalupe, Guanajuato. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 201-208.
5. Comisión Docente Curso Internacional de Hidrología Subterránea. (2009). *Conceptos básicos de hidrología subterránea*. Barcelona: Fundación Centro Internacional de Hidrología Subterránea.
6. Cortés, A., Durazno, J., & Kralisch, S. (2007). Rapid isotopic changes in groundwater, upper Rio Guanajuato catchment, Mexico. *Geofísica Internacional*, 77-85.
7. Fattorelli, S., & Fernández, P. (2007). *Diseño hidrológico*. Zeta Editores.
8. Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, A.C. (Mayo de 2020). *AGUA.ORG.MX*. Obtenido de *AGUA.ORG.MX*: <https://agua.org.mx/en-el-planeta/>
9. Gobierno de México. (Mayo de 2020). *Gobierno de México*. Obtenido de Comisión Nacional del Agua: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/organismo-de-cuenca-lerma-santiago-pacifico>
10. Hernández, L. N. (1991). *Modelo conceptual de funcionamiento hidrodinámico del sistema acuífero del Valle de León, Guanajuato*. México: Tesis profesional de licenciatura, UNAM.
11. Instituto de Planeación, Estadística y Geografía del Estado de Guanajuato. (s.f.). *Programa Estatal de Desarrollo Urbano y Ordenamiento Ecológico Territorial del Estado de Guanajuato*. Guanajuato.
12. Instituto Nacional de Estadística geográfica e informática. (1998). *Estudio Hidrológico del Estado de Guanajuato*. México: INEGI.
13. Lesser y Asociado S.A de C.V. (1998). Estudio hidrogeológico y modelo matemático del acuífero Valle de Silao-Romita, Guanajuato.

ANÁLISIS POR ICP-OES DE METALES EN FILTROS DE MATERIAL PARTICULADO (PM10) EN TABASCO

Dayli Guadalupe Romero De la Cruz¹, María Antonia Lunagómez Rocha¹, Hermicenda Pérez Vidal¹
Ciro Márquez Herrera²

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, ²Universidad Nacional Autónoma de México.
antoniam.lunagomez@ujat.mx.

RESUMEN

En el presente trabajo, se realizó el estudio de metales pesados asociadas a las partículas PM10, monitoreados en el período del 2016 al 2020 en muestras de filtros de puntos de monitoreo de la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable del Estado de Tabasco. Las concentraciones de material particulado PM10 (del inglés Particulate Matter) evaluados en los municipios: Paraíso, Centro, Centla y Comalcalco, un promedio de 24 horas. En el municipio de Paraíso, rebaso el valor máximo permisible para partículas PM10), $75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ establecido por la Norma Oficial Mexicana (NOM 025-SSA1-2014. De igual manera, los filtros de partículas PM10 fueron analizados por la técnica de ICP-OES (por sus siglas en inglés), determinándose las concentraciones de veintinueve metales, y los efectos tóxicos reportados en la literatura. Por lo que, en base a los estándares internacionales establecidos por el Ambient Air Quality Criteria de Canadá, se reportan los resultados de los metales Ba, Cr, Ca y Si. La caracterización química-morfológica del material particulado se realizó con SEM-EDS, obteniéndose la presencia de elementos químicos asociados a tipos de fuentes antropogénicas.

INTRODUCCIÓN

Un porcentaje muy alto de partículas lo constituyen los metales pesados, elementos considerados ubicuos ya que se hallan presentes en los distintos compartimentos del medio ambiente. En específico, las partículas PM10 se asocian comúnmente con niveles significativamente elevados de metales, como As, Cd, Cr y Pb, los cuales pueden ser inhalados o ingeridos [1]. La exposición a algunos metales pesados ha sido asociada a una gran variedad de efectos adversos a la salud, incluyendo el cáncer; aunque algunos elementos son esenciales para el crecimiento (Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo), pero pueden ser peligrosos a altos niveles de exposición, debido a sus características más comunes de persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad [2].

En el Estado de Tabasco, todas las funciones de medio ambiente que le correspondían a la Secretaría de Energía, Recursos Naturales y Protección Ambiental (SERNAPAM), pasaron a la nueva Secretaría de Bienestar, Sustentabilidad y Cambio Climático, que a través de la Subsecretaría de Sustentabilidad y Cambio Climático opera el "Programa de Monitoreo de la Calidad del Aire", el cual tiene como objetivo monitorear los niveles de inmisión de contaminantes criterios importantes para la salud y bienestar humano conforme a las normas y en referencia al Índice de Calidad del Aire (ICA). La actividad petrolera ha tomado relevancia en el Estado y a su vez las actividades antropogénicas, en este estudio se procedió a realizar el análisis con muestras de filtro en el período de la Red Multi-Institucional de Muestreo de Partículas Fracción Respirable $\leq 10\mu$ (PM10) para la determinación de metales por ICP-OES, lo que hizo posible la cuantificación de metales en cada una de las muestras; así como la obtención de información morfológica y de composición química superficial de las partículas atmosféricas PM10 a través de SEM-EDS.

TEORÍA

Las partículas, también conocidas como partículas suspendidas, aeropartículas o material particulado —del inglés particulate matter— y aerosoles, son algunos de los términos que se emplean para describir las materias sólidas y líquidas, dispersas y arrastradas por el aire, mayores que las moléculas individuales (las moléculas miden aproximadamente $0.0002 \mu\text{m}$ de diámetro) pero menores de $500 \mu\text{m}$ ($1 \mu\text{m} = 1 \text{micrón} = 10^{-4} \text{cm}$) [3]. La materia particulada se divide frecuentemente en subclases, que incluyen polvo fino (menor de $100 \mu\text{m}$ de diámetro), polvo grueso (más de $100 \mu\text{m}$ de diámetro), vapores ($0.001\text{-}1 \mu\text{m}$ de diámetro) y neblinas ($0.1\text{-}10 \mu\text{m}$ de diámetro).

Clasificación de las partículas atmosféricas:

De acuerdo a su origen:

- Partículas primarias; son aquellas que se emiten directamente a la atmósfera por diversas fuentes. Las partículas gruesas son principalmente de esta naturaleza.
- Partículas secundarias; se forman en la atmósfera como resultado de reacciones químicas a partir de la presencia de materiales gaseosos, llamados precursores (Ej. SO₂, NO_x, COV y NH₃) Las partículas finas son principalmente de esta naturaleza [3].

De acuerdo al tamaño:

Se utiliza el diámetro aerodinámico como un indicador del tamaño de la partícula; este indicador es igual al diámetro de una partícula esférica de densidad unitaria que tiene la misma velocidad terminal que la partícula considerada [2]. Con frecuencia, los diámetros de las partículas se dan en micrómetros (µm) En el sistema inglés micra (µ) equivale al micrómetro (1 µm=1µ) [4]. La concentración de los contaminantes presentes en el aire se expresa por medio de las unidades de masa y volumen usuales, es decir mg/m³ o µg/m³ [5].

Fracción gruesa; la componen las partículas cuyo diámetro aerodinámico se encuentra entre 2.5 y 10 µm (PM_{2.5-10})

Fracción fina; comprende las partículas con diámetro aerodinámico menor a 2.5 µm (PM_{2.5}).

Fracción ultra fina; se refieren a las partículas menores a 0.1 µm (PM₁).

De acuerdo al proceso de formación y tamaño:

El diámetro aerodinámico está en función de los procesos de formación de las partículas (Ver Tabla 1), de las cuales se distinguen en diversas "modas" [2]. Correspondiente a las partículas menores de 0.1 µm, es la moda nuclear, en el rango de 0.1 a 2 µm es la moda acumulativa, mientras que las partículas finas se incluyen tanto en la moda nuclear como en la acumulativa, las partículas mayores de 2 µm es la moda gruesa [4].

Fuentes emisoras

Las fuentes de emisión se clasifican en una serie de categorías, una de las más comunes es dividir las en fuentes antropogénicas (fuentes fijas o estacionarias, fuentes de área y fuentes móviles) y fuentes naturales (biogénicas y geogénicas) [2]:

Fuentes antropogénicas: engloban las emisiones generadas por las actividades humanas (provenientes de fábricas, automóviles, construcciones, tortillerías, quemas agrícolas, etc). Se agrupan a su vez en tres subgrupos:

1. Fuentes fijas o estacionarias

Toda instalación establecida en un solo lugar y que tenga como propósito desarrollar procesos industriales, comerciales, servicios o actividades que generen o puedan generar emisiones contaminantes a la atmósfera. A través de actividades de combustión o como resultado de diversos procesos que se llevan a cabo dentro de las fuentes fijas:

- a) Molienda, trituración o abrasión de materiales, un ejemplo es la molienda del clinker de cemento
- b) Evaporación de materia volátil derivada de materiales sujetos a calentamiento, por ejemplo, la que se presenta en los hornos de vidrio y de metales no ferrosos
- c) Arrastre de partículas finas en flujos gaseosos, como en el secado de los compuestos químicos por atomización.

2. Fuentes de área

Aquellas fuentes que son demasiado numerosas y dispersas. Ejemplo de ellas son las gasolineras, tintorerías, actividades de construcción, quemas agrícolas, incineradoras municipales, resuspensión de polvos de caminos, entre otras.

3. Fuentes móviles

Corresponden a transporte terrestre, aunque en algunos casos se puede incluir el transporte fluvial, marítimo y aéreo [1]. Las emisiones de este tipo de fuentes son principalmente un producto de la combustión y evaporación de los combustibles utilizados, tubos de escapes, así como del desgaste tanto de los frenos como de las llantas.

Fuentes naturales. Son aquellas derivadas de fenómenos naturales donde no interviene el hombre. Generalmente naturales se clasifican en biogénicas y geogénicas, aunque en términos de las emisiones de partículas únicamente contribuyen estas últimas.

Fuentes geogénicas: Comprenden todas las de origen geológico, como los volcanes, géiseres y las que tienen que ver con el suelo.

Normas Oficiales Mexicanas vigentes

Actualmente en México existen las NOM, en las cuales se establecen los límites permisibles de los contaminantes (ver Tabla 1), [2,3].

Tabla 1. Especificaciones de las NOM vigentes en materia de salud.

Contaminante	Exposición	Frecuencia tolerada	LMP NOM ¹	Criterio de suficiencia anual	Descripción NOM
Partículas PM ₁₀	Aguda	No se permite	Promedio 24 horas: 75 µg/m ³		NOM-025-SSA1-2014. Salud ambiental. Valores límites permisibles para la concentración de partículas suspendidas PM ₁₀ y PM _{2.5} en el aire ambiente y criterios para su evaluación
	Crónica	-	Promedio anual: 40 µg/m ³	Por lo menos tres trimestres con al menos el 75% de los promedios de 24 horas válidas.	
Partículas PM _{2.5}	Aguda	No se permite	Promedio 24 horas: 45 µg/m ³		NOM-024-SSA1-1993. "Salud Ambiental. Criterio para evaluar la calidad del aire ambiente, con respecto a las (PST). Valor permisible para la concentración de (PST) el aire ambiente, como medida de protección a la salud de la población"
	Crónica	-	Promedio anual: 12 µg/m ³		
PST	Aguda		Promedio 24 horas: 260 µg/m ³		1 vez al año
	Crónica		Promedio anual: 75 µg/m ³		

¹ Límite máximo permisible correspondiente a cada una de las NOM.

PARTE EXPERIMENTAL

La metodología se llevó a cabo de acuerdo a los compendios de la United States Environmental Protection Agency (por sus siglas en inglés, USEPA) Método IO-3.1 y Método IO-3.5, así como la NOM-025-SSA1-2014. En cuatro municipios del estado de Tabasco los cuales fueron: Paraiso, Centro, Centla y Comalcalco A continuación, se describe los procedimientos en base a los compendios y normas mencionado.

Monitoreo y cálculo de la concentración de partículas PM₁₀.

El monitoreo de partículas ambientales PM₁₀ se realizaron en equipos manuales de alto volumen especificados por estación descritos en la Tabla 2. Consistió en la instalación de filtros de fibra de vidrio durante un período de muestreo de 24 horas y se determinó la concentración de PM₁₀ conforme al método de referencia establecido en la NOM-025-SSA1-2014.

Tabla 2. Estaciones manuales de monitoreo para PM₁₀.

Clave de la estación de monitoreo	Ubicación (municipio)	Equipo	Marca	Modelo
ITSC	Comalcalco	Muestreador manual de PM ₁₀ de alto volumen (Hi-vol).	Thermo Fisher Scientific	HIVOL-AMBEE, AMBE
ITSCe	Frontera, Centla	Muestreador manual de PM ₁₀ de alto volumen (Hi-vol).	Thermo Fisher Scientific	GUV-16H
UPGM	Paraíso	Muestreador manual de PM ₁₀ de alto volumen (Hi-vol).	Thermo Fisher Scientific	HIVOL-AMBEE, AMBE
ITVH	Centro	Muestreador manual de PM ₁₀ de alto volumen (Hi-vol).	Graseby Anderson	Graseby GMW
UJAT-DACBIOL	Centro	Wedding PM ₁₀ (Hi-Vol Sampler).	Wedding & Associates, INC	Critical high volume sampler

Preparación de los filtros.

Los filtros utilizados de fibra de vidrio fueron inspeccionados con el fin de detectar imperfectos. En el manejo de los filtros, los operadores utilizaron guantes en todo momento para manipularlos y así evitar la contaminación con grasas naturales de la piel y la humedad. Antes de determinarse el peso inicial de los filtros, se equilibraron en un ambiente estable de por lo menos 24 horas, es decir, en un desecador. Al finalizar el período de muestreo, fueron acondicionados y pesados en una balanza analítica para determinar la ganancia de peso neto. Se consideraron los siguientes puntos: Humedad relativa entre 20 y 45%, con una variabilidad de no más de ±5% (24 horas), a una temperatura entre los 15-35°C, con una variabilidad de no más de ±3% de acuerdo al método de referencia federal. Previo al proceso de instalación es necesario definir un sistema de reconocimiento para cada uno de los filtros a llevar a campo.

Cálculo de concentración de partículas PM₁₀.

Para el cálculo del promedio de 24 horas de cada día se requiere un mínimo de 75% de las concentraciones horarias válidas (18 registros).

La concentración de material particulado ≤10 µm en promedio de 24 horas se calcula aplicando la siguiente Ec 1:

Ec.1

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Donde:

\bar{x} = promedio de 24 horas.

n = número de concentraciones horarias válidas (µg/m³).

x_i = concentraciones horarias válidas.

Sin embargo, el valor reportado se consideró en un muestreo de 24 horas.

Análisis y determinación de la concentración de metales en filtros PM₁₀ por ICP-OES.Preparación de filtros.

Se cortó una tira de 1"x8" del filtro expuesto en el monitoreo y fue utilizado en la técnica de extracción con microondas.

Digestión por microondas.

La tira de filtro fue transferida al tubo de teflón PTFE (previamente etiquetado), al cual se le añadió 15 mL de solución extractante (HNO₃/HCl), de manera que cubriera la tira completamente. Posteriormente, se realizó el pesaje inicial.

- Previamente, para evitar la contaminación de los filtros, se lavó con HCl todo el material que entró en contacto con ellos.
- Para la digestión se utilizó el equipo microondas Milestone High Performance (Microwave digestion unit mls 1200 mega), programado a 341 W durante 23 min. Al finalizar el programa, se esperó a que la presión se disipara y se enfrió con agua común por 10 minutos y en la campana de extracción por otros 10 minutos. Después de la digestión se realizó el pesaje final, para completar la extracción a cada tubo se le agregó 10 mL de agua desionizada, agitado en vortex por 2 minutos. El volumen de extracción fue vertido en un tubo de polipropileno para el análisis.

Preparación de estándares.

Se prepararon estándares con concentraciones 0.1 ppm, 1 ppm, 5 ppm y 10 ppm analizándose en total veintinueve metales. Los estándares empleados se describen a continuación:

- Estándar 21: 100 µg/mL (As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V, Zn). 5% HNO₃ / Tr. Tart. Acid / Tr. HF. PerkinElmer.
- Estándar 7A: 100 µg/mL (K, Si, Al, B, Ba, Na, Ag). 5% HNO₃ / Tr. HF. PerkinElmer.
- Mercury: 10 µg/mL (Hg). 5% HNO₃. HF PerkinElmer.

Para la preparación de las concentraciones se despejó la fórmula $V_1C_1 = V_2C_2$ Ec 2:

Ec. 2

$$V_2 = \frac{V_1C_1}{C_2}$$

Análisis de muestras en equipo ICP-OES.

El método está basado en la medición de la emisión atómica por medio de una técnica de espectroscopia óptica. Las muestras se nebulizan y el aerosol formado se transporta hasta la antorcha de plasma en donde tiene lugar la excitación electrónica. Un plasma de radiofrecuencia acoplado inductivamente (ICP) genera los correspondientes espectros de líneas de emisión atómicas. Los haces de luz son dispersados por un espectrómetro de red de difracción y los detectores se encargan de medir las intensidades de las líneas. Las señales originadas en los detectores se procesan y controlan mediante un sistema informático.

Previo al análisis el equipo Perkin Elmer Optical Emission Spectrometer Avio 500, se calibró con parámetros que se indican en el Anexo 1, Tabla 30. Además, se creó una curva de calibración con los estándares realizados a diferentes concentraciones. Luego, se realizaron las lecturas de las muestras aspirando cada una de ellas en el orden anotado en el software.

- Se analizó el estándar de control cada 10 muestras.
- Se aspiraba agua destilada después de cada lectura para eliminar efectos de memoria.

Determinación de la concentración de metales.

- Se utilizaron como blancos 3 tiras de filtro. Se calculó el promedio de acuerdo a la Ec. 3

$$\text{Promedio} = \frac{\text{Conc. bco1} + \text{Conc. bco2} + \text{Conc. bco3}}{3} - \text{Conc. bco}_{co} \quad \text{Ec. 3}$$

Donde:

Promedio= Promedio de las concentraciones (por metal) de las 3 tiras blanco.

Conc.bco1= Concentración (por metal) de la tira blanco 1.

Conc.bco2= Concentración (por metal) de la tira blanco 2.

Conc.bco3= Concentración (por metal) de la tira blanco 3.

Conc. Bco= Concentración (por metal) del blanco de la corrida.

Por último, se aplicó la siguiente ecuación, la cual nos proporciona la concentración final por metal de acuerdo a la Ec 4

Ec. 4

$$C = \frac{\left(\frac{(\text{Conc.})(V_f)}{P_i} \right) (9) - F_{bi}}{V_{std}}$$

Donde:

C = concentración, $\mu\text{g metal/std m}^3$.

Conc. = Concentración (por metal) de la tira muestreada correspondiente.

V_f = Volumen final de la extracción (25 mL).

P_i = Peso de la tira del filtro muestreado.

9 = Área del filtro total, 20 cm x 23 cm (8"x9") / Área de una tira expuesta, 2.5 cm x 20 cm (1"x8").

F_{bi} = Cantidad del metal por 465 cm^2 del filtro testigo, μg .

V_{std} = Volumen de aire que pasó a través del filtro std/m^3 .

Análisis químico y morfológico por MEB-EDS

El SEM funciona con un haz de electrones producido por un cañón termoiónico (filamento de tungsteno), al cual se le aplica un potencial eléctrico que acelera el haz de electrones hacia una columna, éste es focalizado por medio de lentes electromagnéticas sobre la muestra. Al chocar los electrones con la muestra interactúan produciendo varias señales que podrán ser recogidas de acuerdo con los detectores presentes. La magnificación de la imagen se produce por un conjunto de lentes electromagnéticas que mediante un tratamiento adecuado de las señales electrónicas son proyectadas en un tubo de rayos catódicos (CRT).

Las muestras se analizaron por SEM. Para el análisis morfológico, las muestras se montaron sobre cinta conductora de cobre en un porta muestra de aluminio. Posteriormente se observaron en el equipo JEOL JSM-6010LA (Ver Anexo 2, Figura 25) a 20 kV de voltaje de aceleración en condiciones de alto vacío a diferentes aumentos. Se utilizó un detector EDS para realizar el análisis semicuantitativo y de distribución de elementos en la superficie de las muestras. Las imágenes se procesaron en el Software InTouchScopeTM.

Investigación toxicológica de metales en la salud de la población

La exposición a metales o la presencia de estos en el aire ambiente está determinada por normas o estándares nacionales e internacionales.

RESULTADOS

Concentración de partículas PM_{10}

El monitoreo fue realizado en un período húmedo de 24 horas por filtro, obteniéndose las concentraciones de los diferentes puntos de monitoreo de los cuatro municipios monitoreados. Los resultados obtenidos en el análisis gravimétrico se compararon con la NOM-025-SSA1-2014, la cual establece el valor máximo permisible para la concentración de partículas suspendidas PM_{10} en $75 \mu\text{g/m}^3$ en un promedio de 24 horas.

En la Tabla 3, se reportan las concentraciones obtenidas de los puntos de muestreo. En el municipio de Paraíso (UPGM), rebasaron el valor máximo permisible (LMP) establecido por la NOM. Las otras muestras monitoreadas no rebasaron el LMP. En se señalan los datos de registro obtenidos en el monitoreo de todas las muestras.

Tabla 3. Concentraciones de PM₁₀ por puntos de monitoreo.

Clave de estación	Municipio	Fecha	Conc. (µg/m ³)	IMECA	Precipitación (mm)
UPGM	Paraíso	05-NOV-16	53	68	161.4
UPGM	Paraíso	11-NOV-16	110	113	161.4
DACBiol	Centro	10-ENE-17	25	31	84.3
DACBiol	Centro	28-ENE-17	26	33	84.3
DACBiol	Centro	01-OCT-17	4	6	414.0
UPGM	Paraíso	31-OCT-17	82	103	414.0
DACBiol	Centro	14-ENE-18	16	20	323.0
ITSCe	Centla	23-ENE-18	43	54	323.0
ITSC	Comalcalco	26-ENE-18	14	17	323.0
ITVH	Centro	26-ENE-19	19	20	323.0
UPGM	Paraíso	24-OCT-20	90	101	442.0

Concentraciones que rebasan el valor máximo permisible establecido por la NOM 025-SSA1-2014.

En general, la concentración de PM₁₀ más elevada fueron en el municipio de Paraíso.

Concentración de metales

Dada la importancia del efecto sobre la salud de las partículas inhalables PM₁₀ y los metales asociados a ellas, se evaluaron los niveles de 29 metales (As, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, V, Zn, K, Si, Al, B, Ba, Na, Ag y Hg), analizadas por medio de ICP-OES.

Los valores permisibles para cada uno de los metales se determinaron conforme a estándares nacionales de calidad de aire y estándares de organismos internacionales: OMS y Canadá (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Estándares nacionales e internacionales para contaminantes criterio.

Metal	OMS ⁽¹⁾ (µg/m ³) Promedio de 24 h	Canadá ⁽²⁾ (µg/m ³) Promedio de 24 h
Calcio	-	35
Cromo	0.2	0.00035
Cobre	-	50
Hierro	-	4.0
Litio	-	2.5
Magnesio	-	35
Molibdeno	-	120
Vanadio	1.0	2.0
Zinc	-	120
Silicio	-	5.0
Boro	-	120
Bario	-	10

⁽¹⁾ Air Quality Guidelines for Europe- WHOROEC 2000.

⁽²⁾ Ambient Air Quality Criteria- Canadá. (Promedio de 24 h).

Las concentraciones obtenidas de los metales en los filtros PM₁₀ se observan en la Tabla 5, de los cuales As, Be, Cd, Co, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Ti, Tl, K, Al, Na, Ag y Hg se encontraron por

debajo del límite de detección. De acuerdo al estándar internacional del Ambient Air Criteria de Canadá, las concentraciones del Ca rebasaron los días 10 y 28 de enero del 2017 y los días 14 y 23 de enero del 2018. El Ba y Cr rebasaron los estándares los días muestreados de los años 2016, 2017 y 2018. El metal Si, a excepción de los días 31 de octubre del 2017 y 26 de enero del 2018 (clave ITSC) rebasó los niveles establecidos en las demás fechas muestreadas.

Tabla 5. Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) de metales cuantificados por ICP-OES.

Metal / ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	05-NOV-16 (UPGM)	11-NOV-16 (UPGM)	10-ENE-17 (DACBioI)	28-ENE-17 (DACBioI)	01-OCT-17 (DACBioI)	31-OCT-17 (UPGM)	14-ENE-18 (DACBioI)	23-ENE-18 (ITSCe)	26-ENE-18 (ITVH)	26-ENE-18 (ITSC)
Ca	31.67	29.74	36.98	43.32	34.33	18.48	36.19	36.85	29.80	22.93
Cr	0.026	0.019	0.041	0.061	0.033	0.00429	0.036	0.067	0.0229	0.036
Cu	0.062	0.10	0.036	0.060	0.048	0.025	0.044	0.047	0.0220	0.039
Fe	1.31	1.51	1.51	1.83	1.27	0.59	1.18	1.13	1.095	0.53
Li	0.027	0.022	0.025	0.031	0.024	0.012	0.025	0.028	0.021	0.016
Mg	5.078	5.90	5.38	6.40	5.22	3.00539	5.44	6.17	4.57	2.82
Mo	<LD	<LD	<LD	0.00190	<LD	0.00281	0.00163	0.00296	0.00044	<LD
V	0.00211	0.015	0.0052	0.0058	0.0018	0.0055	0.0027	0.0044	0.0028	0.0020
Zn	25.44	37.35	29.86	36.14	36.040	24.72	38.91	33.82	32.92	27.73
Si	5.41	7.63	6.79	9.52	8.46	4.27	10.30	6.0038	8.43	3.36
B	84.25	73.98	80.60	95.31	88.41	48.068	89.41	85.44	73.76	58.88
Ba	16.17	20.27	19.12	25.23	26.059	19.63	28.94	22.88	23.36	20.11

<LD= Por debajo del límite de detección.

Concentraciones que rebasan el Ambient Air Quality Criteria de Canadá.

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Por ello, la USEPA (1999) define como metales peligrosos para la salud al Cr, Cd, Mn, Ba, V, Ni, Pb y Cu. En cuanto a la OMS, también considera como elementos dañinos para la salud al Cd, Pb, Mn, Hg, Pt y V (efectos sobre cáncer) y As, Cr (VI) y Ni (cancerígeno).

Los valores registrados para este estudio indicaron que de acuerdo con los estándares del Ambient Air Quality Criteria de Canadá las concentraciones de los metales Cr, Si y Ba son significativas y pueden ocasionar efectos adversos en el medio ambiente y a la salud.

Caracterización química y morfológica de partículas PM_{10} obtenidas por MEB-EDS

El estudio contempla la utilización de MEB-EDS a fin de caracterizar las partículas de PM_{10} en términos de morfolología y tamaño. En la Tabla 6, se indican las muestras de PM_{10} que se escogieron para el análisis. En este caso los criterios de selección fueron con base en el lugar de monitoreo.

Tabla 6. Muestras analizadas por MEB.

Filtro	Clave	Concentración ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
11-NOV-2016	UPGM	110
28-ENE-2017	DACBioI	26
23-ENE-2018	ITSCe	43
26-ENE-2018	ITSC	14

La composición química de las partículas inhalables (PM_{10}) suspendidas en la atmósfera son geográficamente variables y depende del tipo de actividad local. Una mezcla típica de PM contiene sulfatos (amonio y calcio), nitratos (principalmente amonio), cloruros (principalmente sodio), carbono orgánico y elemental (particularmente relacionado con el tráfico de vehículos), materiales biológicos y otros compuestos orgánicos, compuestos de hierro, metales traza y minerales derivados de rocas, suelo y construcción, entre otros compuestos orgánicos e inorgánicos. El origen de los aerosoles se distingue por su aspecto morfológico.

Las partículas atmosféricas PM₁₀ presentaron en todas las muestras morfologías circulares, geométricas, irregulares y ovales. A continuación, se describen las partículas más representativas por filtro analizado.

Municipio de Paraíso clave UPGM

Las partículas encontradas son de un tamaño muy pequeño, oscilando entre 1.0 a 9.0 μm . Principalmente se presentaron las formas circulares, sin embargo, en las formas geométricas e irregulares se encontraron cantidades de Si y Ca, Figura 1a).

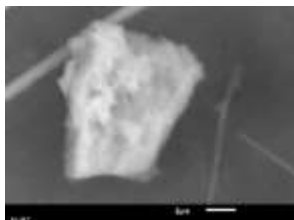


Figura 1 a) Partícula geométrica.

Composición química: Origen antropogénico, posible resuspensión de material o erosión de productos de construcción.

Elemento	% masa
O	57.02
Na	7.15
Al	1.13
Si	28.38
S	4.71
K	0.17
Ca	1.16
Ti	0.02
Fe	0.27
Total	100.00

Municipio de Centro

Se presentó una mayor proporción de las formas irregulares y circulares Figura 1 b). Las partículas se conformaron principalmente de elementos asociados de O, Na, Al, Si, S, Cl, Ca y K; en algunas formas particuladas se presentaron porcentajes altos de Si y de Al posible origen antropogénico.

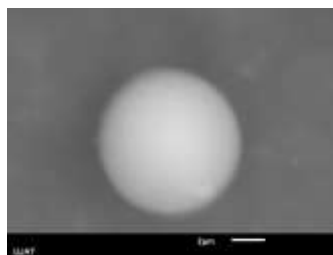


Figura 1 b) Partícula esférica

Composición química: Origen antropogénico, posible proceso de combustión o resuspensión del material.

Elemento	% masa
O	45.89
Na	0.66
Al	3.75
Si	46.05
S	1.00
Cl	0.48
K	2.17
Total	100.00

Municipio de Centla clave ITSCe.

De acuerdo a la composición química elemental usualmente se presentaron el O, Na, Si y Ca, en menor frecuencia y porcentaje (ms%) de Si y Al. Figura 1 c)



Figura 1.c) Partículas metálicas

Composición química: origen antropogénico, posible resuspensión del suelo.

Elemento	% masa
O	62.24
Na	1.36
Al	4.26
Si	29.31
K	2.48
Ca	0.34
Total	100.00

Municipio de Comalcalco clave ITSC.

En la composición química de acuerdo a la morfología de las partículas recurrentemente se encontraron O, Na, Cl y Si, en menor frecuencia S y Ca. Figura 1d)



Figura 1d). Partícula irregular.

Composición química: Origen antropogénico, posible proceso de industrial.

Elemento	% masa
O	78.93
Al	0.23
Si	0.32
Cl	0.11
Ca	20.41
Total	100.00

CONCLUSIONES

En los cuatro municipios muestreados de PM10 en Tabasco, se encontró que en el municipio de Paraíso rebasó el valor máximo permisible tres días de acuerdo a la Norma. Por ICP-OES se obtuvieron concentraciones elevadas de acuerdo a los estándares internacionales de Ca, Cr, Si y Ba., demostrando que están asociadas a fuentes antropogénicas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pérez Vidal, H.; Lunagómez Rocha, M. A.; Acosta Pérez, L. I. (2010). Characterization of Atmospheric Particles and Heavy Metals Collected in Ambient Air of Cunduacán Tabasco, Mexico. Universidad y Ciencia. Vol. 20. No. 2
2. Suarez García, S. M., Zarate, M. A., Villa Peralta, P. V., Cupil Cupil, A. (2014). Evaluación de las concentraciones de partículas PM₁₀ y su relación con las condiciones meteorológicas (temperatura y humedad relativa) en el municipio de Frontera, Centla, Tabasco. Revista Ingenieros Año 2 No. 1. Vol. 2
3. Pereyra, L. (2006, junio). Determinación de partículas en suspensión y metales pesados en muestras de aire. UPV/EHU, 27.
4. Zheng, N., Liu, J., Wang, Q., Liang, Z. (2010). Health risk assessment of heavy metal exposure to street dust in the zinc smelting district, Northeast of China. Revista Science of the Total Environment, 408(4), 726-733.
5. Espert Alemany, V.; López Jiménez, P. A. (2004). Dispersión de contaminantes en la atmósfera. Alfa Omega grupo editor. México. 218 p.

APLICACIÓN DE ELECTRODOS DE AL, TI Y CU EN UN SISTEMA DE ELECTROCOAGULACIÓN PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA DE TALADRINA

Yasmin De la cruz Nicolas, Miriam Estrada Flores, Oscar G. Rojas Valencia, Carmen M. Reza San German

Instituto Politécnico Nacional – Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas (IPN – ESIQIE)

E-mail: ydelacruz1401@egresado.ipn.mx

RESUMEN

La industria metalmecánica juega un papel importante en México y es mundialmente reconocida, es una industria encargada de surtir a los demás eslabones de la cadena productiva con maquinaria, transformando la materia prima proveniente de los metales para la obtención de láminas, alambres, placas, entre otras; con el fin de tener como producto final repuestos de autopartes para vehículos, receptores de radio o tuercas. En esta industria se utiliza el termino taladrina o aceite de corte para referirse al aceite industrial mezclado con agua (emulsión) utilizado en la lubricación y/o refrigeración durante sus diferentes operaciones de moldeado desprendiendo diversos químicos tóxicos como nitrilos, aminas, biocidas, entre otros; convirtiéndose en una de las industrias más contaminadora para el medio ambiente¹. Es esta investigación se aporta una opción viable para la recuperación de agua que conforma la taladrina, haciendo a un lado todos los desechos y aceites que son perjudiciales al ambiente. El estudio se realizó a nivel laboratorio en reacciones por bloques o tipo batch, utilizando un sistema de electrocoagulación alimentadas con un generador de voltaje GW Instek GPC-30300 (el cual proporciona corriente eléctrica de 0.01A) para aplicar voltaje desde 5 hasta 20 volts. Para la serie de experimentos se analizó el efecto de los electrodos, eligiendo Al, Ti y Cu con dimensiones de 1*5 cm cada uno. En toda la serie de experimentos, se obtuvieron resultados favorables en la recuperación del agua, teniéndose diferentes cantidades y calidades en función a los electrodos utilizados en el proceso de separación. Después de analizar diferentes parámetros como temperatura, pH, apariencia con un microscopio óptico y absorbancia con espectrómetro de UV-VIS se eligió al electrodo de aluminio como el más viable en la recuperación de agua, aunque no es potable es capaz de ser reutilizable en otras actividades cotidianas.

INTRODUCCIÓN

Las emulsiones, taladrinas o fluidos de corte en la industria metalmecánica son soluciones acuosas concentradas que se diluyen al 3.5% como mínimo y con un pH ligeramente alcalino de 8-10 empleándose primordialmente en la transformación del metal y en muy pocas veces en la de vidrio. Habitualmente, las taladrinas se comercializan como concentrados, que posteriormente son diluidos “in situ” con agua en la propia industria, con el fin de aumentar su capacidad lubricante (Emulsione con alto contenido en aceite) o refrigerante (Emulsiones con alto contenido en agua) según se requiera, además de incorporar algunos aditivos como tensoactivos, inhibidores de la corrosión, humectantes, antiespumantes, biocidas o aditivos para operaciones a alta presión o alguna otra sustancia².

TEORÍA

Una emulsión es una mezcla que se compone por dos fases líquidas inmiscibles que consiste en que una fase se encuentre dispersa o interna en forma de pequeñas y finas gotas estando en menor cantidad frente a la otra; la fase que pertenece continua o externa será encargada de rodear a la fase anterior y se encontrara en mayor cantidad⁴.

Las emulsiones son causadas por turbulencia o agitación y en su formación deben estar presentes tres parámetros fundamentales:

- Dos líquidos inmiscibles
- Suficiente agitación para dispersar un líquido en pequeñas y finas gotas
- Un emulsificador para estabilizar las gotas dispersas

Ahora bien, una taladrina o fluido de corte es una emulsión usada en la industria metalmeccánica para mejorar la calidad de los materiales, que cuando es usada esta se desgasta perdiendo sus propiedades y cambiando sus características, pasando de ser una emulsión favorable a ser un residuo peligroso por el daño que puede llegar a generar en el medio ambiente y a la salud, a este proceso de desgaste y desecho se le conoce como taladrina agotada.

Electroquímica

Esta es una rama de la química que estudia la interacción y correlación de los procesos químicos y eléctricos mediante las reacciones de oxidación – reducción. El primer uso de la electricidad para el tratamiento de aguas fue propuesto en el Reino Unido en 1889, y desde ese momento se han venido desarrollando diferentes técnicas para el tratamiento de efluentes procedentes de una planta industrial para la recuperación de metales pesados y la reutilización de agua para el consumo. Hay algunas técnicas que son muy comunes en la aplicación de la electroquímica en industrias como la metalurgia o en la fabricación de pilas, en el tratamiento de aguas residuales y efluentes gaseosos tales como, la electrodiálisis, la electroflotación, la oxidación directa o indirecta y finalmente la electrocoagulación, todos estas utilizadas por los bajos costos y ventajas que representan.³

Un reactor de electroquímica en su forma más simple está compuesto de un ánodo y un cátodo, los cuales están conectados a una fuente de poder externa. Cuando el potencial es aplicado el material del ánodo es oxidado, mientras el material del cátodo es reducido¹.

Existen una serie de variables que se deben considerar para diseñar y ejecutar un proceso de electroquímica. Algunos de ellos influyen en la construcción del equipo y otros de la operatividad del sistema en sí. Es por ello que a continuación se detallan los parámetros más importantes³:

- Tipo de operación, es decir; batch o continuo.
- La acumulación de burbujas de O_2 y H_2 en los electrodos puesto que si estas aumentan se incrementará la resistencia, aumentando la utilización de energía.
- La transferencia de masa entre los electrodos debe ser óptimo y para ello se debe garantizar un flujo dentro del reactor.
- Distancia entre electrodos: Esta influye en la resistencia a la conducción eléctrica que ofrece la fase acuosa que los separa, es decir; entre mayor sea la distancia entre las placas mayor será la resistencia al paso de la corriente entre ellas, regularmente se deben usar distancias entre electrodos de entre 5mm a los 3cm.
- La geometría del electrodo
- Tipo de material de los electrodos : El ánodo determina el catión que se introduce en el agua. Los metales más usados en ensayos del proceso de electrocoagulación son de hierro y el aluminio.
- Voltaje aplicado que puede variar con respecto a la conductividad, la distancia y el material de los electrodos
- Tipo de conexión eléctrica que determinará el gasto de energía y normalmente se divide en dos: monopolar y bipolar.

La electroquímica es un método que tiene gran potencial para eliminar lo que otros tratamientos no pueden, pero al igual que otros tratamientos este presenta la ventaja de requerir una menor superficie para llevar a cabo la operación a un tiempo de residencia mucho menor que otros tratamientos, este tratamiento no requiere de gran instalación además de ser sencilla y compacta por lo que su costo de operación e instalación es económico y lo más importante es que en las celdas electroquímicas no se utilizan productos químicos, por lo tanto, no presentan una contaminación secundaria. Sus únicas desventajas es que los electrodos se deben cambiar con regularidad debido a la oxidación formada entre ellas haciendo que la eficiencia en el proceso de electroquímica disminuya, además de que el costo de electricidad en algunos lugares es altamente costoso.⁵

PARTE EXPERIMENTAL

Especificación de la celda electroquímica

Los ensayos realizados durante el experimento se llevaron a cabo en una celda de compuesta por una fuente de alimentación, un vaso de precipitado que funge como reactor batch y electrodos, esto debido a que es el arreglo más fácil, sencillo y adecuado para realizar un estudio de las diferentes variables del proceso.

Las especificaciones técnicas del equipo son:

- Reactor: Vaso de precipitado de vidrio con capacidad de 50 ml con operación discontinua.
- Electrodo rectangular de aluminio de dimensiones 1* 5 cm y 2 mm de espesor con área de 5 cm².
- Distancia entre electrodos de 1 cm
- Fuente de alimentación de corriente directa GW Instek GPC-30300 de 3A, 0-30 volts
- Multímetro digital marca Unit – t, modelo Ut139C
- 3 caimanes

En la Figura 1 se representa el esquema de electroquímica utilizado para llevar a cabo la parte experimental con cada uno de los componentes descritos anteriormente.

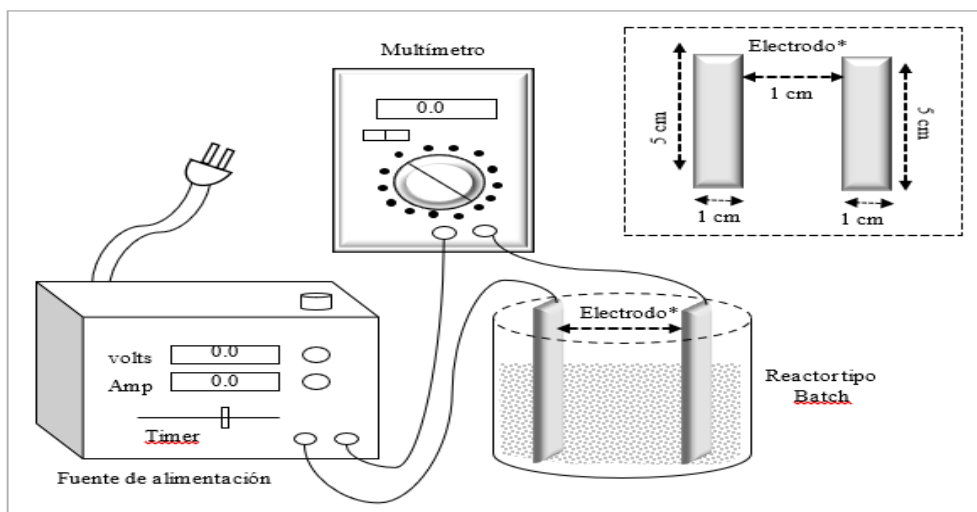


Figura 1. Diseño experimental de una celda electroquímica

Técnicas instrumentales

Microscopia óptica

A través de un microscopio óptico QUASAR con enfoques 4/0.10 y 10/0.25 se examinará el comportamiento microscópico de cada una de las muestras con la finalidad obtener una evidencia clara y precisa de la calidad de agua a través de su aspecto y color.

Espectrómetro ultravioleta – visible (UV – VIS)

Al tener el mismo principio de funcionamiento que un turbidímetro se utilizará un espectrofotómetro UV – VIS marca PerkinElmer modelo LAMBDA 365 de rango 325-1000nm, en esta se tomará la absorbancia emitida en la muestra a diferentes longitudes de onda, a un tiempo y voltaje determinado con el propósito de identificar gráficamente aquellas posibles señales que muestren algún comportamiento de turbidez en la muestra.

Espectroscopia infrarroja (IR)

A través de un equipo de espectroscopia IR marca PerkinElmer modelo Spectrum Two de rango 4000 -500 cm⁻¹, se tomará la transmitancia emitida en la muestra a diferentes longitudes de onda, a un tiempo y voltaje determinado con el propósito de identificar gráficamente aquellas posibles señales que muestren algún comportamiento de presencia de grupos funcionales presentes en la muestra.

Procedimiento experimental

Para obtener los resultados correctos medidos antes y después de someter la muestra a un sistema de electroquímica, se siguieron una serie de pasos mostrados en la Figura 2, el cual representa el experimento realizado de inicio a fin con volumen de 50 ml a un tiempo 15 min y voltaje variado.

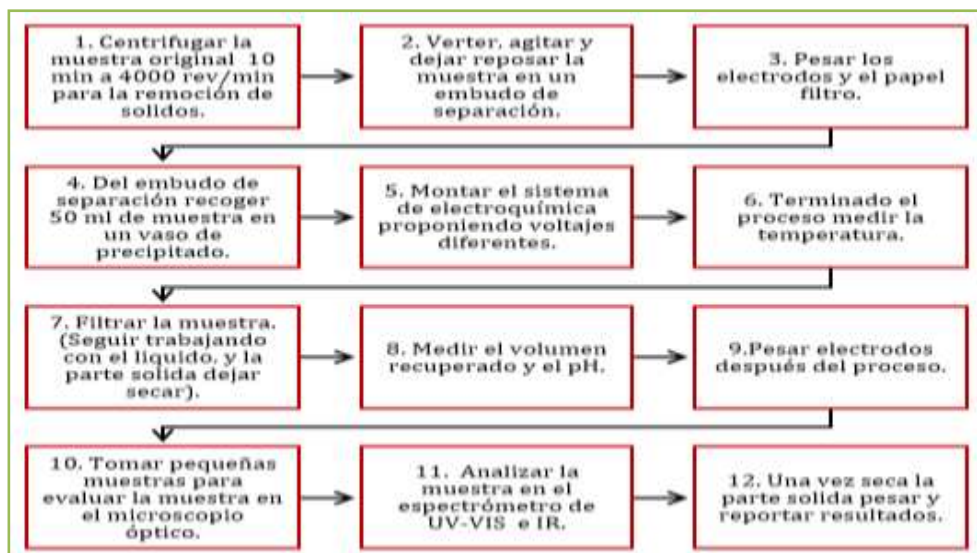


Figura 2. Diagrama del procedimiento experimental ocupado durante el tratamiento electroquímico.

RESULTADOS

Cuantitativos y cualitativos

Se analizó inicialmente 3 tipos de electrodos de distinto material y con la misma área, para establecer cuál sería el indicado a utilizar; es por ello que se montó una celda electroquímica con muestras de 50 ml aplicando un voltaje de 15 volts por 15 min cada una, en la Tabla 1 se ven reflejados los parámetros principales medidos después del tratamiento utilizando electrodos de aluminio (Al), titanio (Ti) y cobre (Cu), que si son comparados con los parámetros iniciales se ve reflejada una mediana diferencia, es decir; en las muestras hubo un incremento de temperatura producto de la intensidad de corriente aplicada, también se percibió una mayor concentración de iones hidroxilo (OH^-) lo que significa que las muestras tratadas tienden a ser más alcalinas que la inicial y en cuanto a la densidad se muestra un descenso debido a la ausencia de partículas contaminantes en las muestras obtenida.

Tabla 1. Parámetros principales de los electrodos medidos después del tratamiento

Electrodo	pH	$T_{\text{max.}} (^{\circ}\text{C})$	Densidad (ρ) (g/cm^3)
Al	8.8	45	1.0084
Ti	7.96	32	0.9975
Cu	10.03	38	1.0126

Ahora bien, la apariencia que presenta cada uno de los electrodos antes y después del tratamiento también influye en la elección; por ello, en la Figura 3 se observa cada uno de los electrodos antes del tratamiento en perfecto estado sin corrosión, ni rompimiento y sin algún tipo de desgaste, después del tratamiento se deja ver que el electrodo de aluminio (Al) presenta una pequeña corrosión o desgaste, mientras que en el electrodo de cobre (Cu) se muestra más marcada el desgaste, el rompimiento y corrosión que lo imposibilita a ser considerado como funcional para seguir llevando a cabo este tratamiento, finalmente en el electrodo de titanio (Ti) se logra apreciar una capa considerable de corrosión pudiendo afectar los análisis posteriores.

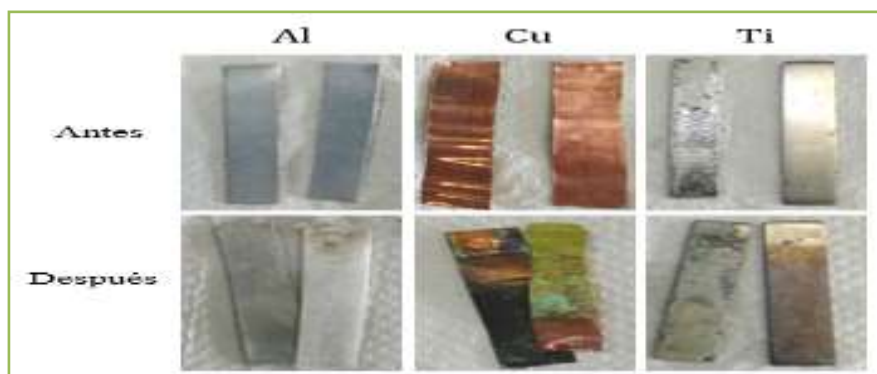


Figura 3. Comparación del desgaste en los electrodos de Al, Ti y Cu antes y después del tratamiento

Para tener resultados certeros del desgaste presentado en los electrodos la Tabla 2 deja ver el peso inicial y final de cada uno de ellos, para posteriormente obtener el desgaste total en cada uno; en el que es evidente que el desgaste mayor está en el electrodo de cobre (Cu), mientras que en el electrodo de titanio (Ti) se presenta un desgaste y una pérdida de peso inferior a la de aluminio (Al); lo que significaría que hasta este momento y a pesar del óxido formado se tendrían mejores resultados al utilizar un electrodo de titanio en posteriores pruebas que uno de aluminio.

Tabla 2. Desgaste de electrodo después del sistema electroquímico

Electrodo	Peso inicial P_i (gr)	Peso inicial P_f (gr)	Desgaste total $P_i - P_f$ (gr)	% Perdido de peso
Al	2.6825	2.6349	0.0476	1.77%
Ti	7.3887	7.3694	0.0193	0.26%
Cu	1.0190	0.8963	0.1227	12.04%

Por otro lado, a través de un filtrado hecho después del tratamiento se obtuvo el agua en mejores condiciones (volumen recuperado) y los sólidos que la contaminaban, en la Figura 4 se observa la calidad del líquido final, donde claramente se hace notoria la diferencia de una y otra, que aunque no son incoloras como el agua común se puede decir que el volumen recuperado proveniente del tratamiento hecho con el electrodo de Al presenta un poco de color pero mejor claridad comparada con el agua proveniente de los tratamientos realizados con los electrodos de Cu y Ti, cabe resaltar y recordando el óxido formado previamente que el agua con el electrodo de Ti es el que tiene peor calidad puesto que se muestra más turbia, esto se puede deber a la cantidad de sólidos que fueron retenidos, es decir; los sólidos obtenidos en cada muestra pudieron ser tan finos que son capaces de pasar por el papel filtro lo que causó la turbidez o la claridad del agua obtenida.

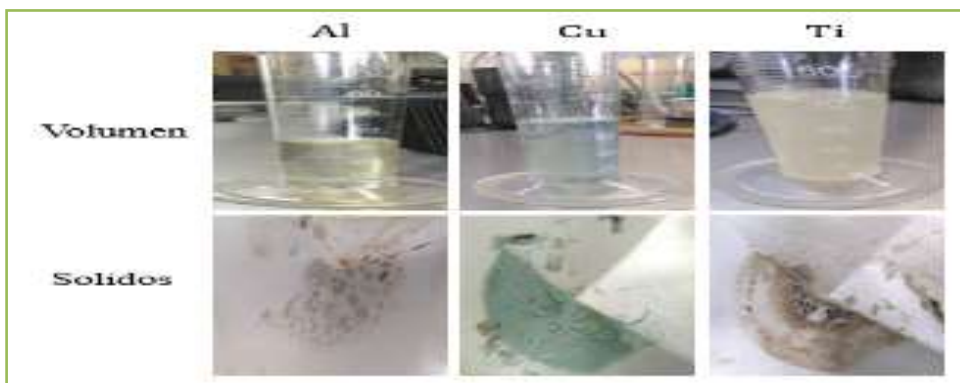


Figura 4. Comparación de la calidad del volumen final y la cantidad de sólidos obtenidos en el tratamiento hecho con electrodos de Al, Ti y Cu.

Por otro lado, en la Tabla 3 se puede apreciar la cantidad de volumen y sólidos retenidos, y aunque con el electrodo de Ti se obtuvo mayor volumen la mala calidad del agua recuperada impide que se tome en cuenta como electrodo para futuras muestras

Tabla 3. Volumen recuperado y sólidos separados

Electrodo	Volumen recuperado (ml)	Cantidad de sólidos separados (gr)
Al	34	0.3705
Ti	43	0.1576
Cu	40	0.362

Microscopio óptico

Es conveniente analizar el comportamiento microscópico de cada uno de los productos obtenidos después del tratamiento electrónico. En la Figura 5 se tiene la evidencia microscópica del volumen recuperado a un enfoque de 10/0.25 con escala de 0.1 mm/10mm en el cual se logra apreciar la alta demanda de partículas contaminantes como microorganismos y quizás algunos grupos orgánicos presentes en la muestra inicial, en cambio las muestras después del tratamiento presentan una disminución de esos contaminantes por lo que solo se llega a apreciar pequeñas y finas manchitas. Sin embargo, en la muestra del agua tratada con el electrodo de Cu se aprecian partículas aún más diminutas y no tan claras lo que significaría que aparentemente esta muestra quedaría más limpia y libre de contaminantes. Por otro lado, en la muestra del agua tratada con el electrodo de Ti se alcanza a ver una mayor y notoria cantidad de contaminantes o grupos orgánicos presentes.

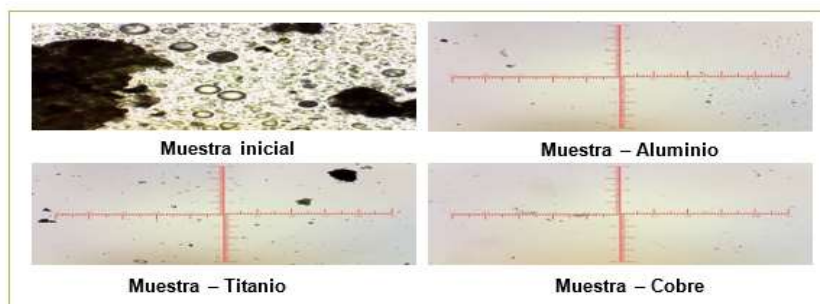


Figura 3. Muestras microscópicas del agua de taladrina inicial y del agua tratada con electrodos de Al, Ti y Cu.

Espectrofotómetro UV – VIS

El espectrofotómetro utilizado para determinar la turbidez en las muestras tiene una longitud de onda de 190-1100 nm y es ubicado en el eje de las X's y en el eje de las Y's se tiene la absorbancia captada por el mismo.

Como se puede observar en la Figura 6, el espectro consta de picos o señales de diferentes amplitudes que significan el cambio aparente de las muestras, de esta manera si examinamos la señal captada a 664.35 nm se pueden apreciar señales con distintas absorbancias, dicho en otras palabras, a esa longitud de onda la muestra inicial tiene una absorbancia del 3.35 lo que indica que se tiene una concentración elevada de contaminantes ocasionando una mayor turbidez; sin embargo la muestras provenientes del tratamiento electroquímico hechas con los electrodos de Al, Ti y Cu tienen una absorbancia del 0.019, 0.453 y 0.098 respectivamente de modo que, con los electrodos de Al se obtuvo el agua transparente y con baja concentración de contaminantes, y a pesar de que la absorbancia de los electrodos de Ti y Cu son menores a la muestra inicial se considera que estos no tienen una eficiencia del 100% para tratar al agua de taladrina.

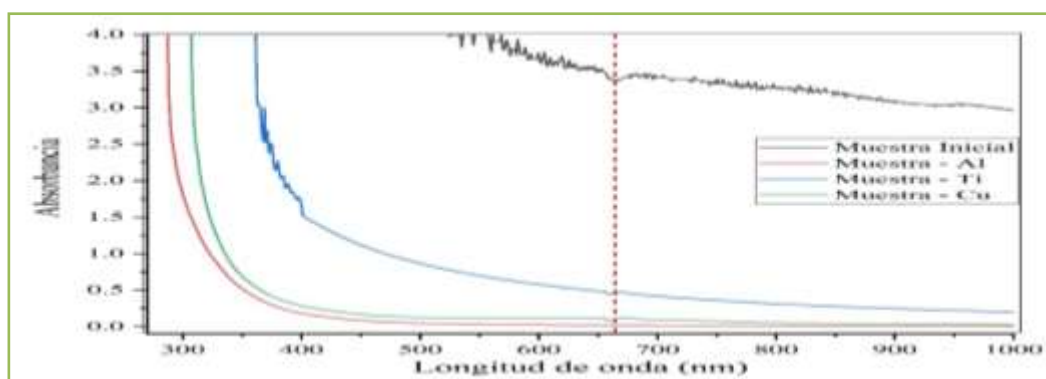


Figura 6. Comparación del espectro UV-VIS de las muestras provenientes del tratamiento electroquímico con electrodos de Al, Ti y Cu.

Espectroscopia IR

En el espectro infrarrojo (IR) regularmente se suelen encontrar con picos o bandas que se ubican a distintas posiciones y de alturas y anchuras diferentes e indican los distintos grupos funcionales presentes en las muestras.

En la Figura 7 se observa el espectro de la muestra inicial comparada con los espectros de las muestras tratadas con diferentes electrodos en estado líquido utilizando como blanco el aire, en donde se puede apreciar claramente en la muestra inicial que en 2922.70 cm^{-1} y en el 1456 cm^{-1} hay picos o señales referentes al aceite o grupos C-H (alcano) presentes, en el 1634 cm^{-1} y 3343.25 cm^{-1} se encuentran señales indicadoras de enlaces O-H y amplias lo que significa que es un enlace de agua. Asimismo, esta Figura trae consigo los espectros después del tratamiento que tienden al mismo comportamiento viéndose más remarcadas los picos del agua a la misma longitud de onda.

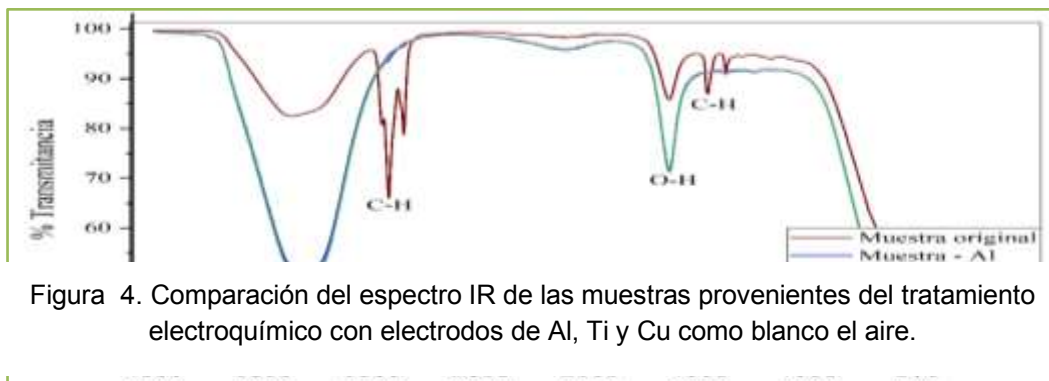


Figura 4. Comparación del espectro IR de las muestras provenientes del tratamiento electroquímico con electrodos de Al, Ti y Cu como blanco el aire.

En la Figura 8 se visualizan los espectros de las muestras anteriores en estado líquido, pero en esta ocasión tomando como blanco al agua, de tal manera que se puedan analizar de manera concisa los grupos funcionales presentes restando las señales ocasionadas por el agua, por lo tanto; en 2928.72 cm^{-1} se tiene una señal en común en las muestras de enlaces C-H (alcano) pero la original tiene una menor transmitancia (93%) comparada con las otras muestras donde relativamente su valor en ese pico es del 98.74%.

Ahora del rango $2000 - 2500 \text{ cm}^{-1}$ aparecen algunas vibraciones hechas por el espectro IR por lo que las bandas que se aprecian son demasiado débiles y no suelen ser relevantes para este caso. Sin embargo, en el 1741.86 cm^{-1} se aprecia una banda que bien podría ser representativo de un enlace doble C=O (carbonilo) y finalmente de la región de $1500 - 600 \text{ cm}^{-1}$ se tiene bandas de enlaces C-H (alcanos).

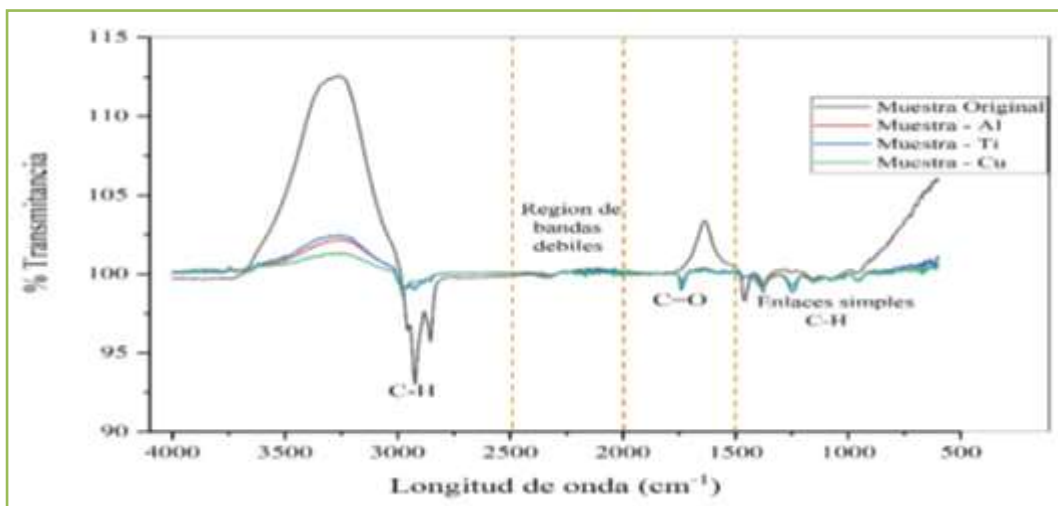


Figura 5. Comparación del espectro IR de las muestras provenientes del tratamiento electroquímico con electrodos de Al, Ti y Cu en estado líquido y como blanco el agua.

CONCLUSIONES

Para terminar se concluye que los electrodos de Cu no son viables para llevar a cabo el tratamiento electroquímico por el desgaste ocasionado, mientras que con los electrodos de Ti a pesar de obtener buenos resultados cuantitativos (menor desgaste, mayor volumen y mejores parámetros) la mala calidad del agua obtenida la imposibilita hacer ocupado, en cambio con los electrodos de aluminio se obtiene el agua más clara, con menos turbidez y aunque no se recupera gran volumen resulta ser mejor que los otros dos electrodos para llevar a cabo el tratamiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Gilpavas, E. (Julio de 2008). Aplicación de la electroquímica en el tratamiento de aguas residuales. Medellín.
2. IHOBE. (1999). Taladrinas Agotadas: Un Residuo a Reducir. Gobierno Vasco.
3. Llive, L. E. (2013). Dimensiones de un sistema de electrocoagulación aplicado al tratamiento de aguas residuales domésticas, con y sin irradiación de electrones acelerados. Quito: Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria.
4. Lopez, M. T. (2014). Metodología para la evaluación y selección de rompedores en un tratamiento químico de emulsiones. Bucaramanga: Facultad de Ingeniería Físicoquímicas.
5. Rosario, C. F. (2018). Remoción de contaminantes orgánicos de aguas residuales industriales por electrocoagulación, con adición de peróxido de hidrógeno, en un reactor tubular. Huancayo: Facultad de Ingeniería Química.

DESARROLLO DE UN SOFTWARE PARA EL CÁLCULO DE LA PRESIÓN Y FUERZA LATERAL DE TIERRA

Araceli Aguilar Mora¹, Luis Enrique Quesada Negrete²

¹Catedrática de la Facultad de Ingeniería, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla,

²Estudiante del colegio de Ingeniería civil de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
araceli.aguilar@correo.buap.mx

RESUMEN

Las herramientas computacionales e informáticas juegan un papel importante en el proceso enseñanza-aprendizaje debido a que desarrollan capacidades y competencias para la solución de problemas, propician el autoaprendizaje y actitud crítica en el estudiantado. En la práctica profesional existen softwares especializados para cálculos geotécnicos que están orientados a dar soluciones específicas y no necesariamente para fines académicos donde se tienen alumnos y alumnas con necesidades y características determinadas lo que puede limitar la adquisición de un software que contribuya al objetivo que se persigue en un determinado tema o asignatura.

Se presentan las características de un software educativo que se ha desarrollado para el cálculo de la fuerza lateral causada por la presión lateral de tierra, dicho parámetro es indispensable de conocer para el diseño adecuado y construcción de estructuras de contención, debido a que estas fuerzas son las que actúan entre dichas estructuras y la masa de suelo que será retenida. Temas contenidos en la asignatura de mecánica de suelos II de la carrera de ingeniería civil de la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Está programado en lenguaje Basic con paqueterías de C++ para mostrar los recursos gráficos que faciliten la interpretación de los resultados numéricos. El cálculo se realiza considerando las teorías de Rankine y Coulomb, por lo que el usuario podrá seleccionar la opción de análisis a través de una interfaz cuya configuración resulta agradable a la vista, además de contener con claridad los objetivos de aprendizaje. Presenta un menú principal desplegable y botones de selección por lo que sus funciones son rápidamente identificables que permiten fácilmente la interacción con el programa. Conforme se accede a los menús y submenús se podrá introducir los datos necesarios y/o definir las condiciones de acuerdo con la metodología de análisis seleccionada al inicio. Al modificar los parámetros se puede visualizar como varían los diagramas, lo que permite al alumnado analizar y comprender a profundidad el problema. En cualquier momento se puede regresar, modificar, revisar y continuar con el proceso hasta llegar al resultado.

Con lo anterior se ha logrado una herramienta de fácil acceso para el cálculo de presiones y fuerzas laterales en la masa de suelo que se implementará en el curso de mecánica de suelos II con la finalidad de agilizar los cálculos manuales permitiendo orientar la atención del estudiantado al análisis de resultados al modificar las condiciones como la presencia de nivel freático, sobrecarga, entre otras.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la educación está orientada al desarrollo y fortalecimiento de las competencias (conjunto de conocimientos, habilidades, actitudes y valores). Por lo anterior el profesorado tiene la necesidad de buscar alternativas para la enseñanza y el aprendizaje de su asignatura y así facilitar a las y los estudiantes la comprensión de éstas. Hoy en día la evolución digital en la educación nos lleva a aprender de manera más interactiva y dinámica. El aprendizaje a través del uso de recursos digitales es atractivo para el alumnado en su proceso de aprendizaje y en la mejora de su rendimiento académico.

Collazos y Guerrero señalan que el rol del profesorado está cambiando, del modelo tradicional de ser un presentador o presentadora de información de forma secuencial a un administrador o administradora, y facilitador o facilitadora del aprendizaje. Además, la mayor parte del tiempo que anteriormente se dedicaba a la preparación y corrección, ahora está empleando para el desarrollo de recursos educativos y de entrenamiento, incluidos los materiales educativos computarizados (los programas en computadora con los cuales el alumnado interactúa cuando está aprendiendo o está siendo evaluado a través de una computadora).

En cuanto a la enseñanza de la mecánica de suelos, Paredes destaca que la facilidad en el acceso a las computadoras permite que el estudiantado pueda hacer desde cálculos sencillos para los ensayos de campo y de laboratorio, como el análisis de estabilidad de taludes, asentamiento de cimentaciones, comportamiento de grupos de pilotes a cargas vertical y horizontal, interacción suelo-estructura, etc. Sin embargo, esto no se ha visto suficientemente reflejado en la enseñanza de la geotecnia. Por ejemplo, para calcular los esfuerzos inducidos por cargas verticales se sigue empleando la carta de Newmark, que es sin duda una ingeniosísima herramienta de integración de la solución de Boussinesq, esto puede hacerse con la computadora y con ventaja. Lo mismo se puede decir de los gráficos de Fadum y otros. Es decir, hay que identificar aquello que es conocimiento básico de lo que son herramientas y modernizar estas últimas.

El interés de incluir la tecnología en la labor docente nos ha llevado a la búsqueda de software educativo que sirva de apoyo a la enseñanza y el aprendizaje de la mecánica de suelos. Se ha identificado software geotécnico que al aplicar en el ámbito educativo y en consecuencia en contexto del estudiantado presenta inconvenientes, porque no está diseñado para la enseñanza sino para el campo profesional, pues la estudiante y el estudiante de ingeniería civil requieren resolver ejercicios conforme a su formación en el área de la geotecnia. Aunado a lo anterior, en ocasiones se requiere adquirir la licencia para su uso y ésta puede ser económicamente inviable para que de manera individual tengan acceso o la institución no pueda adquirirlas porque dependiendo del número de candados para su instalación es el costo de éste. Ante esta situación se hace necesario que el profesor o profesora experta en el contenido de la materia diseñe su propio software educativo que contenga los elementos o recursos afines a las características del alumnado.

De acuerdo con la misión del Programa Educativo de la carrera de Ingeniería Civil que se imparte en la Facultad de Ingeniería de la Benemérita Universidad Autónoma (BUAP), promover la aplicación innovadora del conocimiento a través de los laboratorios y el empleo de la tecnología, es una prioridad en el proceso enseñanza-aprendizaje. Además, entre sus objetivos curriculares, los alumnos deberán "desarrollar sus capacidades y habilidades para que puedan proponer soluciones ya sea manualmente o bien, empleando las herramientas tecnológicas actuales". Para poner en práctica lo anterior en la asignatura de mecánica de suelos II con laboratorio que incluye el tema de fuerza lateral de tierra, el cual es primordial para el diseño de muros de contención, se ha desarrollado la aplicación que se describe en este trabajo.

PRESIÓN LATERAL DE TIERRA

Un diseño adecuado y la construcción de las estructuras de retención requieren un conocimiento de las fuerzas laterales que actúan entre estas estructuras y las masas de suelo que será retenido. Estas fuerzas laterales son causadas por la presión lateral de tierra (Braja, 2015).

Presión lateral en reposo

Para un muro vertical de altura H que retiene un suelo con un peso específico γ , con una carga uniformemente distribuida en la superficie del terreno, la presión lateral a una profundidad z está definida por la ecuación 1.

$$\sigma'_h = K_o \sigma'_o + u \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde

u presión de poro del agua

K_o coeficiente de presión de tierras en reposo

σ'_o esfuerzo vertical efectivo

El coeficiente de presión de tierras en reposo se calcula con la relación empírica de Jaky (1944, citado en Braja, 2012) dada por la ecuación 2.

$$k_o = 1 - \text{sen } \phi' \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde

ϕ' ángulo de fricción

Teoría de Rankine para la presión de tierra

Las presiones activa y pasiva de Rankine corresponden a paredes sin fricción, la pared con la cara posterior vertical y relleno horizontal, las ecuaciones para calcular dichas presiones laterales a cualquier profundidad están dadas por las ecuaciones 3 y 4.

$$\sigma'_a = \gamma z \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) - 2c' \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\sigma'_p = \gamma z \tan^2 \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\varphi}{2} \right) \quad \text{Ecuación 4}$$

Teoría de Coulomb para la presión de tierra

La teoría de la presión de Coulomb se refiere a paredes con fricción, la fuerza lateral activa y pasiva por unidad de longitud se calculan con las ecuaciones 5 y 6. En tanto los coeficientes de Coulomb para la presión activa y pasiva de tierra con relleno granular son definidos por las ecuaciones 7 y 8 respectivamente.

$$P_a = \frac{1}{2} k_a \gamma H^2 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$P_p = \frac{1}{2} k_p \gamma H^2 \quad \text{Ecuación 6}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta' + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \varphi') \sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta) \cos(\theta - \alpha)}} \right]^2} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2 \theta \cos(\delta' - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\delta' - \varphi') \sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta) \cos(\alpha - \theta)}} \right]^2} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

σ_a presión lateral activa

σ_p presión lateral pasiva

P_a fuerza activa por unidad de longitud

P_p fuerza pasiva por unidad de longitud

K_a coeficiente de presión activa

K_p coeficiente de presión pasiva

γ peso específico del relleno

δ' ángulo de fricción entre el suelo y la cara posterior del muro

θ ángulo entre el respaldo de muro y la vertical

α ángulo de la superficie del relleno con la horizontal

SOFTWARE EDUCATIVO

Hay un gran número de definiciones de software educativo. Una definición que consideramos oportuna es la de Amaya (1999, citado por Quintero et al, 2005), quien considera que el software educativo es el conjunto de programas educativos y didácticos creados con la finalidad de ser utilizados para facilitar los procesos de enseñanza y de aprendizaje, caracterizándose por ser interactivo porque contesta inmediatamente las acciones y permite un diálogo e intercambio de información entre el computador y el alumnado; permite individualizar las actividades del estudiantado ya que se adapta al ritmo de trabajo de cada persona y puede adecuar sus labores según las actuaciones de los mismos; fácil de usar porque los conocimientos informáticos necesarios para utilizar la mayoría de estos programas son mínimos, aunque cada programa tiene reglas de funcionamiento que es necesario conocer.

En cuanto al tipo de software educativo existen diferentes clasificaciones en función de los contenidos, destinatarios, estructura, bases de datos, medios que integra, objetivos educativos, actividades cognitivas que activa, tipo de interacción que propicia, función en el aprendizaje, entre otros. De acuerdo con el propósito planteado, los tipos de software educativo que se describen a continuación son los que nos resultan de interés para desarrollar:

a) Programa de simulación. Usa la recreación de situaciones en las que se puede interactuar con la realidad virtual

b) Programa de resolución de problemas. Desarrolla la capacidad analítica del alumno analizando las posibilidades, plantear hipótesis y seguir una serie de secuencias con la finalidad de resolver un problema

c) Programa tutorial. Sirve como complemento de la enseñanza impartida por el profesorado

DISEÑO DEL SOFTWARE PRELATIER

PRELATIER es un programa que calcula la presión y fuerza lateral de tierras con base en las teorías de presión de tierras de Rankine y Coulomb. Para realizar el análisis considera la existencia de nivel freático y carga externa. Para asegurar el correcto funcionamiento de la aplicación se sugieren como mínimo las siguientes características: Sistema operativo Windows 10 y anteriores, Sistema operativo de 32 o 64 bits, memoria RAM de 500 MB o superior. Es de fácil portabilidad pues no requiere instalación y se puede ejecutar desde la unidad en la cual se encuentra almacenado, haciéndolo versátil al momento de implementarlo en diferentes equipos. Como cualquier aplicación diseñada para Windows tiene una interfaz a través de ventanas. Se usó el lenguaje de programación Basic con paqueterías de C++ para desarrollar los recursos necesarios. Su composición visual presenta un menú principal donde sus funciones son rápidamente identificables y facilitan la interacción. Se incorporaron gráficos para comprender de manera visual los resultados obtenidos.

Inicio y uso de PRELATIER

Para iniciar el programa, se debe ubicar el directorio o subdirectorio donde se encuentre almacenado y ejecutar la aplicación PRELATIER 1.0 (no se requiere instalación). Aparecerá de manera inmediata la pantalla de presentación mostrando detalles de identificación del programa: nombre, versión y logo, créditos, descripción, etc. (Figura 1). Segundos después se presenta la ventana principal (Figura 2), que tiene como finalidad actuar a manera de portal inicial donde se deben seleccionar las opciones para llevar a cabo el cálculo de la fuerza lateral de tierras. En la misma figura se observan las alternativas que ofrece la aplicación respecto a: la naturaleza de la presión lateral de tierras sobre el muro (estado de reposo, activo y pasivo), teoría de análisis (Rankine y Coulomb), sistema de unidades (internacional, gravitacional, inglés), existencia del nivel de aguas freáticas (NAF), colocación de alguna carga externa en la superficie, así como el número de estratos que conforma el relleno. Una vez que se hayan elegido cada una de las opciones, se da clic en el botón -Continuar- para avanzar con el cálculo, si se realizó la selección completa aparece el mensaje "sus datos son válidos y han sido guardados" (Figura 3). En caso de que se omita seleccionar alguna de ellas, el programa notificará con cualquiera de las formas que se muestran en la Figura 4 y se tendrá que hacer la selección para poder continuar.



Figura 1 Pantana de presentación de la aplicación



Figura 2. Ventana principal del programa



Figura 3. Mensaje de validación de datos



Figura 4. Mensaje por omisión de selección

Efectuado lo anterior, aparecerá la ventana en la cual se deberán introducir las características del relleno: espesor, peso específico, cohesión, ángulo de fricción (Figura 5) y al dar clic en el botón -Calcular- se desplegará una nueva ventana que presenta los resultados. En esta misma ventana, el programa da opción de -Finalizar- o -Regresar- a alguna de las ventanas para realizar modificación de los datos y/o las opciones elegidas para el análisis.

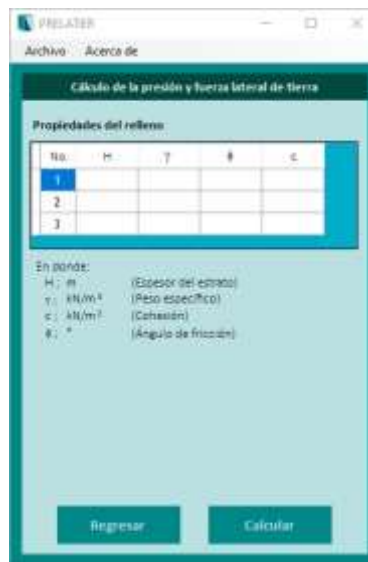


Figura 5. Ventana para introducir las características del relleno

La ventana que muestra los resultados presentará en la parte superior izquierda una tabla donde se concentran de manera ordenada las presiones laterales (efectiva, presión de poro y total) a diferentes profundidades con su respectivo coeficiente de presión de tierras. Mientras que la parte inferior reportará la magnitud de la fuerza lateral y su punto de aplicación. A la derecha se podrá observar el diagrama que muestra la distribución de la presión lateral calculada por metro de longitud y la ubicación del punto de aplicación de la fuerza lateral medida desde la base del muro. Lo descrito anteriormente se ilustrará en la descripción de los ejemplos desarrollados en el siguiente apartado.

Cada una de las ventajas presentadas cuenta con la barra de título, la barra de menú (Archivo, Acerca de), botones para minimizar, maximizar y cerrar.

EJEMPLOS DE APLICACIÓN CON PRELATIER

Se hicieron varias corridas de PRELATIER para verificar su funcionalidad. Ahora se expone un par de ejemplos con la intención de presentar como es la entrada de datos y los resultados que genera el programa. La información para las corridas se tomó de ejemplos presentados en el libro Principles of foundation engineering de Braja M. Das.

Ejemplo 1

Un muro de contención de 6 m de altura soporta un suelo con un peso específico de 17.4 kN/m^3 , ángulo de fricción de 26° y cohesión de 14.36 kN/m^2 . Determinar la fuerza activa de Rankine por unidad de longitud de la pared antes y después de que se produzca la grieta de tensión, además determinar la línea de acción de la resultante.

De acuerdo con lo descrito en el apartado "Inicio y uso de PRELATIER", en la Figura 6a se observa la selección de las opciones para realizar el cálculo teniendo en cuenta lo solicitado en el problema y procedemos a dar clic en -Continuar-, inmediatamente aparecerá la ventana (Figura 6b) en la que introducimos la información del relleno ($\gamma = 17.4 \text{ kN/m}^3$, $\phi = 26^\circ$, $c = 14.36 \text{ kN/m}^2$), así como la altura del muro ($H = 6 \text{ m}$). Dar clic en el botón -Calcular-, aparece la ventana que muestra los resultados. En la Figura 6c en la parte superior izquierda se resalta (recuadro color rojo) la tabla en la cual vemos para la superficie ($z = 0 \text{ m}$) y a la profundidad de 6 m los valores calculados de k_a , σ'_a , u y σ_a (presiones laterales) mismas que se pueden apreciar de manera gráfica en la parte derecha, es decir, la distribución de las presiones laterales que actúan sobre el respaldo del muro, así mismo se indica el punto en el cual se concentra la fuerza lateral, cuyos valores también se ven en la parte inferior izquierda (recuadro color púrpura). En este ejemplo se tiene una zona de tensión por lo que el programa calcula la fuerza lateral antes y después de que ocurra la grieta de tensión.

Al comparar los resultados obtenidos por PRELATIER con los presentados en el libro consultado (ver tabla 1), se observó que la variación es alrededor del 1 y 2%, lo anterior se atribuye al número de cifras decimales que emplea el libro en el cálculo del coeficiente de tierras, debido a que usa el redondeo a dos o tres decimales.

Tabla 1. Comparativa de resultados obtenidos

Concepto	Libro	PRELATIER
Coefficiente de presión lateral	0.39	0.3905
Profundidad de la grieta de tensión	2.64 m	2.64 m
Presión activa total a 0 m de profundidad	-17.95 kN/m^2	-17.95 kN/m^2
Presión activa total a 6 m de profundidad	22.77 kN/m^2	22.82 kN/m^2
Fuerza lateral activa antes de la grieta*	14.46 kN/m	14.62 kN/m
Fuerza lateral activa después de la grieta*	38.25 kN/m	38.32 kN/m
Punto de aplicación de la fuerza lateral**	1.12 m	1.12 m
* calculada para una longitud unitaria de muro		
** medido a partir de la base del muro		

Ejemplo 2

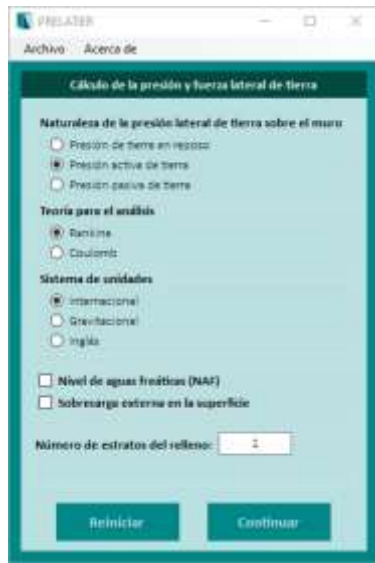
Supongamos que el muro de contención desarrolla el estado de activo. La tabla 2 contiene las propiedades que componen el relleno, presencia de NAF a 10 ft.

Determinar la fuerza activa de Rankine por unidad de longitud de la pared y determinar la línea de acción de la resultante

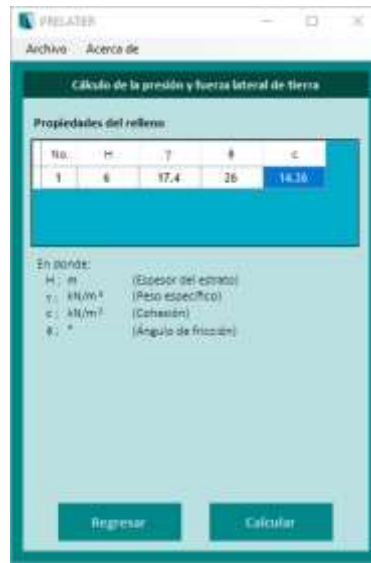
Tabla 2. Propiedades del relleno

Características de las capas del relleno		
	I	II
H (ft)	10	10
γ (lb/ft ³)	102	121
ϕ (°)	30	36

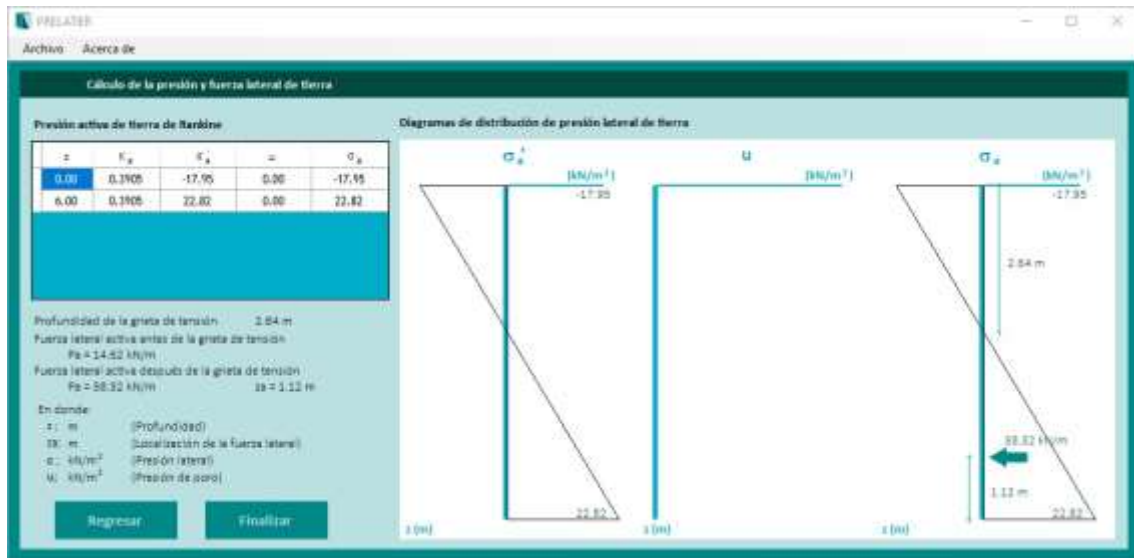
De manera similar al ejemplo anterior se realiza la ejecución de la aplicación y se capturan los datos proporcionados en el planteamiento del problema. En la Figura 7a se muestra la selección de las opciones para realizar el cálculo. Para este ejemplo consideramos que el sistema de unidades es el inglés, presencia del NAF y el relleno se compone de dos capas. Damos clic en el botón -Continuar- aparece la ventana (Figura 7b) en la que debemos introducir la información de las dos capas del relleno (ver Tabla 2) y la profundidad del NAF. Dar clic en el botón -Calcular- para que se desplieguen los resultados (Figura 7c) destacando en la parte superior izquierda la tabla que resume las presiones calculadas acompañada de la gráfica de distribución de las presiones vs profundidad. En esta misma ventana tenemos la posibilidad de regresar a alguna de las ventanas anteriores para modificar algún dato o finalizar el programa.



a)

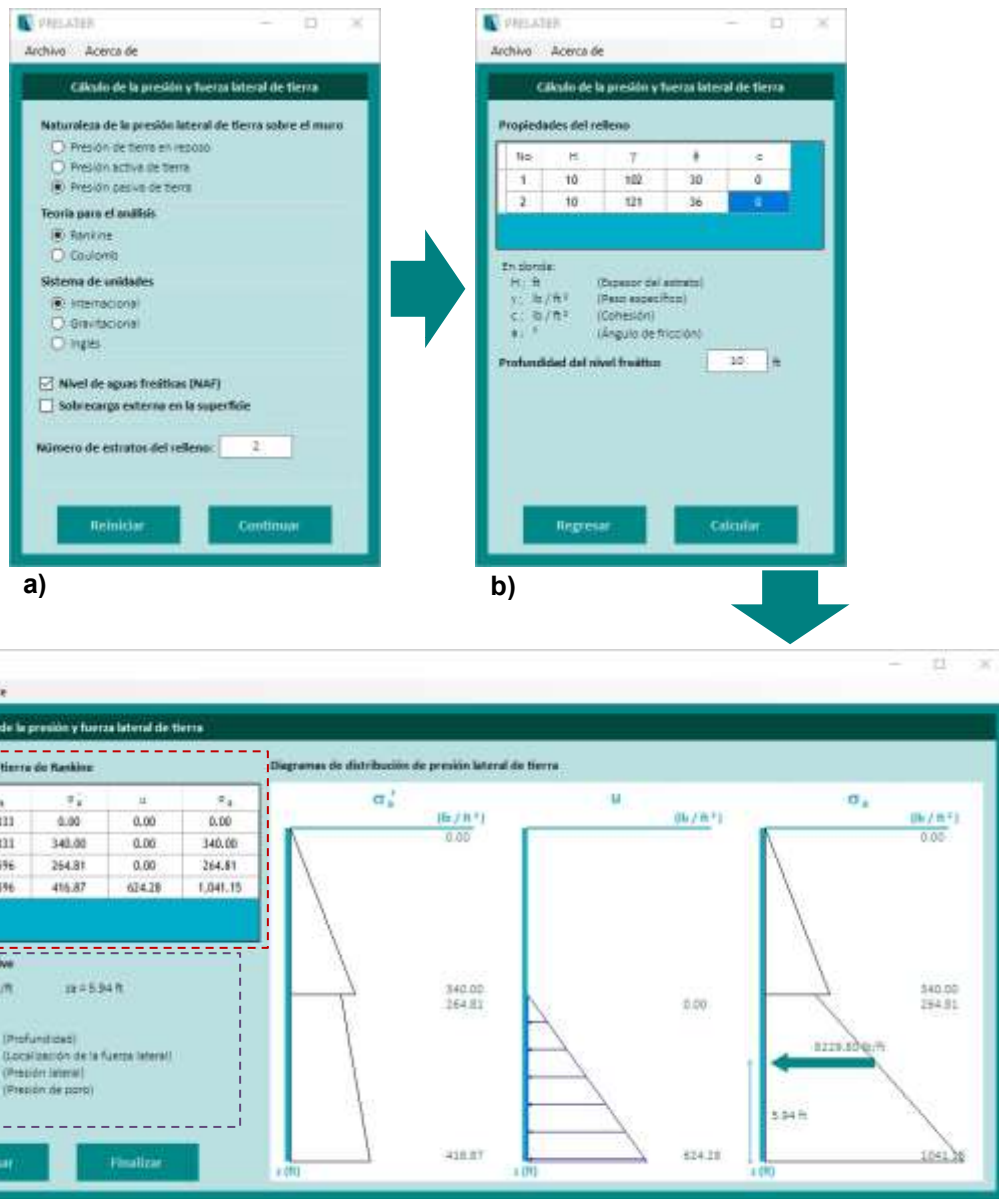


b)



c)

Figura 6. Secuencia de las ventanas en la corrida de PRELATIER para el ejemplo 1



c) Figura 7. Secuencia de las ventanas en la corrida del programa para el ejemplo 2

CONCLUSIONES

Actualmente el proceso enseñanza aprendizaje no puede mantenerse al margen de las tecnologías de la información y la comunicación. El software educativo nos sirve como medio tanto de enseñanza como de aprendizaje, propicia la autogestión planeada del conocimiento. Para lo anterior, se debe diseñar considerando las necesidades educativas que se hayan identificado para apoyar el proceso de enseñanza aprendizaje en la asignatura.

Se desarrollo una herramienta de fácil acceso para el cálculo de presiones y fuerzas laterales en la masa de suelo para implementa en nuestro curso de mecánica de suelos II con la finalidad de agilizar los cálculos manuales y orientar la atención del estudiantado al análisis de resultados al modificar las condiciones.

La implementación de este software permitirá que el alumnado al interactuar con éste desarrolle las actividades propuestas siguiendo su propio ritmo de aprendizaje.

RECOMENDACIONES

Implementar el uso de software en otros temas de la mecánica de suelos.

Perfeccionar el software PRELATIER a partir de la valoración tanto del profesorado como del estudiantado en una prueba piloto antes de llevarlo al uso formal en el curso para lograr mayor interactividad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Braja M., D. (2015). Fundamentos de ingeniería geotécnica (4 Ed.). México: Cengage Learning.
2. Braja M., D. (2016). Principles of foundation engineering (8 Ed.). USA: Cengage Learning.
3. López, Yheny. (2011). Diseño de un Programa Computacional Educativo (Software) para la Enseñanza de Balance General. Formación universitaria, 4(3), 23-30. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062011000300004>
4. Collazos, César Alberto & Guerrero, Luis A. (Sf). Diseño de Software Educativo. [fecha de consulta 13 de abril de 2021]. Disponible en <https://users.dcc.uchile.cl/~luguerre/papers/CVEI-01.pdf>
5. Paredes, Jaime (sf). La enseñanza de la geotecnia en el siglo XXI. [fecha de consulta 6 de septiembre 2015]. Disponible en <https://www.smig.org.mx/archivos/pdf/LaEnsenanzaDeLaGeotecniaEnElSigloXXI.pdf>
6. Quintero, Hugo, Portillo, Lisbeth, Luque, Rafael, González, Marisela Desarrollo de software educativo: una propuesta metodológica. Telos [en línea]. 2005, 7(3), 383-396 [fecha de consulta 13 de abril de 2021]. ISSN: 1317-0570. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=99318837004>
7. Tomás, Roberto & Cano, Miguel & García, Javier & Santamarta, Juan & Hernández-Gutiérrez, L.E. & Durá, J. & Cerdá, Artemi. (2013). Herramientas de aprendizaje de mecánica de suelos. 10.13140/RG.2.1.4998.3608
8. Vidal Ledo, María, Gómez Martínez, Freddy, & Ruiz Piedra, Alina M. (2010). Software educativo. Educación Médica Superior, 24(1), 97-110. [fecha de consulta 12 de abril de 2021]. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21412010000100012&lng=es&tlng=es

PROPUESTA DE CAPACITACIÓN PARA LA MÁQUINA DE LLENADO EN INDUSTRIAS JLC

Yadira Guadalupe Esparza Gutiérrez, Alejandra Zamilpa Flores

Instituto Tecnológico Superior De Irapuato
LIS17110563@irapuato.tecnm.mx

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática existente dentro del área de llenado del producto Clarasol en industrias JLC S.A de C.V por ello se planteó como objetivo general establecer una propuesta enfocándonos en la aplicación de las herramientas tecnológicas dentro de la capacitación en la problemática de des calibración en las máquinas de llenado de Clarasol en el área de producción de industrias JLC. Para el efecto se llevó a cabo una Investigación documental, descriptiva, deductiva, cuantitativa y cualitativa empleando la técnica de entrevista a operadores y supervisores, cuyos resultados evidenciaron la falta de capacitación para el personal del área de llenado tanto para supervisores como para operarios, ya que el desconocimiento de los trabajadores sobre cómo y que funciones desempeñan es la principal causa por la cual ocurren las fallas en la máquina de llenado provocando que esta área sea la más problemática en la empresa Industrias JLC. Por este motivo se planteó una propuesta de capacitación que se basa en el uso de una herramienta tecnológica, en dicho caso optamos por Excel, se propone implementar un modelo en la herramienta de Excel que ayude a organizar la parte del sistema administrativo de capacitación de Industrias JLC S.A DE C.V, en la cual se enlistaran los empleados, la parte de nómina, entradas, salidas y lo que es más relevante en el caso de estudio que son las capacitaciones. Esto con el fin de lograr un correcto orden en cuanto a la logística de la información de cada dato en esta área de llenado de las botellas de Clarasol. Y a su vez llevar un control en las capacitaciones a través de la herramienta Excel. Esta propuesta aún se está trabajando, ya que a causa de la contingencia el contacto con la empresa se ha visto afectado.

El presente trabajo es muy importante, ya que se propone una alternativa diferente con la finalidad de buscar solución a la problemática presente, se propondrá guiar al personal a cumplir con las actividades propuestas en esta investigación para lograr las metas y objetivos de industrias JLC, de tal manera que la empresa lleve a cabo sus procesos de forma eficiente y en consecución eficaz, permitiéndole tomar mejores decisiones a partir de las capacitaciones en la máquina de llenado.

INTRODUCCION

Para que una organización funcione adecuadamente debe de contar con un personal altamente capacitado, por lo cual es de gran importancia que las empresas inviertan en capacitaciones para las personas que se encuentran laborando, ya que esta inversión obtendrá beneficios a corto y largo plazo en las actividades productivas de la empresa.

“Capacitación: Proceso educativo de corto plazo, aplicado de manera sistemática y organizada, por medio del cual las personas adquieren conocimientos, desarrollan habilidades y competencias en función de objetivos definidos. (Chiavenato 2007).”

Las capacitaciones se deben de planear e impartir de acuerdo con una serie de normas que regulan las actividades en la empresa para que así estas resulten más eficientes y con base al conocimiento adquirido los trabajadores en conjunto con la empresa pongan en práctica lo aprendido logrando con ello resultados positivos tanto para el trabajador, así como para la empresa.

De igual manera para que las organizaciones obtengan las certificaciones deben de cumplir con los lineamientos de ciertas ISO por lo cual es de vital importancia que se trabaje con las medidas de seguridad implementadas por la empresa de acuerdo con cada área o lugar de trabajo para así disminuir y eliminar riesgos que puedan provocar la negación de las certificaciones.

De acuerdo con lo anterior cabe destacar que la implementación de las capacitaciones dentro de una empresa son fundamentales para que tengan un correcto funcionamiento y con ello logren el cumplimiento de los objetivos, teniendo en cuenta que con la implementación de estas no únicamente se aseguran los objetivos productivos de la empresa sino que también se asegura la integridad de las personas que operan determinados equipos lo que permite que estas personas

sean capaces de actuar de manera adecuada ante un siniestro que comprometa la producción como es el caso de la descalibración de equipos.

TEORIA

Objetivo general

Determinar las posibles causas o factores que influyen de forma directa o indirecta en el problema de des calibración en las máquinas de llenado de Clarasol en el área de producción de industrias JLC.

Objetivo específico

Identificar si las fallas en la máquina de llenado fueros provocadas por fallas humanas.

Analizar que el personal de producción, así como los líderes de cada área estén capacitados sobre el manejo de productos peligrosos.

Evaluar los flujos de procesos con los que cuenta cada una de las máquinas de llenado del producto Clarasol.

Establecer el ciclo y fecha de acuerdo a normativas mexicanas en que los operadores y encargados reciban capacitaciones.

Determinar indicadores cuantitativos en relación a generación del costo-beneficio del plan.

Objetivos aproximados

Capacitar al trabajador en 2 meses para que en este tiempo aumente un 80% la capacidad de llevar un buen mantenimiento en la maquinaria.

Aumentar la producción un 20% para cada producto en los próximos 12 meses, ofreciendo nuevos productos a los clientes existentes

Aumentar la cantidad de proveedores de 25 a 50 en un periodo de tiempo 6 meses para la creación de los nuevos productos.

Justificación

Para identificar y contrarrestar el por qué ocurre la des calibración en las máquinas de llenado de Clarasol, analizar y determinar cuáles son los factores externos o internos que afectan de manera directa o indirecta en dicha máquina, comprobar si afecta la mano de obra y si es así impartir capacitaciones al personal de producción acerca del correcto manejo de los productos peligrosos de igual manera capacitar a los líderes sobre el correcto uso y manejo de esa maquinaria en específico y determinar si estos factores pudieran estar afectando en los procesos productivos y en los costos de la empresa.

Hipótesis

Pregunta	Variables	Hipótesis
¿Qué está provocando la falla en la máquina de llenado en el área de Clarasol en los últimos 2 años?	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Personal de área de producción ➤ Máquinas de llenado ➤ Envases 	La falla en la máquina de llenado se ha visto afectada en los últimos 2 años por el mal manejo del personal encargado de turno, lo que significa un aporte negativo para Industrias JLC.

Tabla 1 Formulación de Hipótesis elaborada por Zamilpa Flores Alejandra con base en información proporcionada por Industrias Jlc.

PARTE EXPERIMENTAL

Descripción del problema

Todas las mermas en el área de Clarasol son causa de que los líderes de área por turno no verifican que las máquinas de llenado estén calibradas ocasionando que las botellas sufran deformaciones en su estado físico, causando que la maquina llenadora ejerza presión a tal grado que la botella llegue a estallar, de tal manera que las botellas junto con el producto queden inservibles provocando paro en la máquina de llenado y afectando la producción.

Técnica e instrumentos de recolección de datos

Se aplicó el instrumento de la entrevista, la persona a la cual se le realizó una pequeña entrevista fue el supervisor del área de llenado al cual se le realizaron las siguientes preguntas: Consideramos este el instrumento adecuado para nuestra investigación, ya que puede ser corta y concisa.

Entrevista con respecto a máquinas de llenado Industria JLC
(Supervisor)

Entrevistado: Juan Ayala

Entrevistador: Yadira Guadalupe Esparza Gutiérrez

1. ¿Con cuántas máquinas cuenta el área de llenado?
2. ¿Cuántas están descalibradas?
3. ¿Cada cuando se realiza la supervisión del área de llenado?
4. ¿Cuándo se les realiza mantenimiento a las máquinas?
5. ¿Anteriormente había sucedido algo similar?

Entrevista con respecto a máquinas de llenado Industria JLC
(Operador)

Entrevistador: Yadira Guadalupe Esparza Gutiérrez

1. ¿Cuántos operadores son en el área de llenado?
2. ¿Cuántas veces en la semana hubo derrame de producto?
3. ¿Cuántas máquinas están descalibradas?
4. ¿Cada cuando se realiza la supervisión del área de llenado?
5. ¿Cuándo se les realiza mantenimiento a las máquinas?
6. ¿Anteriormente había sucedido algo similar?

RESULTADOS

Alcances y limitaciones

Impartir capacitaciones a los trabajadores y líderes de área de producción en Clarasol tendrá como funciones optimizar los flujos de procesos maximizando la productividad de dicha área, además de que los conocimientos que obtengan en las capacitaciones servirán como herramienta para desarrollar diferentes capacidades como la observación y detección de problemas no solo en esa área sino también en algún problema que se pudiera presentar en otra área además de esto servirá para que posteriormente eviten accidentes o incidentes en el área que se les asigne. Además de que identificarán cualquier riesgo latente en los diferentes procesos que se realizan en la empresa logrando con ello la disminución o eliminación de posibles paros que afecten la producción fluida del producto. Industrias JLC cuenta con diversas áreas que se complementan en el proceso de producción con personal en cada una de ellas de acuerdo al trabajo que se está desempeñando, nuestro caso de estudio y aplicación de nuestra propuesta estará limitada al área de llenado de la empresa que en este caso es el área de interés y es donde se ha presentado mayor problema. El alcance de dicha propuesta se realizó con el fin de que el índice de fallas en la máquina de llenado disminuya considerablemente.

Limitaciones



Cuadro 1 Limitaciones. Elaborado por Zamilpa Flores Alejandra con base a Trabajo de investigación Industrias JLC

CONCLUSIONES

La investigación tuvo como objetivo comprobar si la falta de capacitación fue la causante del área de llenado. Para demostrar esto, lo primero que realizamos fue el análisis de la problemática, aquí pudimos observar cómo el problema era la descalibración de dichas máquinas, confirmando nuestra teoría de que el problema presentado en el área de llenado era causado por la falta de capacitación del personal de dicha área. Como se mencionó anteriormente la investigación surgió a partir de la identificación de un problema en el área de llenado provocado por la falta de personal capacitado, así mismo limitándolo solo al área de llenado para realizar dicha capacitación que se le impartirá no solo a los obreros sino también a los supervisores encargados de dicha área, ya que es esta área es donde se encuentra la mayor problemática de la empresa, para fortalecer nuestra investigación aplicaremos una herramienta tecnológica, en el caso de nuestra problemática optamos por Excel, Industrias JLC obtendrá una mejora tanto en la parte de llenado de Clarasol como en obtener una logística de información adecuada que facilitará el acceso a la misma, sin tener que hacer mayor inversión pues Excel por defecto ya viene incluido en el paquete de Microsoft Office y es una herramienta de gran utilidad sin costos extras, por lo menos en la implementación de este software, es decir, la empresa tendrá un control del flujo de información en las capacitaciones y a su vez las capacitaciones impartidas a los empleados darán resultados favorables a la empresa, solucionando el problema de descalibración en el llenado, gracias a esto se optimizará tiempo y se entregará el producto en tiempo y forma establecidos, mejorando así el rendimiento de la empresa. Por otra parte, las capacitaciones si involucran costos y a lo largo de nuestra investigación llegamos a que en la situación en la que se encuentra actualmente la empresa no permitirá aplicar dichas capacitaciones, ya que no cuenta con el presupuesto pues se ha visto muy afectada por la pandemia de COVID-19.

BIBLIOGRAFÍA

1. ISOTOOLS *EXCELLENCE*. (2017). Obtenido de <https://www.isotools.org/normas/calidad/iso-9001/>
2. INDUSTRIAS JLC. (2018). *CLARASOL*. Obtenido de <https://clarasol.com/mx-es/>
3. M. C. JORQUERA(2016). *INSTITUTO DE SALUD PÚBLICA*. Obtenido de <file:///C:/Users/HP/Downloads/multimedia.pdf>

4. MILENIO DIARIO, S. D. (23 de MARZO de 2020). *MILENIO DIARIO, S.A DE C.V.* Obtenido de <https://www.milenio.com/estados/el-98-5-de-empresas-en-gto-son-mipymes> SEGOB. (2011). Obtenido de <https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/138413/NOM-SEGOB-2011.pdf>
5. STPS. (25 de 11 de 2008). *DIARIO OFICIAL.* Obtenido de <http://www.stps.gob.mx/bp/secciones/dgsst/normatividad/normas/Nom.pdf>
6. A.VERA. (2018). *MODELOS, TIPOS Y TIPOLOGIA.* Obtenido de http://composicion.aq.upm.es/Master/Modulo%20B/Maure/3.1._Modelos,%20tipos%20y%20tipologia.pdf

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE CAMPO DE FASES A LA SIMULACIÓN DE EVOLUCIÓN MICROESTRUCTURAL EN ALEACIONES

Rodrigo Luna Calva, Victor Manuel López Hirata, Maribel Leticia Saucedo Muñoz, Regina López Rosales, Darío Alberto Sigala García y Brenda Anahi Sandoval Reyes

Instituto Politécnico Nacional
rodrigolunacalva@hotmail.com

RESUMEN

En el presente trabajo se desarrollaron softwares donde se aplica el método de campo de fases para la simulación de la evolución microestructural de diferentes transformaciones de fase en aleaciones. Las transformaciones que se consideraron fueron la martensítica, orden-desorden, crecimiento de grano y descomposición espinodal.

Los softwares desarrollados en lenguaje de programación C++ se basaron en las ecuaciones diferenciales parciales de evolución temporal de Ginzburg-Landau o Allen-Cahn y Cahn-Hilliard; las ecuaciones se resolvieron mediante el método de diferencias finitas, obteniéndose distintos valores de ϕ (-1, 0 y 1) dependiendo de la transformación a simular.

Durante la ejecución de los softwares se introdujeron los datos termodinámicos necesarios para llevar a cabo la simulación como temperatura, composición, movilidad de las especies, coeficiente de energía del gradiente de concentración, entre otros; dando como resultado la evolución microestructural de inicio a fin para cada tipo de transformación.

Los resultados de las simulaciones numéricas de la transformación martensítica arrojaron una evolución microestructural después de un enfriamiento rápido desde la temperatura de austenita. Así mismo la simulación de orden-desorden obtuvo la evolución de los dominios de orden a lo largo del tiempo, donde se puede concluir que los tamaños de los dominios aumentan con el tiempo. Adicionalmente la simulación obtenida en el software de crecimiento de grano mostró que la energía local en los límites de los granos, o interfaces, es mayor que las energías de volumen correspondientes de los granos que forman los límites de los granos. Finalmente, la simulación de descomposición espinodal de composición hipotética mostró el proceso de evolución temporal de la separación de fases, obteniendo α , β y γ . Las fases y la concentración de cada fase corresponden a la composición de los vértices de la región trifásica en el diagrama de estado hipotético. En la separación de fase tardía, cada fase absorbe fases más pequeñas entre sí. Del análisis de resultados se comprueban que el método de campo de fase es aplicable para la simulación de transformaciones de fase.

INTRODUCCIÓN

Una microestructura se puede definir como una distribución espacial entre fases y posibles defectos con distinto carácter composicional y estructural. El tamaño, forma, fracción volumétrica y arreglo espacial, determina las propiedades del material multifase o multicomponente. [1]

Durante los distintos procesos de solidificación, precipitación en estado sólido y procesamiento termo mecánico, se desarrollan distintas microestructuras, esta esta distada por la dinámica de fronteras libres, así como la cinética de no equilibrio de las transformaciones de fase y fuerzas motrices termodinámicas de dichas transformaciones. [2-4]

La ciencia de materiales computacional ha evolucionado rápidamente, siendo capaz de predecir distintas propiedades de los materiales como propiedades electrónicas, ópticas, magnéticas, químicas, entre otras, así como procesos, que permiten el diseño de materiales mejorados para aplicaciones tecnológicas específicas [16-18]. El modelado y simulaciones computacionales de materiales también encuentran un lugar prominente junto a las investigaciones experimentales.

El método de campo de fases permite modelar y simular microestructuras mediante la evolución de distintas fuerzas impulsoras. Gradientes de composición, temperatura, tensión-deformación; arrojan resultados cualitativos y cuantitativos, representando los fenómenos presentes en la microestructura durante transformaciones de fase.

El modelo de campo de fases describe los dominios composicionales y estructurales de una microestructura con una serie de variables de campo, ϕ (r, t), también llamados campos de fase.

METODOLOGIA NUMÉRICA

Para la simulación se empleó la ecuación de Cahn-Hilliard, Ec. (1) y la ecuación de Ginzburg-Landau/Allen-Cahn, Ec. (2)

$$\frac{\partial C_i(r,t)}{\partial t} = \nabla * \left[\sum_j M_{ij} \nabla \frac{\delta G_{sys}}{\delta C_j(r,t)} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial S_i(r,t)}{\partial t} = - \sum_j L_{ij} \frac{\delta G_{sys}}{\delta S_j(r,t)} \quad (2)$$

Dicha formulación permite introducir un parámetro de orden o fase (ϕ), el cual muestra en cada momento el estado actual de la fase, dicho parámetro varía durante la evolución del modelo.

$C_i(r, t)$ y $S_i(r, t)$ son las variables de orden de los campos en la posición r y tiempo t , i es el número del parámetro de orden. M_{ij} y L_{ij} son la movilidad (o coeficiente de relajación) de cada parámetro de orden con respecto al cambio de tiempo y es una función de la variable de orden y la temperatura, a menudo es una función de la temperatura constante.

G_{sys} , Ec. (3), es una función de energía libre funcional de toda la transformación de fase.

$$G_{sys} = G_c + E_{grad} + E_{str} + E_{mag} + E_{ele} \quad (3)$$

G_c es la energía química libre, E_{grad} es la energía del gradiente, E_{str} es la energía de deformación elástica [11, 12] y el módulo elástico en función de la variable de orden de caída. [10, 13]. E_{str} puede ser considerado un campo de esfuerzos externo, E_{mag} es la energía asociada con los campos magnéticos externos y el dominio magnético. [8, 9] E_{ele} es energía eléctrica. [14] Cada una de estas energías se expresa como un funcional del parámetro de orden. [15]

La figura 1 presenta la página inicial del programa SIMIC 2.0 desarrollada en el Departamento de Ingeniería en Metalurgia y Materiales del Instituto Politécnico Nacional. En esta página se selecciona la transformación a simular y se ejecuta. Después de ejecutar la simulación, se abre una ventana donde se introducen los valores de los parámetros de la ecuación de Cahn-Hilliard o Allen-Cahn, posteriormente se observa una cronología que permite visualizar la evolución de la microestructura al transcurrir el tiempo.

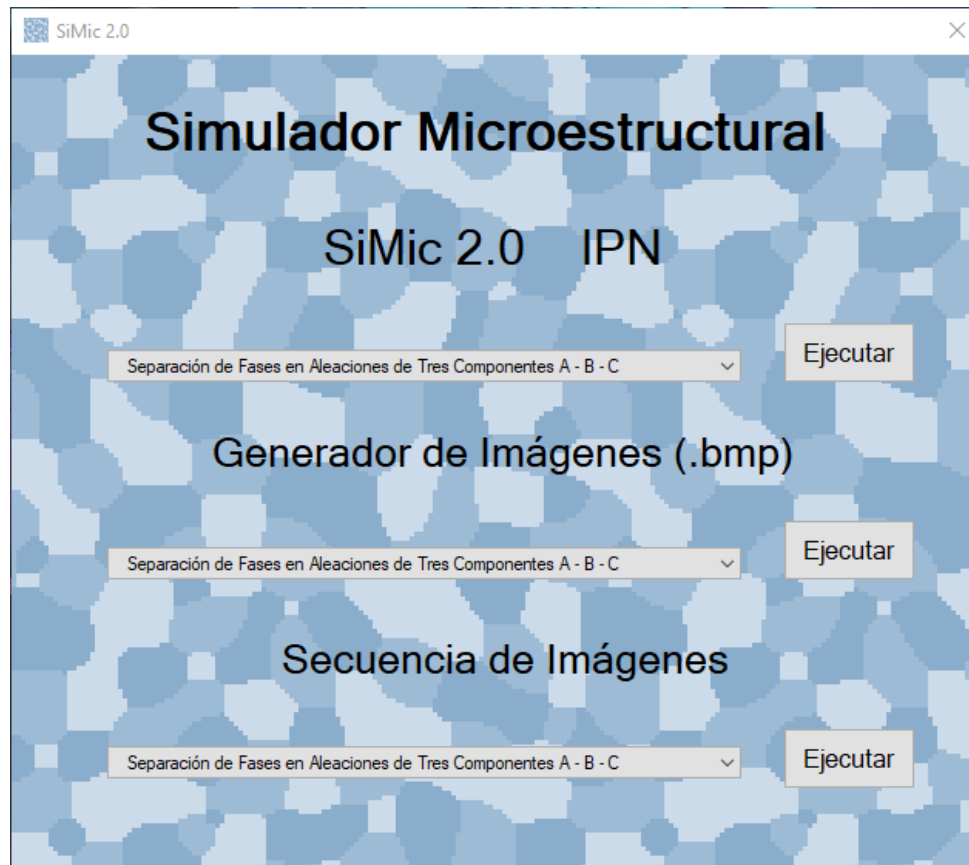


Figura 1. Página inicial de SiMic 2.0

RESULTADOS

Los resultados de las simulaciones numéricas de la transformación martensítica arrojaron la evolución microestructural después de un enfriamiento rápido desde la temperatura de austenita donde la fase de austenita es estable en el sistema Fe-C. En la figura 2, el color verde representa la fase martensita y el rojo la austenita.

En el tiempo cero se pueden observar pequeños puntos, que gradualmente aumentan de tamaño a hasta llegar a la formación de placas de martensita. Después de esto, las placas de martensita aumentan de tamaño.

Es importante mencionar que la simulación a 500 K está por encima de la temperatura de martensita de acabado M_f . Por tanto, no se alcanza la transformación martensítica completa.

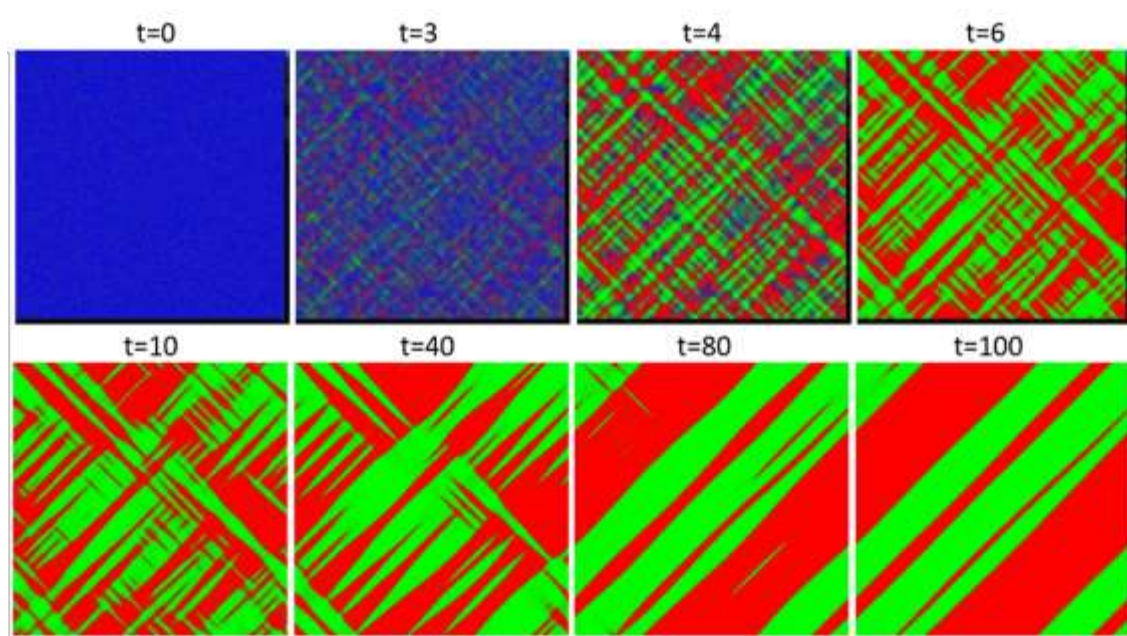


Figura 2. Evolución microestructural de 0 a 100 s de la transformación martensítica bajo condiciones de $M_{ij} = 1$, coeficiente de fluctuación de transformación cristalina = 0.01, $\Delta G_m = 1.0 \times 10^3 \frac{J}{mol}$, $k_s = 5.0 \times 10^{-15} \frac{J \cdot m^2}{mol}$, $\eta_1 = 0.05$, $\eta_2 = -0.05$ y 500 K.

Así mismo la simulación de orden-desorden, figura 3, se obtuvo la evolución de los dominios de orden a lo largo del tiempo, donde los tamaños de los dominios aumentan con el tiempo.

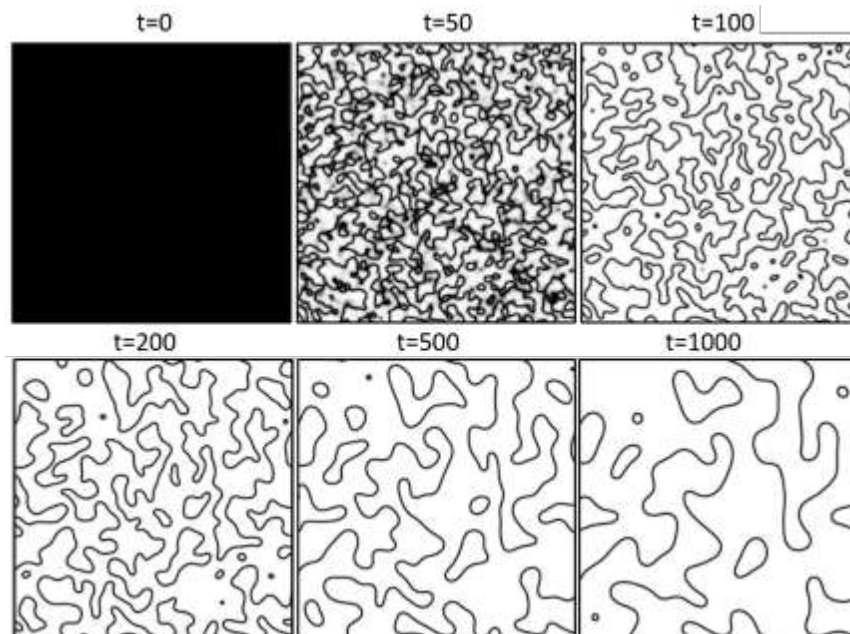


Figura 3. Evolución microestructural a 0 a 1,000 s de la transformación orden-desorden bajo condiciones de $\Delta G_m = 200 \frac{J}{mol}$, $k_s = 5.0 \times 10^{-15} \frac{J \cdot m^2}{mol}$, $M_{ij} = 1.0$ y 500 K

Adicionalmente la simulación obtenida en el software de crecimiento de grano, figura 4, mostró que la evolución progresa con el crecimiento de los granos más grandes y la desaparición de los más

pequeños, debido a que la energía local en los límites de los granos, o interfaces, es mayor que las energías de volumen correspondientes de los granos que forman los límites de los granos. La energía adicional asociada con los límites del grano proporciona una fuerza impulsora termodinámica para mover el límite del grano de una manera que minimiza la energía libre total.

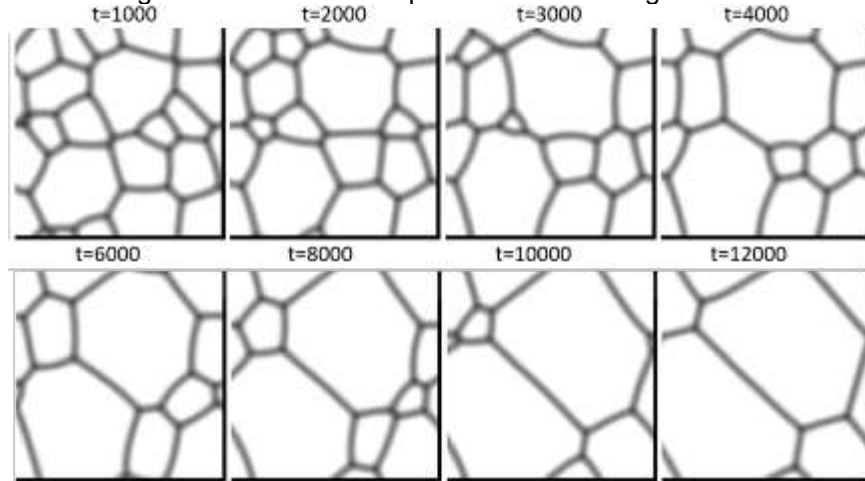


Figura 4. Evolución microestructural a 1,000 a 12,000 s del crecimiento de grano bajo condiciones de densidad de energía límite del grano= $0.5 \frac{J}{m^2}$, $k_s=8 \frac{J \cdot m^2}{mol}$, $M_{ij} = 1$, $E_0 = 50 \frac{J}{mol}$ y 1,000 K

Finalmente, la simulación de descomposición espinodal de composición hipotética, figura 5, mostró el proceso de evolución temporal de la separación de fases, obteniendo α , β y γ . Las fases y la concentración de cada fase corresponden a la composición de los vértices de la región trifásica en el diagrama de estado hipotético. En la separación de fase tardía, cada fase absorbe fases más pequeñas entre sí.

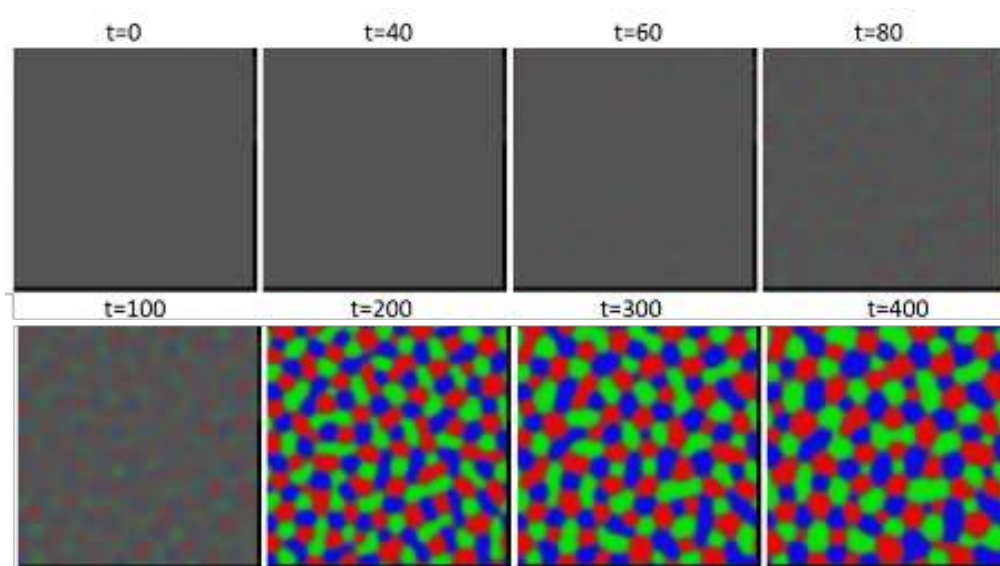


Figura 5. Evolución microestructural a 0 a 400 s de la descomposición espinodal de un sistema ternario hipotético A-B-C bajo condiciones de $L_{AB}^\alpha = L_{AC}^\alpha = L_{BC}^\alpha=25,000 \frac{J}{mol}$, $C_1 =$

$$1 - C_2 - C_3, C_2 = C_3 = 0.333, K_0 = 5 \times 10^{-15} \frac{J \cdot m^2}{mol} \text{ y } 900 \text{ K}$$

CONCLUSIONES

- El método de campo de fase es de gran relevancia ya que proporciona un enfoque computacional para modelar y predecir la evolución morfológica y microestructural de los materiales.
- Describe una microestructura que utiliza un conjunto de variables de campo conservadas y no conservadas que son continuas en las regiones interfaciales.
- La evolución temporal y espacial de las variables de campo se rige por la ecuación de difusión no lineal de Cahn-Hilliard y la ecuación de relajación de Allen-Cahn.
- Con la información termodinámica y cinética fundamental como entrada, el método de campo de fase puede predecir la evolución de morfologías arbitrarias y microestructuras complejas sin rastrear explícitamente las posiciones de las interfaces.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bulent-Biner, S. Programming Phase-Field Modeling. s.l.: Springer, 2017. p. 1. ISBN 978-3-319-41196-5.
2. Provatas, Nikolas and Elder, Ken. Phase-Field Methods in Materials Science and Engineering.
3. Wiley-VCH, 2010. pp. 1, 5-6. ISBN 978-3-527-40747-7.
4. Phase-Field models in materials science. Steinbach, Ingo. s.l.: IOP Publishing, 2009, Modelling and Simulation in Materials Science and Engineering, Vol. 17, p. 1.
5. Phase-Field Models for Microstructure Evolution. Chen, Long-Qing. s.l.: Annual Reviews, 2002, Annual Review of Materials Research, Vol. 32, pp. 113-114.
6. 蔵木山紀, 山田道大, 篠本滋, 川崎恭治, 甲斐昌一: パターン形成 (朝倉古, 1991)
7. 太田隆文: 界面ダイナミクスの数理 (日本評論社, 1997).
8. 山忠造: 磁気. 学の基礎 (共立出版, 1973).
9. A. Hubert and R. Schafer: Magnetic Domains- The Analysis of Magnetic Microstructure (Springer, 1998)
10. A. Khachatryan: Theory of Structural Transformations in Solids (Dover Pub., 2008).
11. 森勉, 村外志大: マイクロメカニクス (培風館, 1976).
12. T. Mura: Micromechanics of Defects in Solids, 2nd rev. ed. (Kluwer Academic, 1991)
13. 加藤雅治, まてりあ, 47 (2008) 256, 317, 375, 418.469, 513.
14. 砂橋秀俊: 固磁気学 (裳華居, 1959).
15. 篠崎丸夫, 松森徳衛, 占山正屈: 工学者のための変分学入門 (現代工学社, 1991)
16. 1 K. Honkala, A. Hellman, I. N. Remediakis, A. Logadottir, A. Carlsson, S. Dahl, C.H. Christensen, J.K. Nørskov, Science 307, 555 (2005)
17. K. Kang, Y.S. Meng, J. Breger, C.P. Grey, G. Ceder, Science 311, 977 (2006)
18. C. Fu, J. Dalla Torre, F. Willaime, J.-L. Bocquet, A. Barbu, Nature Materials 4, 68 (2005)

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL COMPORTAMIENTO DE VARIABLES CLIMÁTICAS COMO FUNDAMENTO DEL ESTUDIO HIDROLÓGICO DE UNA SUBCUENCA

Sara Citlali Díaz Adame, Eladio Delgadillo Ruiz, Luz Adriana Arias Hernández, Guadalupe Vázquez Rodríguez, David Tirado Torres, Glenda Edith Cea Barcía

Universidad de Guanajuato. División de Ingenierías. Departamento de Ingeniería en Geomática e Hidráulica.

sc.diazadame@ugto.mx

RESUMEN

Los estudios hidrológicos a nivel subcuenca son relevantes ya que, al ser considerada ésta como un área en la podemos conocer tanto redes como cauces principales, nos permiten tener un mejor conocimiento de los recursos hídricos y afectaciones en su disponibilidad debido a la variabilidad climática de la subcuenca. Es por ello que la gestión de los recursos hídricos es de vital importancia para el desarrollo integral de las sociedades, por lo cual, realizar un monitoreo constante para la determinación de cambios en los patrones del comportamiento de variables como temperatura y precipitación de una zona de estudio, puede resultar relevante en el análisis de la afectación de la disponibilidad de agua para las diversas actividades diarias del ser humano así como para las actividades productivas de una región en particular, además este análisis permite considerablemente la prevención de fenómenos meteorológicos pudiendo aminorar los riesgos de inundaciones y sequías, así como el mejoramiento en la planeación, el diseño y la construcción de infraestructura hidráulica ante los eventos mencionados. La zona de estudio considerada en esta investigación pertenece a la región Hidrológica Lerma de la cual se consideraron datos de estaciones climatológicas tanto convencionales como automáticas. Se llevó a cabo la delimitación de Subcuenca mediante el software de simulación y Sistema de Información Geográfica de acceso libre QGIS. Una vez delimitada la Subcuenca se analizaron parámetros hidrológicos y se estimaron las precipitaciones de diseño mediante el uso de software libre HTP (Hidráulica Termo Plus) a través de su módulo de Hidrología procesando datos del Servicio Meteorológico Nacional. Se determinaron además parámetros estadísticos básicos, así como la caracterización mediante climogramas para la caracterización regional de las variables de humedad relativa, temperatura mensual máxima y mínima, así como precipitación promedio y acumulada dentro del periodo del 2016 al 2020. Durante ese periodo de tiempo se observan anomalías para los años 2018 y 2019, resaltando este último como el año con menor días de Lluvia. Respecto a la humedad relativa promedio el mayor valor se observa para el año 2018. De igual manera, respecto a las funciones de distribución de probabilidad obtenidas mediante los datos de las estaciones comprendidos en la subcuenca con módulo de hidrología del software HTP se observó que la de mejor ajuste fue la función de Nash. Finalmente se obtuvieron mediante el software curvas Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) con lo cual se obtuvo la caracterización de los datos de precipitación de las estaciones dentro de la subcuenca delimitada. Los análisis y la caracterización de datos climáticos regionales constituyen un importante aporte para toma de decisiones, ya que pueden ser de gran impacto en el aprovechamiento de los recursos hídricos que están implícitos en la mayoría de los diseños de infraestructura y seguridad hídrica.

Palabras Clave: Gestión hídrica, variabilidad climática, Disponibilidad.

INTRODUCCIÓN:

La gestión de los recursos hídricos cada día cobra más importancia, es por ello que, realizar un monitoreo constante para la determinación de cambios de patrones de variables como temperatura y precipitación de una zona de estudio puede resultar relevante en el análisis de la afectación de la disponibilidad de agua para las diversas actividades tanto productivas como de consumo humano (SEMARNAT, 2013). En Guanajuato, de acuerdo con datos de CONABIO, más de la mitad de los municipios están caracterizados con riesgo medio por inundación y por otro lado ciertos municipios se concentra en mayor proporción un mayor grado de marginación por sequía, aunado a lo anterior la demanda de agua se ha reportado en un mayor uso en del sector agrícola (83.65 %) de la demanda total considerándose el resto en el sector público industrial y finalmente en la generación de energía

eléctrica. Caracterizar y conocer las variables: inicio, duración, terminación de la estación lluviosa y la cantidad de precipitación con fines de precisar su magnitud y relacionarlas con el desarrollo de diversas actividades en las cuales es fundamental el recurso hídrico para un aprovechamiento eficiente considerando como ejemplo la agricultura (Íñiguez, 2014) que por la situación de demanda en el municipio de Guanajuato le atribuye una mayor atención hacia investigaciones enfocadas en la caracterización, asociado a lo anterior el monitoreo regional permite la predicción y prevención de fenómenos meteorológicos pudiendo aminorar riesgos por inundaciones así como el mejoramiento en infraestructura hidráulica y el mejoramiento en la toma de decisiones ante los posibles riesgos (Ramírez, 2017). Se han realizado estudios respecto a la frecuencia e intensidad de lluvia considerando que es un factor climático que aunado a topografía y humedad de la zona son factores determinantes en la generación de inundaciones. (Coras et al, 2005).

Los municipios considerados en la investigación pertenecen a la región Hidrológica Lerma-Santiago, así como a la del Pánuco (Agua Gto, 2020). Los municipios de Ocampo, San Diego de la unión y San Felipe están identificados en la Cuenca Hidrológica del Río Santa María, esta cuenca a la que pertenecen estos municipios forma parte de las fuentes de las que se cuenta con disponibilidad de aguas nacionales superficiales (DOF, 2020).

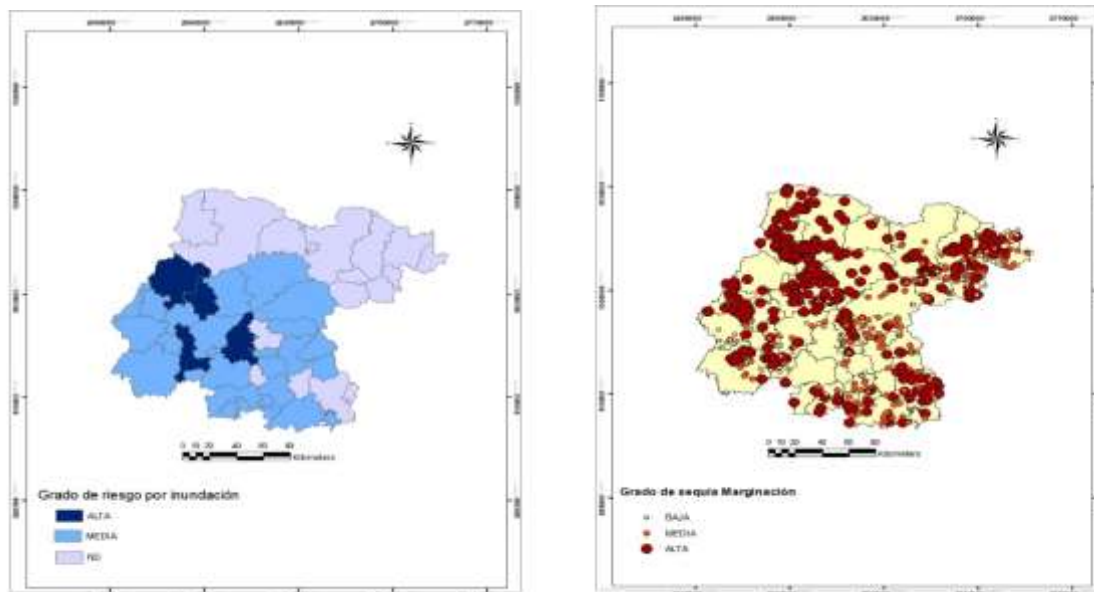


Figura 1. A) Mapa de Riesgo por inundación. B) Mapa de grado de sequía de los municipios de Guanajuato. (Elaboración propia, Fuente de datos: CONABIO).

TEORÍA:

La identificación y delimitación de una Cuenca hidrográfica permite tener una mayor comprensión de las siguientes interacciones de los siguientes tipos:

- Hidrológico: en el que sea considerado cuencas principales, ríos, arroyos, etc.
- Climático: determinando variaciones y comportamiento de variables climáticas como temperatura, humedad, precipitación, velocidad del viento, etc.
- Tipo topográfico tomando en cuenta el modelo digital de elevación del terreno
- Ambiental mediante el análisis del cambio de uso de suelo entre otros.

En este proyecto se enfocó de manera particular en el análisis de la precipitación y temperatura como variables climáticas. En esto aspecto los estudios realizados comprenden determinar la precipitación media de la Cuenca mediante la cual se pueda calcular el volumen total generado por evento de lluvia medida por la altura promedio de precipitación para lo cual se emplean diversos métodos (Legarda et al, 1996), los cuales comprenden el método del promedio aritmético, método de Thiessen, Método de las Isoyetas entre otros. El método usado en este estudio fue el método de

Thiessen el cual consiste en asignar el valor de precipitación de cada estación meteorológica en función del área de influencia (Sánchez, 2016).

Es importante definir además la interpretación de las curvas de intensidad, duración y periodo de retorno de lluvias (I-D-Tr) cuya información es relevante en el diseño de diversos sistemas hidráulicos. La intensidad se define como la razón de lluvias en un determinado tiempo para lo cual es expresada en mm/h, por otro lado, la duración es el tiempo transcurrido entre el inicio y término de una lluvia y finalmente el periodo de retorno es interpretado como el número probable de años que deben transcurrir para que ocurra un evento de intensidad o magnitud igual o mayor que la estudiada y dichas curvas pueden ser evaluadas mediante el análisis de datos de lluvia máxima (Al-Wagdany, 2020). Se ha definido que las curvas I-D-Tr son de gran importancia para la predicción de lluvias venideras, así como para investigar sobre diversos fenómenos.

Como herramienta estadística se aplica a las curvas I-D-Tr diversas funciones de probabilidad entre las que pueden mencionarse en su aplicación en hidrología son: Normal, Log-normal, Exponencial, Gamma, Pearson Tipo III, y Valores Extremos entre las que se encuentran Gumbel Tipo I (CONAGUA, 2015). La selección de estas funciones de distribución se basa en el criterio del mejor ajuste. (Chow, 1953). En la tabla 1 se presentan las ecuaciones de distribución correspondientes a cada una de las funciones de distribución mencionadas anteriormente.

En el caso de la distribución de Nash que es usada en este trabajo es del Tipo de función de distribución tipo Gumbel. (Hidráulica Termo Plus. 2021)

NOMBRE	FUNCIÓN DE DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD
Normal	$F(x) = \frac{1}{\beta\sqrt{2\pi}} \int_0^1 \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-a}{\beta}\right)^2\right] dx$
Log-Normal	$F(x) = \frac{1}{\beta x \sqrt{2\pi}} \int_0^1 \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - a}{\beta}\right)^2\right] dx$
Exponencial	$F(x) = F(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^1 \exp\left[-\frac{1}{2}z^2\right] dz$
Gamma	$F(x) = 1 - \exp\left[\frac{x-a}{\beta}\right]$
Pearson Tipo III	$F(x) = \frac{1}{\alpha\Gamma(\beta)} \int_0^1 \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left[-\frac{x}{\alpha}\right] dx$
Valores extremos	$F(x) = \exp\left[-\exp\frac{x-\alpha}{\beta}\right]$

Tabla 1. Funciones de datos de distribución de probabilidad para el ajuste con datos hidrológicos. (Fuente CONAGUA 2015)

PARTE EXPERIMENTAL:

Para este estudio se recopiló información de los datos de estaciones comprendidas en los municipios que integran la Cuenca considerando información climatológica de normales y valores mensuales del Servicio Meteorológico Nacional (SMN) así como estaciones automáticas de la Fundación Guanajuato Produce A.C.

Obtención de climogramas

Se procedió al análisis de los datos de la estación automática de nombre Vergel (Latitud 21.477, Longitud: -101.194) situada en el municipio de San Felipe, Gto. y perteneciente a la Fundación Guanajuato Produce A.C. de las cuales se utilizó información diaria en periodo de registro de cada 15 minutos en un rango de años del 2016 al 2020. Para la obtención de los climogramas se consideró la precipitación máxima, la intensidad máxima, días con precipitación, temperatura promedio máxima y mínima, así como humedad promedio relativa.

Delimitación de la Subcuenca

La delimitación de la subcuenca se realizó mediante el uso de software libre QGIS 3.16 mediante los siguientes pasos: a) Determinación de punto de interés y polígono del área mediante Google earth. b) Obtención de dirección y flujos de la red hidrográfica de la subcuenca mediante el Simulador de flujos de Agua de Cuencas (SIATL). c) Obtención del modelo digital de elevación en formato raster d) Delimitación de la subcuenca en QGIS mediante herramientas GRASS. En la delimitación de la Cuenca se procedió de la siguiente manera: extracción de raster por capa de máscara/reproyección en /corte del modelo digital de elevación/Filled /reload/selección y verificación que el punto elegido pase por líneas de flujo de la Cuenca hidrográfica.

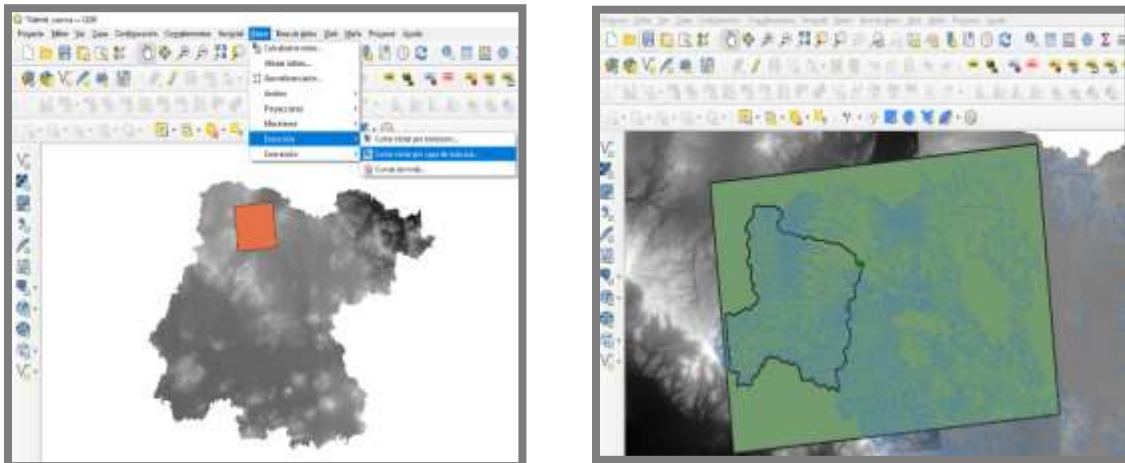


Figura 2. A) Procedimiento para obtención de capa por corte de máscara de raster. B) Obtención del polígono delimitado de la subcuenca.

Estimación de precipitación de la zona de estudio mediante software HTP

Se utilizó la sección de hidrología del software de acceso libre, a través del cual se realizaron los siguientes pasos: a) Integración de la subcuenca (Figura 3A). b) Selección de estaciones en la zona de estudio (Figura 3B). c) Obtención de curvas de ajuste. d) Obtención de polígonos de Thiessen.

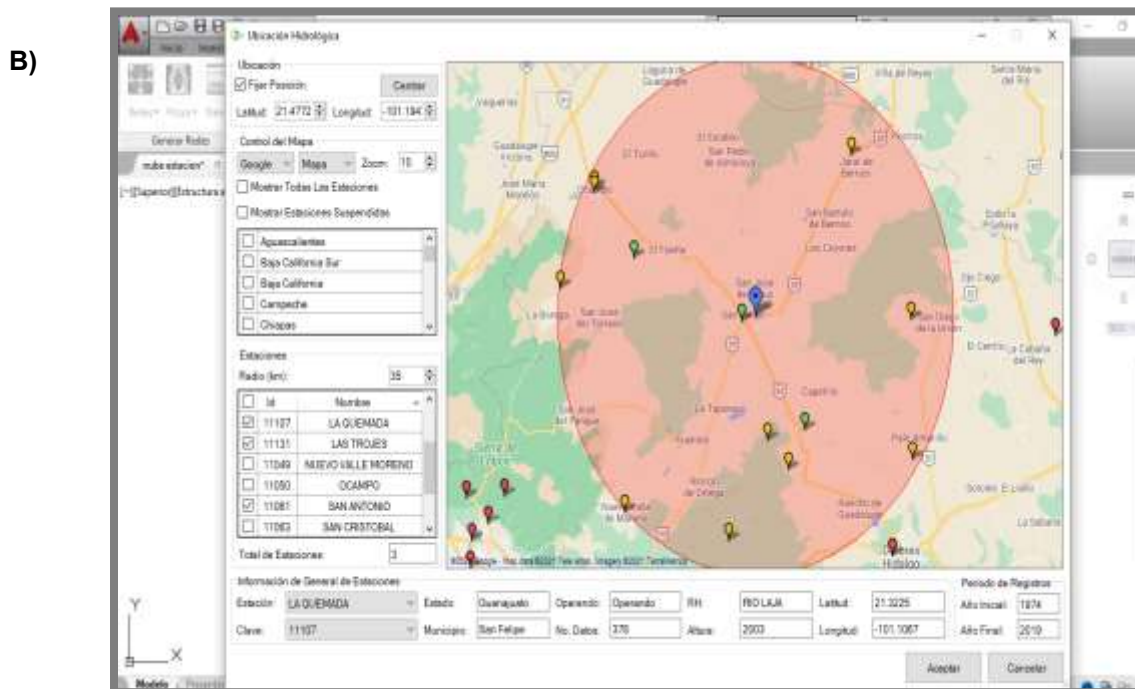


Figura 3. A) Integración de la Cuenca B) Selección de estaciones cercanas a la Cuenca. Mediante sección de Hidrología del software HTP.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Climogramas obtenidos

A continuación, se presentan los resultados de los climogramas obtenidos a partir de los datos de la estación de Vergel, ubicada en el municipio de San Felipe, Gto. Se estimó los valores mensuales de precipitación. Se obtuvieron los promedios de esos valores de Lluvia de esos 12 meses para poder observar tendencia de las variables en el tiempo.

En la Figura 4 se observa el gráfico de la precipitación promedio acumulada comprendida entre 2016 al 2020, en dicho gráfico se integra los valores de precipitación de normales acumuladas de 1981 al 2010 así como el promedio de cada uno de los meses. El valor más bajo como se muestra en la Figura es el correspondiente para el año 2019.

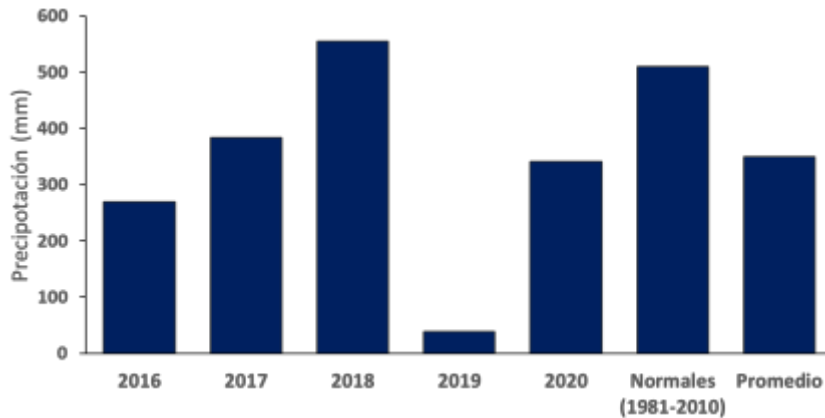


Figura 4. Climograma de precipitación promedio acumulada.

Para el análisis de los días con Lluvia se muestra en la Figura 5, observando que en promedio en el periodo del 2016 al 2018 un registro entre 60 a 70 días aproximadamente siendo el más bajo para el año 2019, observando que los valores de las normales y el promedio de los meses se encuentra en un rango cercano a 50 días.

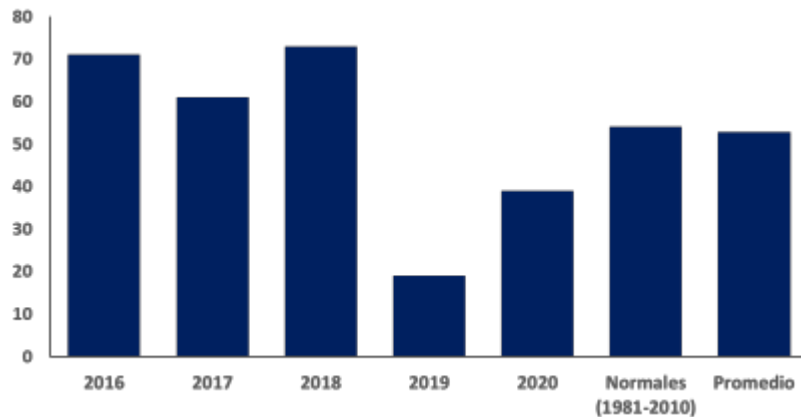


Figura 5. Climograma de días con precipitación.

En la Figura 6A y 6B se muestran los climogramas correspondientes a la máxima precipitación en 24 horas y la mayor intensidad de precipitación por hora respectivamente con respecto al rango de años de estudio de 2016 a 2020. Observando para ambos casos la anomalía muy marcada para el año 2019, resaltando con ello la referencia a un reporte de CONAGUA, considerando el año 2019

como el segundo año más seco observándose una tendencia a la baja en la última década sólo por debajo de 2011 respecto a los datos de los últimos 9 años.

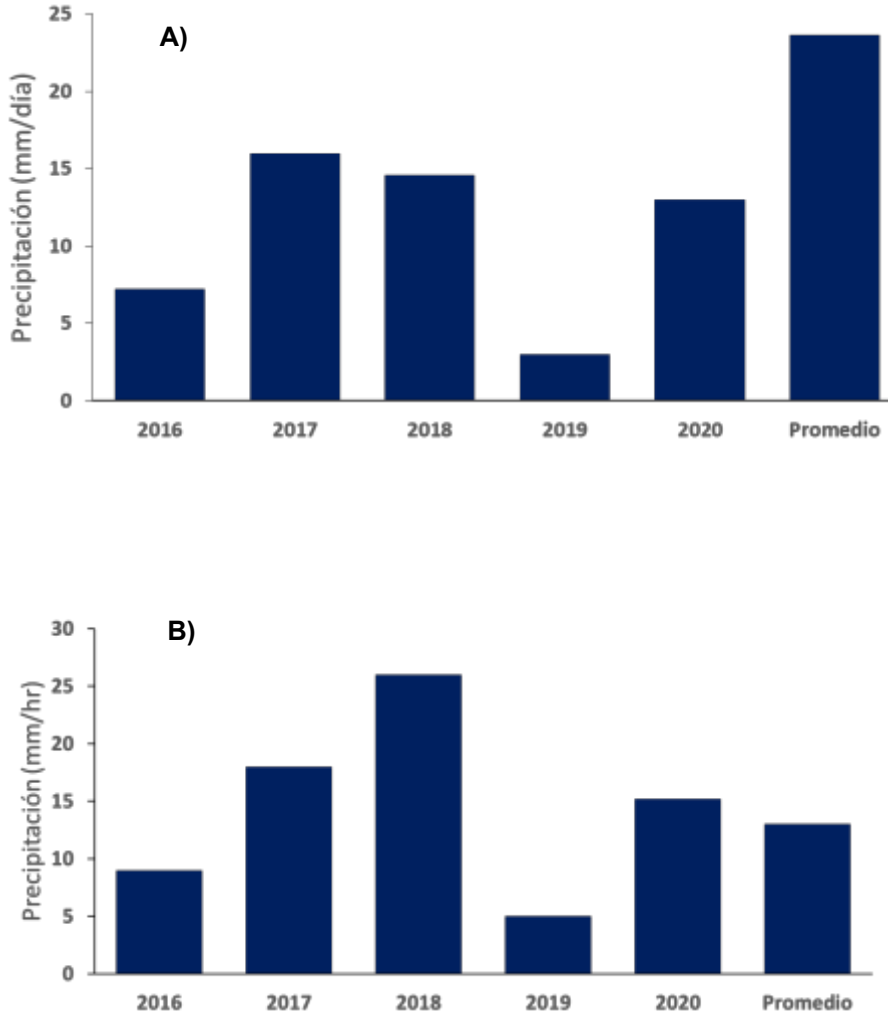


Figura 6. A) Climograma de precipitación máxima registrada en 24 horas B) Climograma de Intensidad máxima de precipitación por hora.

Como se observa en la Tabla 2 el mayor valor promedio anual de humedad relativa registrada se observa en el año 2018 seguida del 2016 con un valor de 61%, por otro lado, se muestra una tendencia similar para los años 2017, 2019 y 2020 (aprox 60%). Investigaciones realizadas han enfocado análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de duración corta en zonas urbanas (Ramírez, 2017), los cuales determinan el mes de octubre con valores promedio de presión y humedad más altas siendo para este caso la misma tendencia registrando un valor más alto de humedad relativa promedio también en octubre (73.7%)

Variable	2016	2017	2018	2019	2020	Promedio
----------	------	------	------	------	------	----------

Climática						
Tmáx	33.2	33.1	35.5	32.9	33.4	33.5
Tmín	-6.6	-7.1	-8.1	-3.7	-6.3	-6.2
Hum R	61	59	63	58	57	60

Tabla 2. Datos de identificación de estaciones y valores de la ecuación de Nash obtenidos mediante el software HTP. (Tmáx: Temperatura promedio máxima, Tmín: Temperatura promedio mínima. Hum R: Humedad Relativa Promedio)

Delimitación de la subcuenca

Las cuencas se caracterizan por ser zonas que contiene las redes o flujos hídricos, sin embargo, el delimitar la subcuenca nos permite tener una mejor comprensión de manera regional y con ello también obtener una mejor caracterización climática. Es por ello por lo que se llevó a cabo la delimitación mediante QGIS.

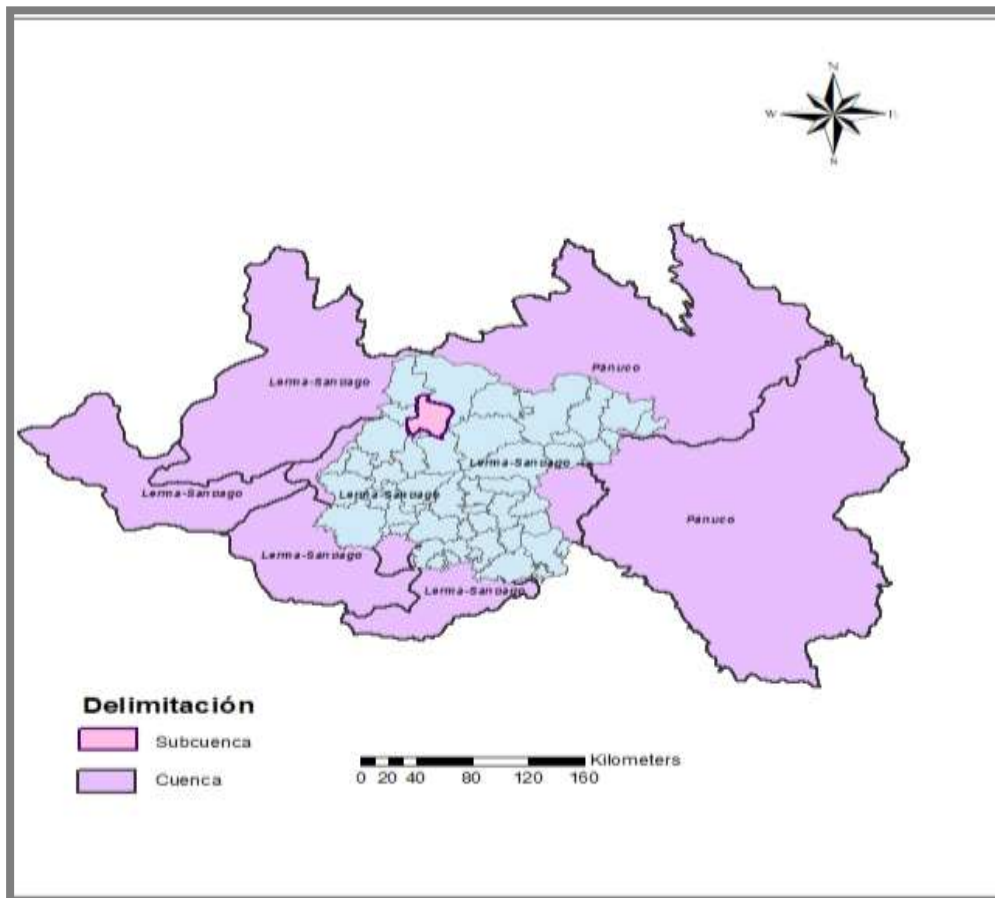


Figura 7. Mapa de polígono obtenido de la delimitación de la Subcuenca.

En la Figura 7 se muestra el polígono obtenido de la subcuenca delimitada, se muestran también los polígonos correspondientes a las Cuencas Lerma-Santiago de las que pertenece en mayor parte el estado de Guanajuato.

Estimación de precipitaciones mediante del módulo de hidrología del software libre HTP

Una vez delimitada la subcuenca, se empleó la sección de hidrología del software de Hidráulica Termo Plus (HTP). El software es de acceso libre y fue creado por la empresa Hidráulica Termo Plus,

si bien este software comprende módulos para el diseño de alcantarillado sanitario y pluvial, presenta una sección de hidrología con interesantes herramientas mediante las cuales una vez que se incorpora la Cuenca permite obtener una selección de estaciones cercanas a la zona de interés. (Termino plus, 2021)

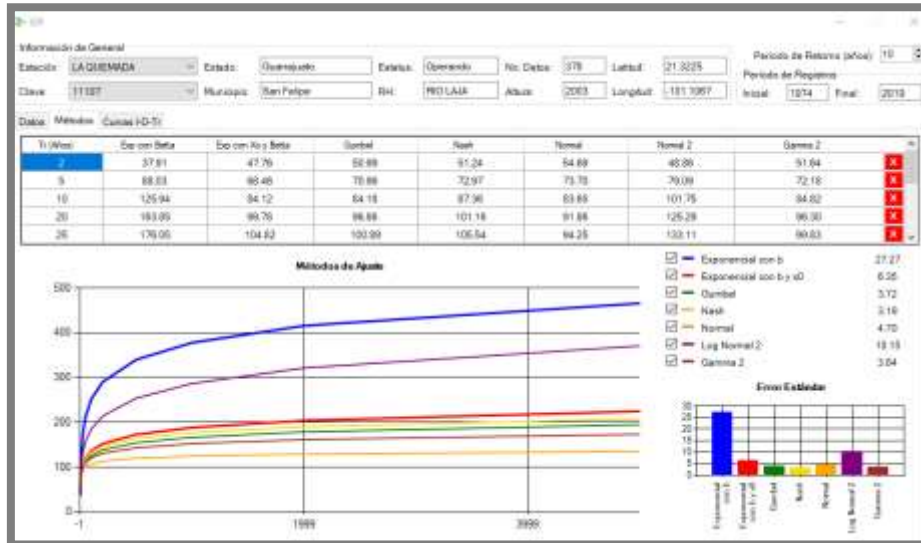


Figura 8. Determinación de Modelos de ajuste determinados mediante el software HTP

En la siguiente Tabla (Tabla 3) se resumen las estaciones más cercanas a la Subcuenca. El software registra la ecuación de varias curvas, sin embargo, se resume en la tabla las de menor valor.

Nombre de la estación	Latitud	Altitud	Municipio	Ecuación	Valor
La Quemada	21.322	-101.1067	San Felipe		3.19
Las Trojes	21.555	-101.409	Ocampo	Nash	2.12
San Antonio	21.469	-101.218	Dolores Hidalgo		4.55

Tabla 3. Datos de identificación de estaciones y valores de la ecuación de Nash obtenidos mediante el software HTP.

Una vez verificado el modelo que mejor se adaptó a las curvas de los valores de precipitación, se obtuvieron las curvas I-D-Tr que el mismo software genera. En la Figura 8, se muestran las curvas obtenidas para la estación de la Quemada, registrando valores de precipitación ligeramente más altos con respecto a las otras 2 estaciones. Si bien se pudo obtener estas curvas, las cuales han sido consideradas en diversos estudios de gran importancia para en la planeación de infraestructura hidráulica, los datos climáticos deben estar considerados con la más completa base de datos de estaciones climáticas para con ello obtener el valor más actualizado referente a tormentas de diseño de precipitaciones extremas (Hosseinzadehtalaei, 2020), que es lo que se pretende realizar y aprovechar con el módulo de hidrología del software HTP.

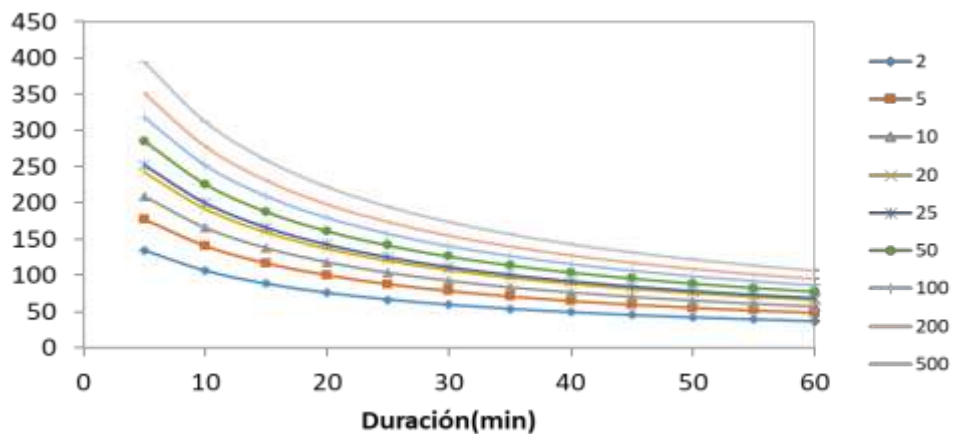


Figura 8. Curvas I-D-Tr de los datos de precipitación de la estación de la Quemada determinados mediante el software HTP

En la Figura 9, se muestra la aplicación de los polígonos de Thiessen obtenidos a partir del módulo de Hidrología HTP para la subcuenca de estudio.

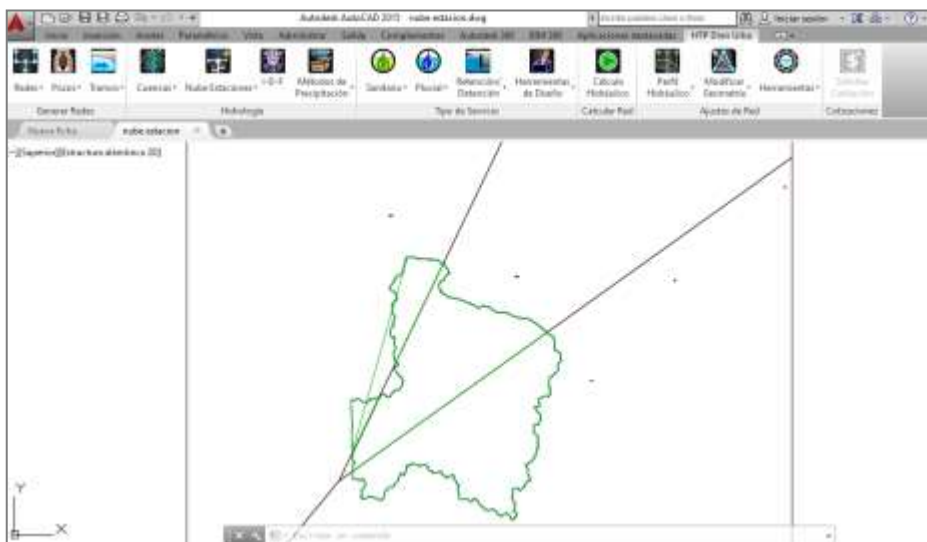


Figura 9. Determinación de polígonos de Thiessen mediante sección de Hidrología del módulo HTP.

CONCLUSIONES

Conocer el funcionamiento hidrológico de una subcuenca resulta de vital importancia a la hora de caracterizarla, para nuestro caso de estudio podemos destacar los cambios en las variables climáticas en el año 2019 en el cuales se muestra una mayor anomalía respecto a los demás años analizados.

Los resultados reflejan una notable disminución en valor en la humedad relativa en los últimos cinco años, así como una disminución de la precipitación en los últimos dos años dentro de la zona de estudio lo cual puede afectar significativamente diversos sectores de las regiones hidrológicas Lerma-Santiago y Pánuco

AGRADECIMIENTOS

A los estudiantes de la licenciatura en Ingeniería Hidráulica: Cristopher Salvador Rodríguez Terán y Gabriel Andrés Gutiérrez Blancas por el apoyo en el proceso de datos.

Al Arq. Rodrigo Felipe Sánchez Conde, Ing. Verulo Alejandro Castro Ortíz, Ing. Luis David Morales Aldana, Ing. Alma Rebeca de la Rosa Abriz, Ing. Griselda Carmona Medina coordinadores del software HTP por el apoyo y asesoría

A Martín Estrada Vaca por el apoyo y dedicación en la elaboración del vídeo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acosta, P. Sierra-Aponte, L. X. (2013) Evaluación de métodos de construcción de curvas IDF a partir de probabilidad y parámetros de ajuste. *Revista Facultad de Ingeniería UPTC*. 22(35), 23 – 33.
2. Al-Wagdany, A. S. (2020) Intensity-duration-frequency curve derivation from different rain gauge records. *Journal of King Saud University – Science*. 32 (8), 3421 -3431.
3. Brown-Manrique, O., & Gallardo-Ballat, Y., & Correa-Santana, A., & Barrios-García, S. (2015) El cambio climático y sus evidencias en las precipitaciones. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*. 36(1), 88-101.
4. CONAGUA Comisión Nacional del Agua. (2019) El reporte del clima en México. Reporte Anual 2019. Obtenido de <https://smn.conagua.gob>.
5. CONAGUA Comisión Nacional del Agua. (2015) Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Alcantarillado Sanitario.
6. Coras-Merino, P.M., & Arteaga Ramírez, R., & Vázquez-Peña, M. (2005). Análisis de frecuencias de lluvias máximas con fines de drenaje superficial local, Tabasco, México. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 113-120.
7. Chow, V.T. (1953) Frequency analysis of hydrologic data with special application to rainfall intensities, Bulletin no. 414, University of Illinois Eng. Expt. Station. *Diario Oficial de la Federación*.
8. Hidráulica Termo Plus. (2021). Manual de usuario del software HTP. México. 1 – 103
9. Hosseinzadehtalaei, P. & Tabaria H. & Willemsa P. (2020). Climate change on short duration extreme precipitation and intensity-Duration-Frequency curve over Europe. *Journal of Hydrology*. 520. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125249>
10. Iñiguez-Covarrubias, M., & Ojeda-Bustamante, W., Díaz-Delgado, C. & Sifuentes-Ibarra, E. (2014) Análisis de cuatro variables del periodo de lluvias asociadas al cultivo de maíz de temporal. *Revista Mexicana de ciencias agrícolas*, 5(1), 101-114.
11. Legarda-Burbano, L., & Viveros Zarama, M. (1996). La importancia de la Hidrología en el manejo de cuencas hidrográficas. *Revista De Ciencias Agrícolas*, 14(1 y 2).
12. Ramírez-Cerpa, Elkin, Acosta-Coll, Melisa, & Vélez-Zapata, Jaime. (2017). Análisis de condiciones climatológicas de precipitaciones de corto plazo en zonas urbanas: caso de estudio Barranquilla, Colombia. *Idesia (Arica)*, 35(2), 87-94.
13. Sánchez, F. N. (2016) Cálculo de la precipitación media sobre la Península de la Guajira usando el Método Thiessen. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. 26(1), 97-108.

DISEÑO Y ANÁLISIS MODAL DE FRAME TUBULAR PARA CAR CROSS POR EL MÉTODO DE ELEMENTO FINITO (FEM).

Humberto Rodríguez Bravo, José Ángel Castillo Cabrera, Francisco Fernando Torres Chimal y Miroslava Cano Lara.

Depto. Mecatrónica. Instituto Tecnológico Superior de Irapuato.

humberto.rb@irapuato.tecnm.mx, hubravo1980@gmail.com, lis17110922@irapuato.tecnm.mx,
francisco.tc@irapuato.tecnm.mx, miroslava.cl@irapuato.tecnm.mx.

RESUMEN.

En este trabajo se presenta el análisis modal en vehículo biplaza todo terreno, inspirado en la fórmula baja SAE lo que implica que debe ser ligero y robusto para ir de ruta. Utilizando el método de Análisis de Elementos Finitos (FEM por sus siglas en inglés), se obtuvieron las frecuencias naturales del diseño "frame". De este análisis se obtuvieron datos para determinar la efectividad del diseño y posibles mejoras. Cabe mencionar que este estudio representa una base introductoria importante para evaluar los modos de vibración y frecuencias naturales para evitar vibraciones no deseadas producidas durante el desempeño del vehículo.

El análisis de frecuencias se desarrolló en la plataforma de simulación dinámica del software SolidWorks®, obteniendo los primeros modos de vibración del "frame" que van de los 67.607 Hz hasta 92.564 Hz, mostrando las ventajas de la configuración seleccionada ya que permite una mejor respuesta a las excitaciones sometidas, reduciendo el rango de frecuencias y mejorando la rigidez de la estructura del vehículo.

INTRODUCCIÓN

En este trabajo se presenta un análisis modal de frecuencia realizado mediante el método de elemento finito, aplicado a un diseño inédito de un frame tubular tipo Buggy o Car-Cross, inspirado en la fórmula BAJA SAE, con la finalidad evaluar los diferentes modos de vibración del diseño.

Como objetivo general se va a llevar a cabo el diseño y modelado de un frame para Buggy o Car-Cross para llevar a cabo un análisis modal por el método de elemento finito para encontrar sus frecuencias naturales del sistema, como objetivos específicos constan en, diseñar el frame tubular realizar el diseño de un frame robusto en SolidWorks realizar un análisis modal de FEM.

TEORÍA

Para lograr llevar a cabo el proyecto, se deben abordar varios puntos teóricos clave para tener un correcto entendimiento del desarrollo y los resultados de este, tales como el software a utilizar, para que sirve un vehículo tipo Buggy o Car-Cross, teoría básica acerca del elemento finito, análisis modal, los cuales son puntos base de este proyecto.

Software para utilizar

SOLIDWORKS de Dassault Systemes® es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software que ofrece un amplio abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo de un producto. Sus paquetes ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

SOLIDWORKS ofrece soluciones bastante intuitivas para cada fase de diseño. Cuenta con un completo conjunto de herramientas que le ayudan a ser más eficaz y productivo en el desarrollo de sus productos en todos los pasos del proceso de diseño.

La geometría una pieza, sometida a cargas y restricciones, se subdivide en partes más pequeñas, conocidas como "elementos", que representan el dominio continuo del problema. La división de la geometría en pequeños elementos resuelve un problema complejo, al subdividirlo en problemas más simples, lo que permite a la computadora hacer las tareas con eficiencia.

El método propone que un número infinito de variables desconocidas, sean sustituidas por un número limitado de elementos de comportamiento bien definido. Esas divisiones pueden tener diferentes formas, tales como triangular, cuadrangular, entre otros, dependiendo del tipo y tamaño

del problema. Como el número de elementos es limitado, son llamados de “elementos finitos” (palabra que da nombre al método).

Los elementos finitos están conectados entre sí por puntos, que se llaman nodos o puntos nodales. Al conjunto de todos estos ítems “elementos y nodos” se lo denomina malla como se aprecia en la figura 1. Debido a las subdivisiones de la geometría, las ecuaciones matemáticas que rigen el comportamiento físico no se resolverán de una manera exacta, sino aproximada por este método numérico. La precisión de los Métodos dos Elementos Finitos depende de la cantidad de nodos y elementos, del tamaño y de los tipos de elementos de la malla [1].

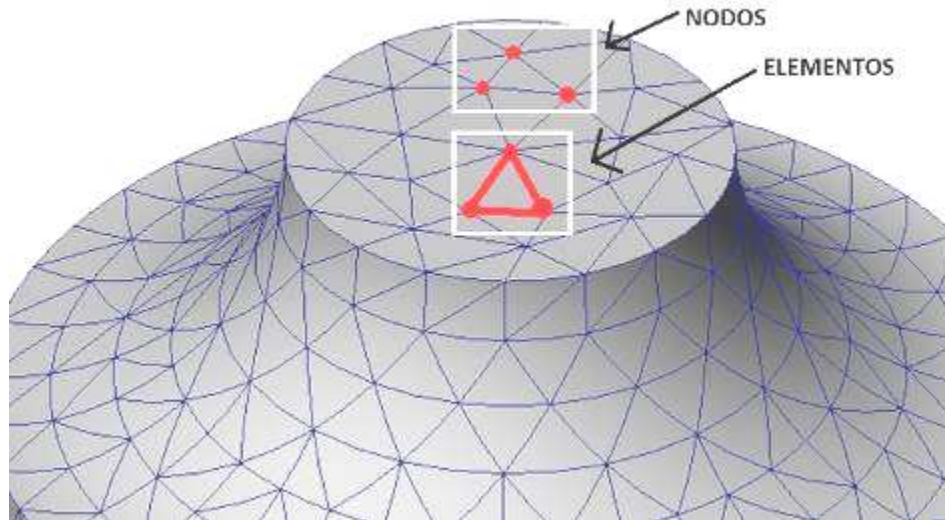


Figura 133. Representación de mallado, elemento y nodo

Buggy o Car-Cross

Un Car Cross forma parte de la familia de los vehículos tipo buggies. Estos vehículos tienen un uso recreacional o de competición y son usados en pistas de terracería, principalmente zonas costeras o desiertos, donde mejor se desenvuelven, ya que fueron diseñados para moverse sobre arena y saltar dunas.

De las familias de buggies se pueden hacer dos grandes diferencias por su construcción, los Dune Buggies que toman como base un coche, normalmente un VW Vocho (también conocido como Escarabajo o Bug), a la que se le acorta la plataforma y se sustituye la carrocería de acero por una mucho más ligera de fibra de vidrio. Dependiendo de la carrocería y de si se aumenta la potencia del motor, se añade una estructura tubular para aumentar la rigidez del chasis.

Los buggies explicados anteriormente están basados en coches y son de un tamaño mayor a los que se usan habitualmente en México. La principal diferencia, debida al tamaño, es la ubicación del motor. El motor ya no va situado sobre el eje trasero, sino en posición central trasera, esto para tener un centro de gravedad más cercano a los conductores. Es un vehículo con chasis tubular fabricado a medida, biplaza, con motor de motocicleta en posición central y suspensión independiente en las cuatro ruedas. El diseño del chasis integra las protecciones laterales y los soportes para suspensiones y ejes véase en la figura 2.

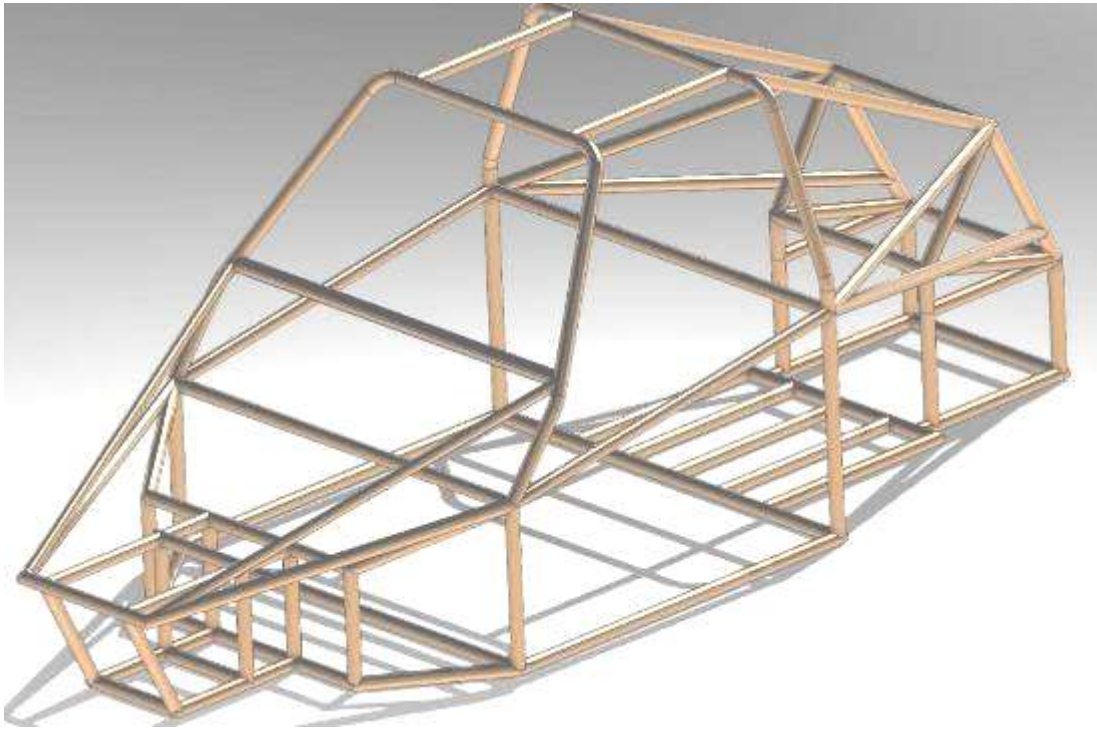


Figura 134. Buggy o Car-Cross

Análisis modal

El Análisis Modal es una técnica para determinar las características dinámicas del sistema como frecuencias naturales, factores de amortiguamiento y forma de modos, y así utilizarlos para formular un modelo matemático que represente su comportamiento dinámico. El modelo matemático obtenido es el llamado modelo modal de un sistema y su información es referida como su información modal. El análisis modal está basado en el hecho que la respuesta de vibración de un sistema lineal dinámico de tiempo invariante que puede ser expresada como la combinación lineal de movimientos simples armónicos llamados modos naturales de vibración [2].

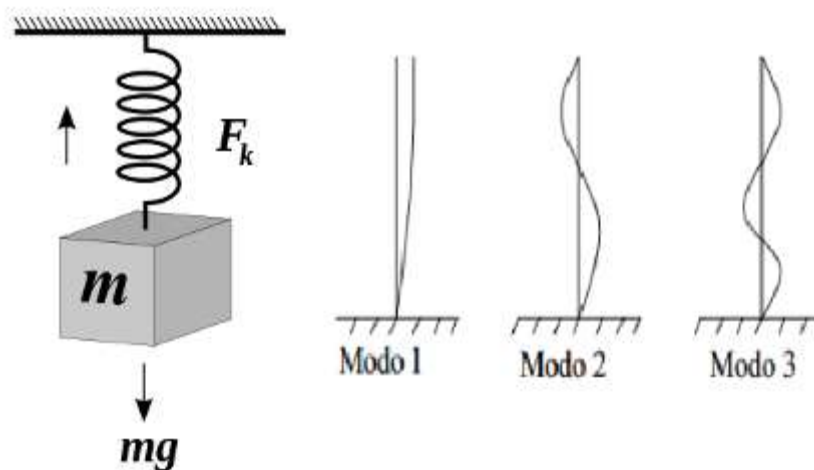


Figura 135. a) Representación de sistema masa resorte. b) Diferentes modos de vibración

La manera más sencilla de analizar un resorte físicamente es mediante su modelo ideal global y bajo la suposición de que este obedece la Ley de Hooke (Figura 3a).

De igual manera, se representan los diferentes modos de vibración que se pueden obtener en dicho sistema (Figura 3b).

La ecuación general que describe el movimiento de este sistema de un grado de libertad se muestra a continuación en la ecuación (1).

En la cual, los parámetros utilizados son los siguientes:

m: Masa

\ddot{x} : Aceleración

K: Constante del resorte

x: Posición de la masa

$$m\ddot{x} + Kx = 0 \quad (1)$$

Para calcular la frecuencia natural de un sistema, es necesario saber el valor de la constante del resorte y la masa, de esta manera podemos aplicar la ecuación (2), que se muestra a continuación [3].

$$w = \sqrt{k/m} \quad (2)$$

PARTE EXPERIMENTAL

El diseño y obtención de resultados mediante el análisis se realizará como mencione anteriormente en el software SolidWorks [4].

Diseño de la estructura en un croquis 3D.

En croquizado 3D, un asa de espacio gráfico ayuda a mantener la orientación mientras croquiza en varios planos véase en la figura 4. El asa de espacio aparece cuando se define el primer punto de una entidad de croquis en un plano seleccionado. Con el asa de espacio, es posible seleccionar el eje a lo largo del cual se desea croquizar.

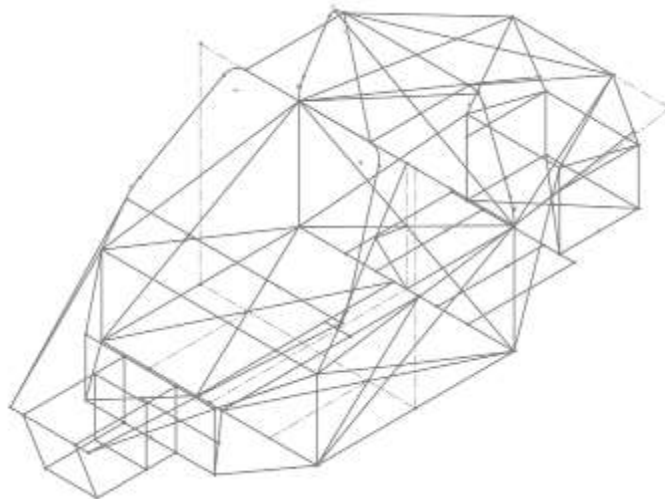


Figura 136. Estructura alambre del frame

Creación del miembro estructural.

El sistema estructural utiliza miembros estructurales primarios y secundarios en un flujo de trabajo que facilita la creación de sistemas estructurales complejos con recorte y gestión de esquinas flexibles.

Puede generar miembros primarios en una cuadrícula que se crea con puntos, aristas, planos de referencia, superficies y segmentos de croquis 2D y 3D véase en figura 5 a). Cada miembro secundario se ejecuta entre dos miembros primarios. Puede definir miembros secundarios mediante la selección de un plano de soporte y dos miembros primarios, o haciendo clic en dos miembros primarios como se aprecia en figura 5 b).

Cuando haya definido los miembros estructurales, el software abrirá el PropertyManager Gestión de esquinas para que pueda ajustar el tratamiento de las esquinas. Las esquinas se actualizan automáticamente cuando se realizan cambios en el sistema estructural o en los perfiles de miembros.

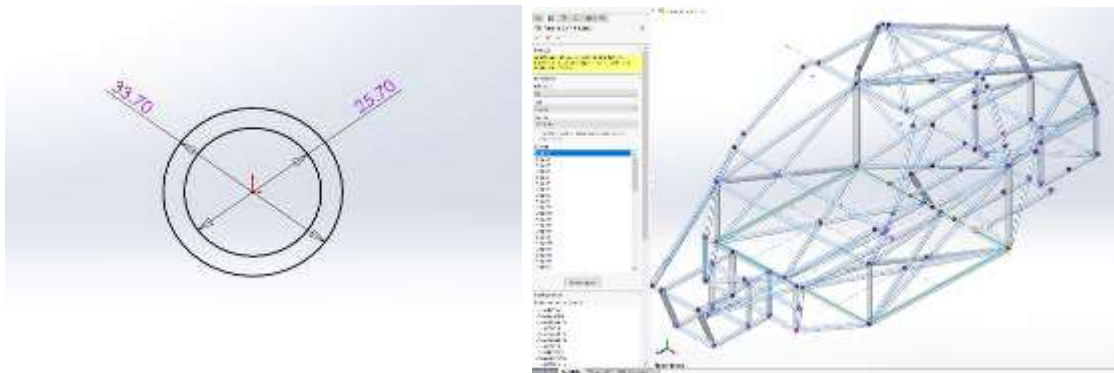


Figura 137. a) Geometría del miembro estructural b) Grupos del miembro estructural

Aplicación del sistema de restricciones.

Las cargas y restricciones son necesarias para definir el entorno de servicio del modelo. Los resultados del análisis dependen directamente de las cargas y restricciones especificadas. Las cargas y restricciones se aplican a entidades geométricas como operaciones que se asocian completamente a la geometría y se ajustan automáticamente a cambios geométricos, como se muestra en la figura 6.

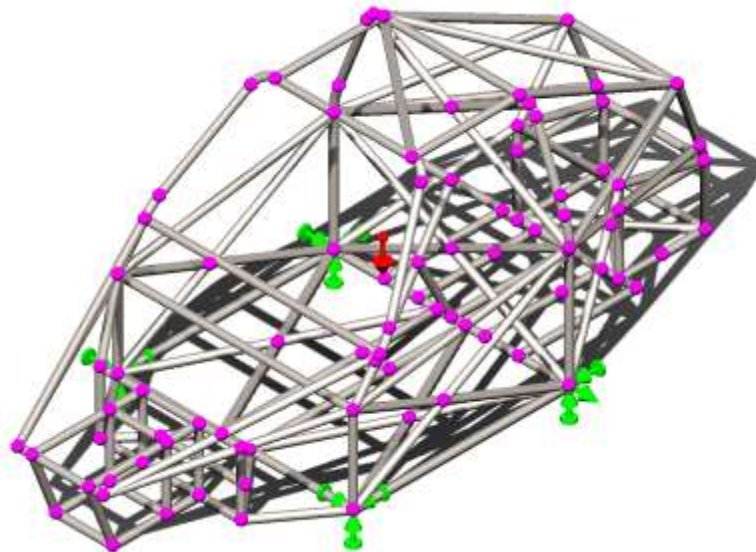


Figura 138. Sistema de sujeciones

Mallado del modelo.

El análisis de elementos finitos (FEA) proporciona una técnica numérica fiable para analizar los diseños de ingeniería. El proceso empieza con la creación de un modelo geométrico. Luego, el programa subdivide el modelo en partes pequeñas de formas sencillas llamadas elementos, que están conectadas en puntos comunes llamados nodos. El proceso de subdividir el modelo en pequeñas partes se llama mallado. Los programas de análisis de elementos finitos consideran al modelo como una red de elementos interconectados como se puede apreciar en la figura 7 a) y b).

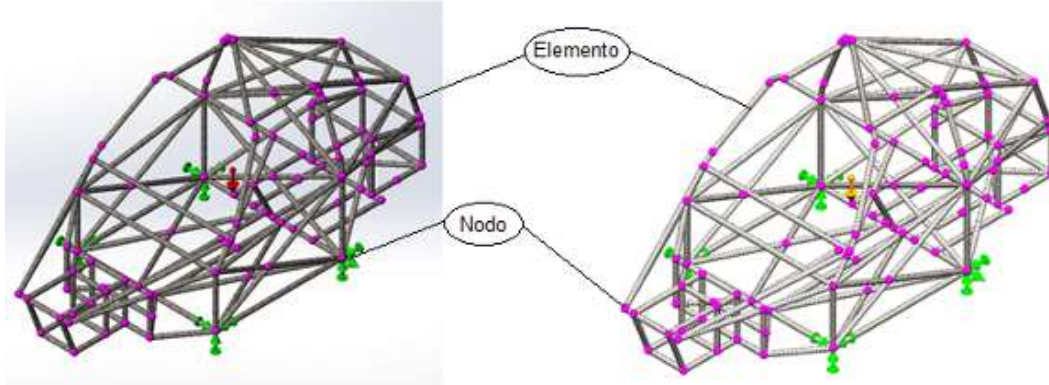


Figura 139. a) Malla robusta b) Malla fina

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El software crea automáticamente una malla combinada de elementos sólidos, de vaciado y de viga. La malla sólida es adecuada para los modelos voluminosos o complejos en 3D. Los elementos de vaciado son adecuados para las piezas delgadas (como las chapas metálicas). Los elementos de viga son adecuados para miembros estructurales.

Se necesitaron ajustar los redondeos y los puntos de unión entre miembros para que permitiera realizar la malla de manera correcta y ajustar los elementos de dicho diseño.

Análisis de frecuencias del sistema

Un sólido alterado de su posición de descanso tiende a vibrar con ciertas frecuencias denominadas naturales o resonantes. La frecuencia natural más baja se denomina frecuencia fundamental. Para cada frecuencia natural, el sólido adquiere una determinada forma denominada forma modal. El análisis de frecuencia calcula las frecuencias naturales y las formas modales asociadas.

Obtención y evaluación de los resultados.

El evaluador de simulación comprueba la configuración de un estudio para determinar si es la idónea para obtener una simulación correcta.

Antes de ejecutar un estudio, acceda al Evaluador de simulación para ver si hay condiciones de bloqueo que impiden una ejecución correcta de la simulación.

Propiedades del material

A continuación, se muestran los datos de las propiedades del material (ASTM A36) dichas propiedades del Acero se muestran en la Tabla 1.

Tabla 47. Propiedades del material ASTM A36 Acero

Propiedad	Valor	Unidades	
Módulo elastico	200,000	N/mm ²	
Coficiente de Poisson	0.26		
Módulo cortante	79,300	N/mm ²	
Densidad de masa	7,850	Kg/m ³	
Límite de tracción	400	N/mm ²	
Límite elástico	250	N/mm ²	

RESULTADOS

Se obtuvieron las frecuencias naturales y modos de vibración de los análisis modales del modelo, con una malla robusta y fina los cuales se muestran en la tabla 2.

Tabla 48. Resultados de las frecuencias naturales y modos de vibración

Nº de modo	F. Malla gruesa (Hz)	F. Malla fina (Hz)
1	68	67.607
2	67.791	67.799
3	76	76.363
4	93	92.564

Los primeros cuatro formas modales del frame tubular tipo Buggy o Car-Cross, con una malla robusta pueden observarse en la figura 8.

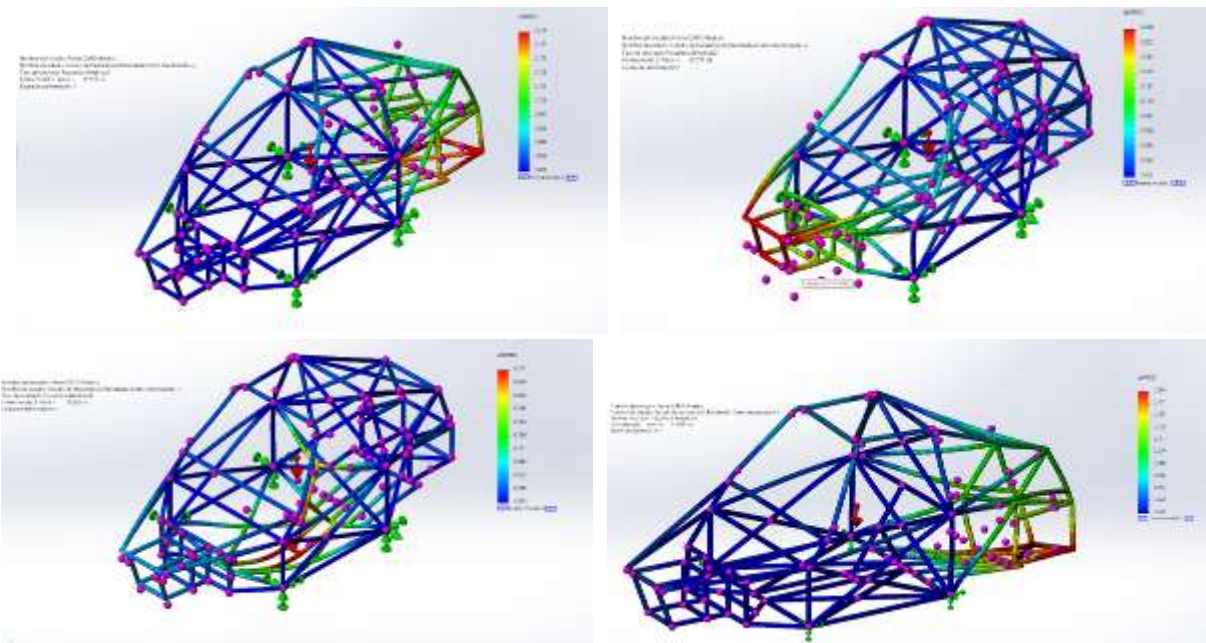


Figura 8. Formas modales del modelo, con una malla robusta

Posteriormente los primeros cuatro formas modales del frame tubular tipo Buggy o Car-Cross, con una malla robusta pueden observarse en la figura 9

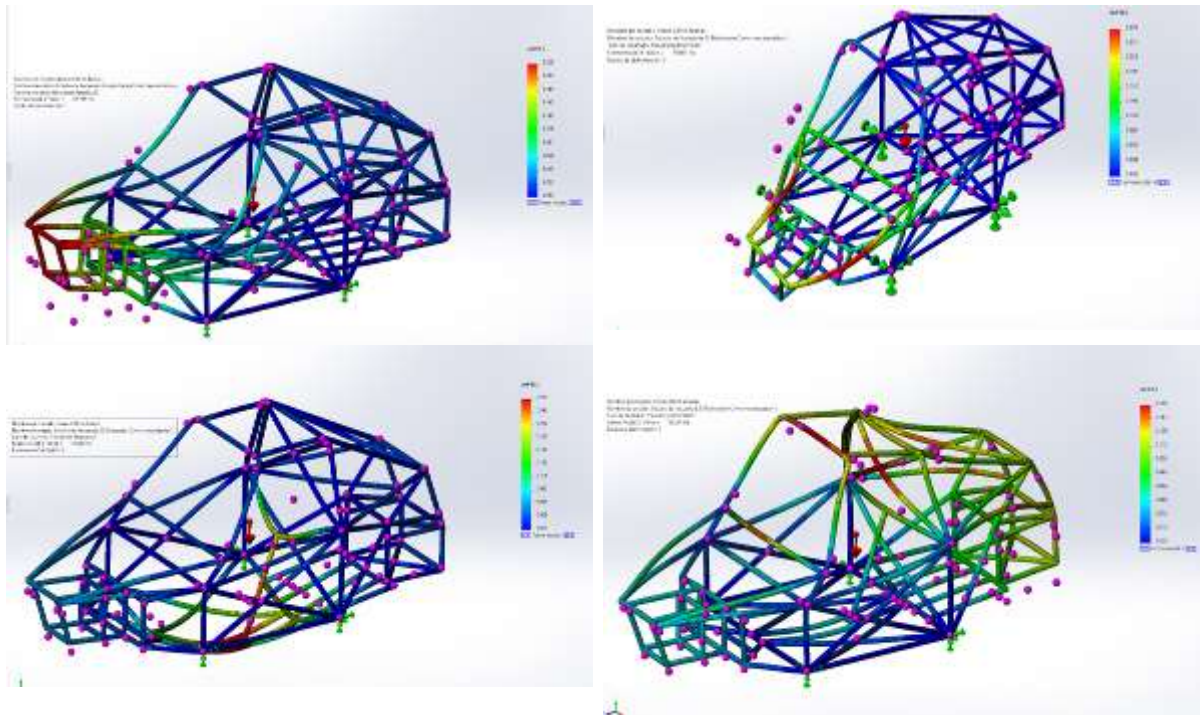


Figura 9. Formas modales del modelo, con una malla fina

CONCLUSIONES

Al encontrarse en condiciones de exigencia el vehículo ya sea por la vibración que viene desde las ruedas o algún otro factor que cause esta misma, el Frame tiene que tener la fiabilidad de que no va a encontrarse con problemas o fallas, tal es el resultado de este análisis modal realizado mediante el elemento finito, que tiene una amplitud de frecuencia muy baja lo que nos da una buena señal de que se encuentra optimizado para soportar las exigencias que se le pidan prácticamente en cualquier terreno.

BIBLIOGRAFÍA

1. M. Jacas Cabrera, M. (2001). *Modelo de elementos finitos para la determinación. Ingeniería Mecánica.*
2. GARCÍA LAZO, P. F. (2009). *Análisis de fatiga en piezas mecánicas usando el método de los elementos finitos.* Obtenido de <https://pirhua.udep.edu.pe>
3. He, J. &.-F. (2011). *Modal analysis.* . Estados Unidos: Butterworth-Heinemann.
4. Systèmes, D. (2020). *Ayuda de SOLIDWORKS.* Obtenido de http://help.solidworks.com/2020/spanish/SolidWorks/sldworks/r_welcome_sw_online_help.htm

DISPERSIÓN DE CONTAMINANTES EMITIDOS POR LOS QUEMADORES DE LA BATERÍA DE SEPARACIÓN DE LA TERMINAL MARÍTIMA DOS BOCAS, EN PARAÍSO TABASCO.

José Fernando Bustos Magaña¹, Ebelia Del Angel Meraz^{1*}, David Guerrero Zárate²,
Mayra Agustina Pantoja Castro¹, Alida Elizabeth Cruz Pérez¹

¹Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica de Ingeniería y Arquitectura, Licenciatura en Ingeniería Química, Carretera Cunduacán-Jalpa Km 1, Colonia la Esmeralda CP 86690, Cunduacán, Tabasco, México. ²Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, División Académica Multidisciplinaria de Jalpa de Méndez, Licenciatura en Ingeniería Petroquímica, Carretera Estatal Libre Villahermosa-Comalcalco Km 27+000 S/N, Ranchería Ribera Alta CP 86205, Jalpa de Méndez, Tabasco, México

*ebelia.delangel@ujat.mx

RESUMEN

En los municipios petroleros de la región de la Chontalpa en el estado Tabasco, los pobladores se quejan de sufrir perjuicios causados por las instalaciones de Petróleos Mexicanos. Habitantes de la región petrolera, dieron a conocer en un periódico de circulación estatal, que los quemadores causan contaminación por ruido, vibraciones constantes, emanación de partículas contaminantes, lluvia ácida, Bretaduras de viviendas, hundimiento de pozos, entre otros. Entre los municipios de la región de la Chontalpa que resultan afectados con estas instalaciones petroleras se encuentra Paraíso, Tabasco. Cuando se desfoga el humo se esparce hacia los campos de cultivos y llega a las viviendas, donde a la larga provocan enfermedades en la gente¹. El impacto que estas emisiones procedentes de los quemadores repercuten seriamente en la calidad de vida de los pobladores, la exposición prolongada a las emanaciones de contaminantes y lluvia ácida generada a partir de los quemadores o "mecheros" de la industria petrolera. Un estudio realizado por el Comité de Derechos Humanos de Tabasco (CODEHUTAB)², menciona que los contaminantes han provocado que niños de la ranchería Nuevo Torno Largo, del municipio de Paraíso presenten alteraciones cromosómicas por lo que son vulnerables a padecer leucemia, cáncer y deformaciones, hasta trastornos mentales. Para evaluar los radios de afectación en las localidades cercas a estaciones petroleras se utilizó el software DISPER 5.2³, para simular la concentración de los contaminantes CO, NO_x, SO₂, y partículas, que emiten los quemadores de la batería de la Terminal Marítima de Dos Bocas ubicada en Paraíso Tabasco. Con un equipo de GPS se ubicaron las coordenadas de los quemadores, se obtuvieron los datos de fuentes de emisión de los anuarios estadísticos de Pemex Exploración y Producción y los datos meteorológicos de la Comisión Nacional del Agua (CNA), se utilizó además el software WRPLOT View-Freeware, para evaluar la rosa de vientos. Los resultados se compararon con las Normas Oficiales Mexicanas de salud ambiental y se encontró que los quemadores de Paraíso de 23 m y 24m de altura, sobrepasan lo estipulado por la norma, con una concentración de CO de 12.595 µg/m³, el quemador de 23 m de altura sobrepasa el valor de la norma con una concentración de NO de 395 µg/m³ para el tipo de fuel-óleo.

INTRODUCCIÓN

Actualmente la contaminación del aire representa un importante problema medioambiental que impacta a la salud de la población mundial, independientemente del nivel de desarrollo socioeconómico⁴, puesto que la exposición a la contaminación atmosférica está presente en todos los lugares, especialmente en los sitios urbanos, y puede afectar a toda la población a lo largo del ciclo vital; múltiples estudios y revisiones sistemáticas han catalogado la contaminación atmosférica como una causa establecida de morbilidad y mortalidad, lo cual ha posibilitado el establecimiento de políticas de calidad del aire dentro de los países⁵.

En Tabasco la actividad industrial petrolera contribuye en gran manera a la mala calidad del aire, debido a la quema y venteo de gas para la optimización de la producción de petróleo en yacimientos, gracias a tales actividades Tabasco ocupa el segundo lugar a nivel nacional en pies cúbicos quemados de gas, quemando el 17 % del total de gas en México⁶.

Cuando se presentan casos en los que los focos emisores son industrias, como lo es en este caso, los modelos de dispersión ayudan a conocer el alcance máximo de los contaminantes y sus

concentraciones, así como también permiten conocer la altura de la emisión, para así garantizar que las emisiones no afectan a los alrededores donde se encuentre emplazada el área industrial⁵.

Es importante poder conocer la distancia de dispersión de contaminantes provenientes de las fuentes fijas emplazadas en la batería; debido al crecimiento de la población, las residencias se encuentran cada vez más próximas a estas zonas, pudiendo tener graves influencias en la salud y calidad de vida de los habitantes. El uso de modelos de dispersión de contaminantes ayuda a determinar con mayor facilidad y en menor tiempo las zonas que se ven afectada por dicha dispersión, así como la distancia a las que las concentraciones alcanzan su valor máximo⁷. En este estudio se utilizará el modelo de dispersión Disper 5.2, el cual permite evaluar la dispersión de una gran cantidad de contaminantes atmosféricos en el aire (COx, NOx, CxHy, Cl, Pb, partículas en suspensión, etc.)⁸.

TEORÍA

Contaminación atmosférica. La mayoría de las actividades industriales emiten contaminantes atmosféricos estas actividades se realizan en puntos críticos estacionarios, como instalaciones de la industria química, plantas de tratamiento de aguas residuales y residuos sólidos. Otras fuentes estacionarias importantes de contaminantes incluyen las instalaciones para la minería, la ganadería intensiva y el aprovechamiento. Los compuestos orgánicos volátiles (COV), los olores y los gases de efecto invernadero se liberan de las fuentes antes mencionadas, lo que genera problemas relacionados con el calentamiento global, trastornos de salud y quejas a las administraciones públicas por molestias por olores. Cuando no se puede evitar la liberación de contaminantes atmosféricos, se debe caracterizar el tipo de contaminantes, su concentración y el caudal de emisión de gases residuales para seleccionar la tecnología de tratamiento más rentable⁹. Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes causantes de las alteraciones en la atmósfera tenemos:

- Aerosoles: suspensión de partículas finas sólidas o líquidas en un gas, las cuales se emiten directamente como partículas o se forman en la atmósfera mediante procesos de conversión de gas a partícula.
- Dióxido de carbono (CO₂): es el gas traza dominante y el mayor contribuyente al incremento del forzamiento radiactivo. Estas emisiones provienen principalmente de la combustión de combustibles fósiles y las derivadas de cambio de uso de suelos¹⁰.
- Monóxido de carbono (CO): gas incoloro, inflamable y altamente tóxico, resultado de una combustión incompleta de derivados del petróleo o madera y de procesos catabólicos, su importancia radica en los sistemas de calefacción por combustión¹¹.
- Dióxido de azufre (SO₂): es un gas incoloro y no inflamable, que se combina fácilmente en la atmósfera con el vapor de agua, convirtiéndose en un ácido sulfúrico y es, junto con el nítrico, uno de los causantes de la lluvia ácida.
- Óxidos de nitrógenos, NO_x: el óxido de nitrógeno (NO) es un gas tóxico, inodoro e incoloro pero no inflamable. El óxido nítrico se combina en la atmósfera con el vapor de agua dando lugar a éste, siendo uno de los causantes de la lluvia ácida. El dióxido de nitrógeno (NO₂) es un gas color pardo rojizo. Al igual que el óxido de nitrógeno se combina con el vapor de agua dando lugar a la lluvia ácida¹².

Quemadores. Es un dispositivo mecánico diseñado para producir una llama estable, con una forma y tamaño predeterminados. Los combustibles líquidos se rompen en pequeñas gotas por medio de un atomizador. Fuel-oil y gas se introducen dentro de la corriente de aire de combustión para asegurar una buena mezcla y estabilizar la base de la llama. Un quemador está compuesto por numerosas partes, pero revisando las funciones de cada una, sus partes principales se agrupan en: Abastecimiento de Aire, Ventilador (Turbina), Difusor. Utilización de Combustible: Válvulas solenoides, Bombas de combustible, Ductos de combustible, Boquillas.

- Encendido del Quemador: Transformador de ignición, Detector de llama.

Existen muchos tipos de quemadores según su diseño, en donde se debe seleccionar el tipo que más se adapte a las necesidades en cuestión. En las plantas industriales se utilizan principalmente dos tipos de quemadores; el de tiro natural, y el de tiro forzado¹³.

Quemadores Fuel-oil

El Fuel-oil es un producto muy complejo, ya que es un combustible líquido derivado del petróleo que difieren del gas con viscosidades muy diferentes. En este caso, es necesario romper y pulverizar el fuel-oil por atomización de forma que el aire puede combinarse con las finas gotitas de aceite. Sin

embargo, la naturaleza viscosa del aceite nunca permite a éste alcanzar la naturaleza gaseosa, es por lo que se han desarrollado equipos de atomización óptimos que dispersan el fuel-oil convenientemente, quemándose así más rápidamente, lo que permite temperaturas de llama más elevadas¹⁴.

Dispersión de los gases

Las emisiones principales que se generan en el proceso de una central térmica generadora de energía producido por la combustión de combustibles, es el dióxido de azufre (SO₂), óxidos de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO₂) y partículas¹⁵.

- Dióxido de azufre, proviene de la combustión de combustibles que contienen azufre y de la fusión de metales no ferrosos, después de la emisión, se dispersan en el aire reaccionando con otras sustancias, por último, se depositan en un cuerpo receptor.
- Óxidos de nitrógeno, El nitrógeno forma ocho diferentes, el interés principal en la contaminación, son el óxido nítrico (NO) y el dióxido de nitrógeno (NO₂), que contribuyen al calentamiento global y destrucción posible de la capa de ozono.
- Monóxido de carbono, es un gas producido por la combustión incompleta de combustibles.
- Dióxido de carbono gas incoloro, proveniente de la combustión completa de los combustibles.
- Material particulado, el humo emitido por la combustión de combustibles, contiene polvos finos que pueden contener metales pesados¹⁶.

Límite máximo permisible

Es la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daño a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

La emisión es la sustancia lanzada a la atmósfera por las fuentes de emisión (móvil en ruta o móvil fuera de ruta), que genera posteriormente una inmisión o concentración aérea de contaminantes¹⁷.

Existen metodologías empleadas para la estimación de emisiones, entre ellas, la técnica del balance de masa, la cual se puede definir como una contabilidad de entradas y salidas de masa en un proceso o de una parte de éste, siendo un requisito importante ya que consiste en la contabilización de las entradas y salidas de los materiales, además que se efectúa para el cálculo del tamaño de los equipos de un proceso que se emplean y por ende para evaluar sus costos¹⁸.

Disper 5.2

Es un software que permite evaluar la dispersión de una gran cantidad de contaminantes atmosféricos en el aire (CO_x, NO_x, Cl, Pb, partículas en suspensión, etc.). El Disper 5.2 es un modelo detallado con capacidad para incluir diferentes fuentes fijas y con capacidad de predecir concentraciones de contaminantes para períodos de tiempo mayores a una hora, e inclusive, de predecir la concentración anual de un determinado contaminante¹⁹.

WRPLOT View-Freeware

Es un software para la construcción de Rosas de Viento para datos meteorológicos. Proporciona una vista de gráficas de rosas de viento, análisis de frecuencias, así como gráficas para diversos formatos de datos meteorológicos, en el cual se deben indicar las fechas de inicio y finalización de las mediciones, el lugar de almacenamiento, el formato meteorológico y los intervalos a través del cual se realizarán las mediciones para poder realizar los cálculos, en donde una vez obtenidos, los resultados se obtienen en forma numérica, gráfica y tabular²⁰.

Software ArcMap

Software que permite crear una superficie continua a partir de datos puntuales, de una capa raster (modelos de datos espaciales que definen el espacio como un conjunto de celdas del mismo tamaño, ordenadas en filas y columnas) o de polígonos.

Para ello estudia en primer lugar la autocorrelación espacial de la variable a interpolar, luego calcula una función de interpolación que tiene en cuenta el grado y tipo de autocorrelación existente en la variable y finalmente utiliza el semivariograma para describir y elaborar modelos espaciales, prediciendo valores en puntos no muestrales y proporcionando una medida de valoración de los mismo²¹.

Terminal Dos Bocas

El puerto de Dos Bocas se encuentra en el municipio de Paraíso, en el estado de Tabasco, sobre la parte sur del Golfo de México, destaca por la buena ubicación geográfica (Latitud: 18° 20' Norte,

Longitud: 93° 11' Oeste), pues tiene comunicación con las ciudades petroleras más importantes de la región. Existen una serie de mechones en la cercanía del puerto de Dos Bocas que dejan ver desde una distancia bastante considerable cuando se está acercando a este puerto, estos se encuentran en situación geográfica latitud 18° 26.3' N, longitud 093° 09.7' W²².

PARTE EXPERIMENTAL

Para realizar el monitoreo de algunos contaminantes en la batería de Dos Bocas durante el periodo de Septiembre-Noviembre, se recopilaron datos, de la velocidad del viento, la dirección del viento y la temperatura que se mantuvo en el área en el periodo de septiembre-noviembre.

En el programa Excel se analizaron los datos, los valores máximos del viento y las temperaturas máximas para el periodo para el estado de Paraíso. En la Tabla 1, se muestran los datos en unidades métricas y en unidades de kelvin para las temperaturas del periodo septiembre-noviembre:

Tabla 49. Datos meteorológicos de Dos Bocas, Paraíso

Meses	Velocidad del viento (m/s)	Temperatura (°K)
Septiembre	1.61	302.5
Octubre	0.86	301.5
Noviembre	2.77	300.8

Empleando el programa WRPLOT Viewtm con los datos meteorológicos antes vistos, nos proporciona la dirección teórica del viento. Este programa toma como rango de 0π a 2π o bien un rango direccional de 0° a 360° (Figura 1).

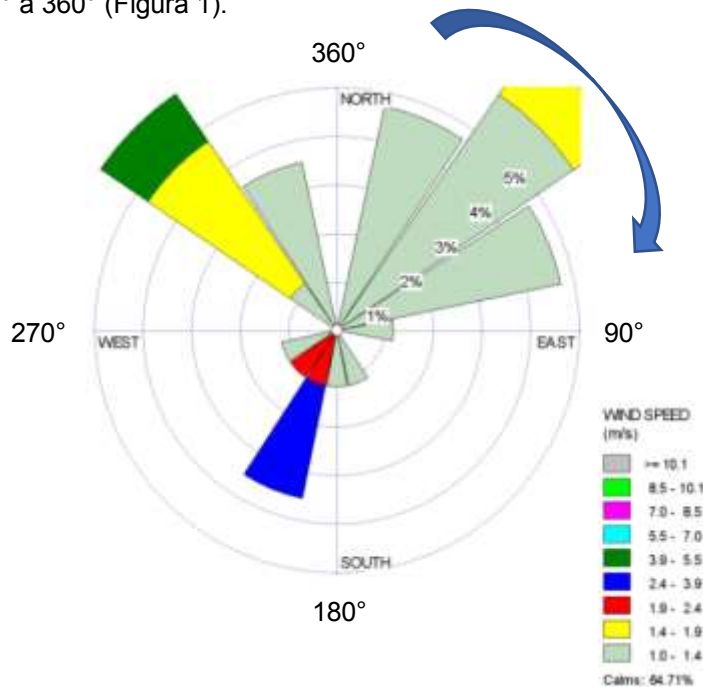


Figura 22. Rosa de los vientos generada para las estaciones meteorológicas de Dos Bocas.

Para nuestro caso de estudio se tuvo que las estaciones meteorológicas en la rosa de vientos de paraíso tienen una dirección de 90°. Esta se observa y cuenta conforme el sentido de las manecillas del reloj. De acuerdo con las estaciones meteorológicas la altura del anemómetro es de 10 m; el programa determinar cómo altura de la capa limite 250 m, dado a que los quemadores se consideran que están es zonas rurales, estos datos se toman, considerando en el programa una atmósfera rural. Considerando en el simulador la temperatura de día, el parámetro de estabilidad K de Pasquill-Gifford es asignado por el programa. Los datos de Altura y diámetro de los quemadores de la batería de

Dos Bocas, Paraíso, son recopilados del documento “Aplicación de la metodología para el diseño de una red automática de monitoreo atmosférico” realizado por C. A. Guzmán Carranza y R. Aguirre, en la Tabla 2 se muestran los datos obtenidos de dicho documento.

Tabla 50. Altura y diámetro en metros de los quemadores de Dos Bocas, Paraíso.

Quemador	Altura (m)	Diámetro (m)
#1	23	0.25
#2	24	0.30
#3	65	0.91

De acuerdo con el simulador la temperatura por defecto para los quemadores se encuentra en un rango de 140-150 °C por lo tanto se toma para el quemador #1 una temperatura de 140 °C, para el #2 se toma 145 °C y para el #3 se toma una temperatura de 150 °C (Tabla 3).

Tabla 51. Temperaturas de los quemadores, de acuerdo al manual del simulador.

Quemador	Altura (m)	Temperatura (°K)
#1	23	413
#2	24	418
#3	65	423

De acuerdo con la norma NMX-AA-107-1988 Calidad del aire- Estimación de la altura efectiva de chimenea y de la dispersión de contaminantes- Método de prueba. Air Quality-Effective Stack Height and pollutants dispersion estimates-Test metod y a los datos meteorológicos de la velocidad del viento obtenidos, se obtienen las velocidades de salida de los gases (Tabla 4).

Tabla 52. Datos de Velocidades de salida recomendadas.

Velocidades de salida recomendadas	
Velocidad del viento (m/s)	Velocidad de salida mínima (m/s)
4.4	6.6
6.6	10.1
8.8	13.2
11.1	16.7
13.3	19.8

Dado a que los valores de la velocidad del viento de la Tabla 4 rebasan a las velocidades reportadas para este trabajo (Tabla 1) se procede a proponer valores de velocidad de salida de los gases, tomando de apoyo la Tabla 4 y datos encontrados en el documento de diseño de chimeneas (Tabla 5):

Tabla 53. Datos de la velocidad del flujo de salida de los gases contaminantes

Rangos de altura (m)	Velocidad del flujo de salida (m/s)
23-24	9
36-65	12

Para poder obtener el flujo de salida de los contaminantes es necesario tener la estimación del flujo de salida, este es proporcionado por simulador a la hora de seleccionar el tipo de fuente contaminante para el fuel-óleo; posterior a ello se determina la potencia de la caldera de 30 MW y los contaminantes CO, NO_x, SO₂ y Material particulado (PM), que se simularan por separado. El coeficiente de decaimiento determinado para el SO₂ (lluvia ácida) tiene un valor de $4.81 \times 10^5 \text{ s}^{-1}$; para los demás contaminantes este valor es igual a cero.

RESULTADO

A continuación se muestra las concentraciones de CO para el contaminante de fuel-oil de las emisiones altas y bajas por mes (Tabla 6).

Tabla 54. Concentraciones del CO para el contaminante de fuel-oil.

Meses	Concentraciones altas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).			Concentraciones bajas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).		
	Quemadores					
	#1	#2	#3	#1	#2	#3
Septiembre	39.5098	32.5127	2.8188	9.8775	8.1282	0.7047
Octubre	53.9177	41.8083	3.0789	13.4794	10.4521	0.7697
Noviembre	28.4864	24.2531	2.0924	7.1216	6.0633	0.5231

Dado la Tabla 6 se puede mostrar en un gráfico de barras el cual nos muestra las concentraciones del CO en el periodo de septiembre-noviembre.

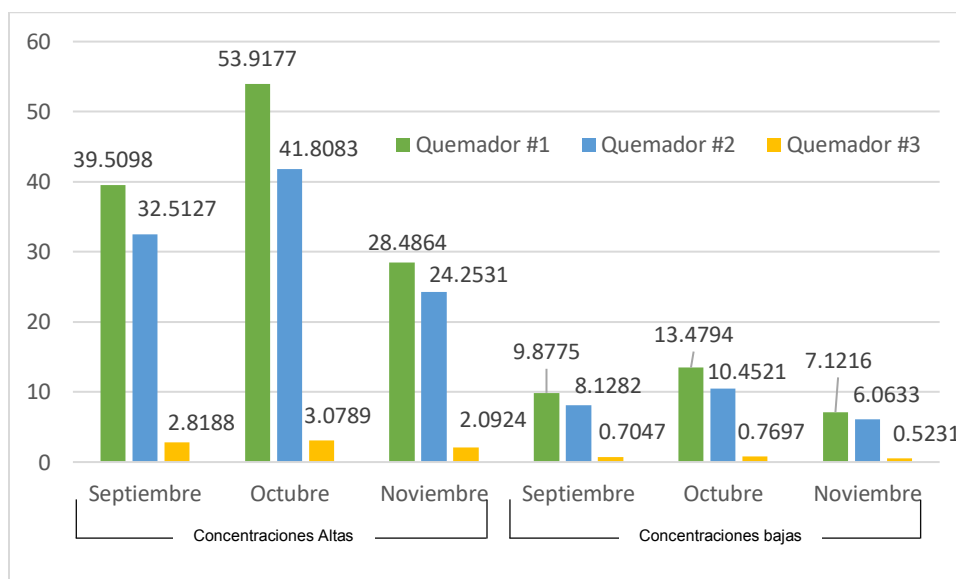


Figura 2. Concentraciones del CO para el contaminante Fuel-oil.

Según la SEMARNAT la concentración de monóxido de carbono, como contaminante atmosférico, no debe rebasar el valor permisible de 11.00 ppm o lo que sería equivalente a $12.595 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en promedio móvil de ocho horas una vez al año. De los datos presentados en la Figura 2, se puede decir que las concentraciones altas para el contaminante fuel-oleo emitidas por los quemadores #1 y #2 son altamente elevadas respecto a la norma oficial mexicana NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental, se podría decir que triplican el valor estimado para el CO.

Así mismo se puede apreciar que el quemador #3 mantiene un porcentaje de concentración de CO altas, menor al 30% del valor permisible en todo el periodo septiembre-noviembre.

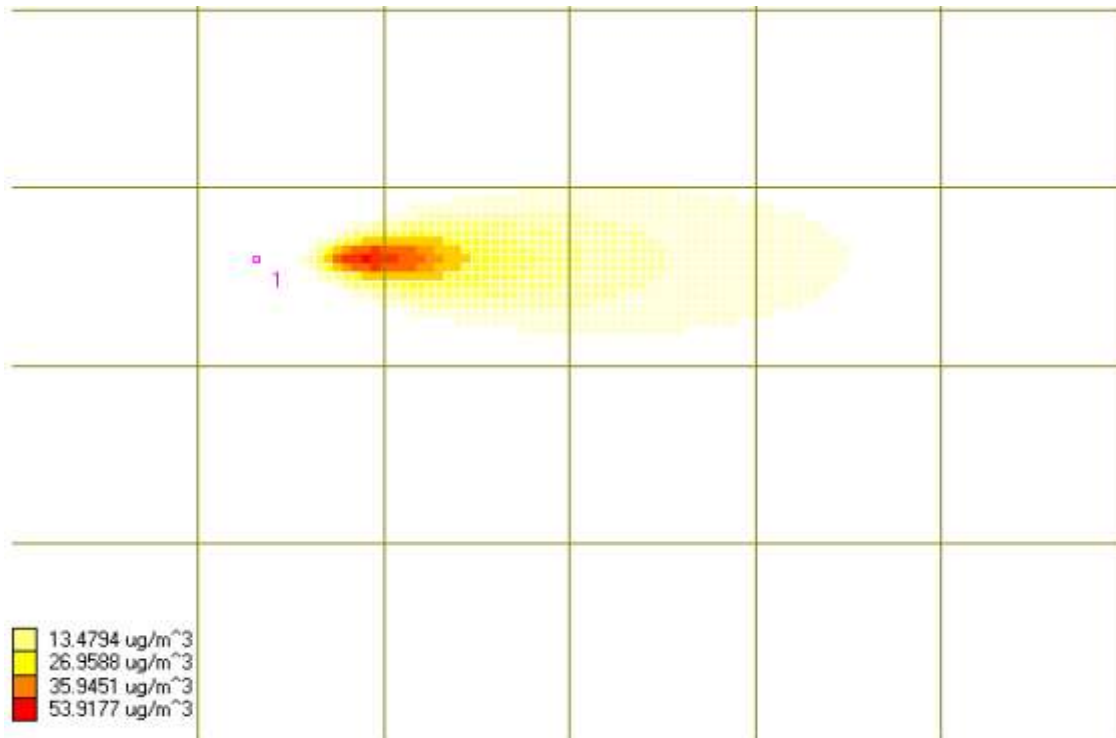


Figura 3. Simulación del quemador #1 en el mes de octubre para fuel-oil, contaminante CO.

En la simulación con el software Disper 5.2 para el quemador #1 en el mes de octubre del contaminante CO (Figura 3), se pudo observar que la concentración más alta es de $53.9177 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (concentración más cerca del quemador), esta concentración en la simulación se representó con el color rojo, así mismo se observa la concentración baja, la cual está representada con el color amarillo tenue y tiene un valor de $13.4794 \mu\text{g}/\text{m}^3$, esta información se puede corroborar en la tabla 6 donde se observan estas concentraciones, siendo estas el rango de concentración obtenido del quemador. A si mismo se observan las concentraciones intermedias, una Más cerca que otra del quemador; la concentración intermedia más cercana se presenta en el Software con el color naranja y la más lejana de las intermedias de color amarillo, estas tienen un valor de $35.9451 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $26.9588 \mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente. Para determinar el área afectada del CO del tipo fuel-oleo, se utiliza el Software ArcMap, en el cual se puede determinar los grados de afectación de los quemadores para el contaminante CO, se midió el largo y ancho de las isolíneas, para las concentraciones altas y de igual manera para la concentración baja, de esta forma se obtuvieron los radios de afectación de cada quemador. Dado a que el quemador #3 contiene concentraciones moderadas y se encuentran debajo del valor permisible, este quemador no se toma en cuenta. En la Tabla 7, se muestra el área afectada por CO del tipo fuel-oleo para el quemador #1 y #2.

Tabla 55. Área afectada por CO, fuel-oil.

Quemador	Mes	Concentración	Radio de afectación.	
			Largo (m)	Ancho (m)
Quemador #1	Septiembre	Alta	382.308	102.403
		Baja	1,051.347	303.798
	Octubre	Alta	624.663	112.644
		Baja	1,798.895	310.625
	Noviembre	Alta	433.509	112.696
		Baja	1,160.577	307.211
Quemador #2	Septiembre	Alta	423.269	102.403
		Baja	1,095.722	300.384
	Octubre	Alta	525.673	150.192
		Baja	1,392.693	351.586
	Noviembre	Alta	651.971	102.403
		Baja	1,897.886	300.384

De lo datos observados en la Tabla 7 se nota que el quemador #1 tiene un alcance de contaminación por CO de 1,798.895 m, esto en el mes de octubre, para el quemador #2, se tiene una dispersión de CO de 1,897.886 m llevado a cabo en el mes de noviembre. Se puede observar que la dispersión del gas se lleva en mayor cantidad a lo largo del quemador, que a lo ancho del quemador. Dado a los datos anteriormente de la rosa de los vientos para la batería de dos bocas y los datos obtenidos de los softwares utilizados se puede obtener la Figura 4:



Figura 4. Identificación del área de afectación del quemador #1, contaminante CO para fuel-oil.

Como se pudo observar en la Figura 4, la dirección en la cual el área se vería afectada, esto principalmente a la dirección del viento, podemos observar que es afectada la zona costera, así mismo parte del area marítima, este quemador como se mencionaba en la Tabla 7, tiene un área afectada de 1,798.895 m de largo y 310.625 m de ancho.

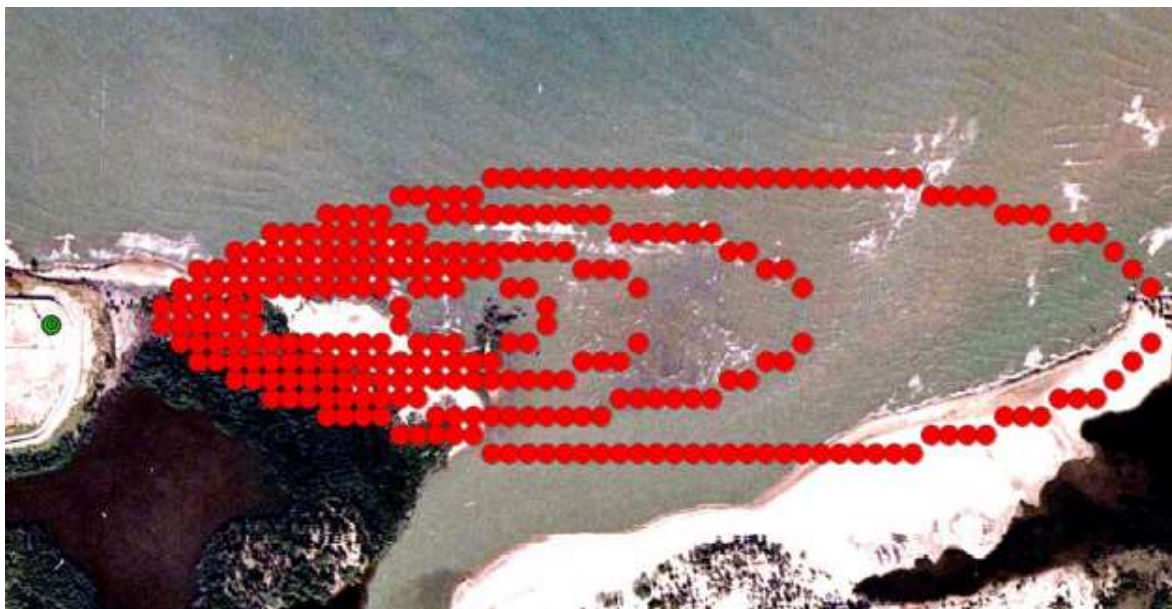


Figura 5. Identificación del área de afectación del quemador #2, contaminante CO, fuel-oil.

En Figura 5, se observa que el área de afectación del quemador #2 se mueve de igual forma al noroeste con un ángulo de 90°, teniendo consigo un radio de afectación de 1,392.693 m de largo y 351.586 m de ancho. En la Tabla 8 se muestran las concentraciones de los demás contaminantes, para los meses de septiembre, octubre y noviembre, de cada quemador de la batería Dos Bocas.

Tabla 56. Concentraciones de los contaminantes de tipo fuel-oil.

Quemadores	Concentraciones altas ($\mu g/m^3$).			Concentraciones bajas ($\mu g/m^3$).		
	Contaminantes					
	Septiembre	Octubre	Noviembre	Septiembre	Octubre	Noviembre
Contaminante NO						
#1	371.3925	506.8261	267.887	92.8481	126.7065	66.9705
#2	306.5373	392.9897	227.9606	76.6343	98.2474	56.9902
#3	26.4964	28.9417	19.6688	6.6241	7.2354	4.9172
Contaminante SO ₂						
#1	3947.8654	3978.7278	2849.6743	986.9664	994.6819	712.4186
#2	3246.9516	4140.1086	2425.4716	811.7379	1035.0271	606.3679
#3	277.5318	292.584	207.0296	69.383	73.146	51.7574
Contaminante PM						
#1	230.474	506.8261	166.1709	57.6185	126.7065	41.5427
#2	189.6574	243.8817	141.4766	47.4144	60.9704	35.3691
#3	16.4428	17.9603	11.9332	4.1107	4.4901	2.9833

En la Tabla 9 se muestran los valores permisibles para los contaminantes de acuerdo con la norma NOM-021-SSA1-1993, Salud ambiental.

Tabla 57. Valor permisible para los contaminantes.

Contaminante	Norma	Valor permisible de concentración de contaminante $\mu\text{g}/\text{m}^3$
NO _x	NOM-023-SSA1-1993	395
SO ₂	NOM-022-SSA1-1993	341
PM	NOM-025-SSA1-1993	120

Tomando en cuenta los datos reportados en la Tabla 8, para el contaminante y los valores permisibles de los contaminantes (Tabla 9), se puede reportar que los tres quemadores de la batería de Dos Bocas se encuentran dentro del parámetro del valor permisibles de concentración de NO_x marcado por la norma NOM-023-SSA1-1993; aunque se pudo observar que en el mes de octubre el quemador #1, rebaso el valor permitido de este contaminante, teniendo un 28.3104 % más de concentración de NO de la permitida. Así mismo se puede decir que solo el quemador #3 está bajo los límites de la concentración permisible por la norma NOM-022-SSA1-1993, para el contaminante SO₂; en el mes de octubre hubo una concentración de SO₂ de 292.584 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo esta la cantidad la más elevada reportada para el quemador #3. De igual forma tomando en cuenta dichas Tablas, podemos observar que la concentración de contaminante por partículas (PM) en los quemadores #1 y #2 es mayor que el valor estipulado por la norma NOM-025-SSA1-1993 para este contaminante, dicho valor es de 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, por lo tanto podemos decir que el quemador #3 se encuentran dentro del valor permisible, cumpliendo con la norma. Con ayuda del software ArcMap se obtiene el área afectada. En la Tabla 10 se muestran dicha área afectada por los quemadores de la batería de Dos Bocas que no están dentro de la norma NOM-021-SSA1-1993, para cada determinado contaminante.

Tabla 58. Identificación de área afectada por los contaminantes del tipo fuel-oil.

Quemador	Mes	Concentración	Radio de afectación.	
			Largo (m)	Ancho (m)
NO				
#1	Octubre	Alta	426.683	109.230
		Baja	1,157.164	307.230
SO ₂				
#1	Septiembre	Alta	382.308	102.403
		Baja	1,027.452	307.211
	Octubre	Alta	382.308	109.230
		Baja	1,027.452	314.038
	Noviembre	Alta	631.490	109.230
		Baja	1,778.414	307.211
#2	Septiembre	Alta	440.336	109.230
		Baja	1,088.895	310.625
	Octubre	Alta	539.327	167.294
		Baja	1,334.664	358.413
	Noviembre	Alta	648.558	102.460
		Baja	1,870.581	296.971
PM				
#1	Septiembre	Alta	385.721	112.644
		Baja	1,047.933	307.211
	Octubre	Alta	433.523	105.872
		Baja	1,153.750	303.798
	Noviembre	Alta	631.490	102.403
		Baja	1,805.722	303.798
#2	Septiembre	Alta	432.016	110.254
		Baja	1,107.046	312.011
	Octubre	Alta	537.028	162.033
		Baja	1,407.057	366.014
	Noviembre	Alta	654.745	109.444
		Baja	1,901.299	310.625

CONCLUSIÓN

Conforme a los resultados obtenidos por el simulador Disper 5.2 y el software ArcMap se puede decir que de los tres quemadores que se encuentran en la batería Dos Bocas el quemador de 65 m (#3) es el único que cumple las restricciones marcadas por la Norma Nacional Mexicana NOM-021-SSA1-1993, Norma Nacional Mexicana NOM-022-SSA1-1993, Norma Nacional Mexicana NOM-023-SSA1-1993 y la Norma Nacional Mexicana NOM-025-SSA1-1993, salud ambiental; por otro lado los quemadores de 23 y 24 m (#1 y #2 respectivamente) no cumplen con las normas establecidas, dado a que las concentraciones de CO, NO_x, SO₂ y PM en estos quemadores tipo fuel-oil sobrepasan el valor permisible de concentraciones para dichos contaminantes. Es importante el diseño de los quemadores, dado a que si los quemadores tienen una mayor altura, mejor se difunden los contaminantes, así mismo es importante el tipo de quemador que se utiliza, en este caso el quemador #3 puede ser de etapas múltiples y los quemadores #1 Y #2 pueden ser de salida simple, siendo esto una de las principales causas de una mayor contaminación.

Enfatizando los resultados del Software ArcMap, se llegó a la conclusión que los quemadores con mayor concentración de contaminantes tienden a tener un radio de dispersión menor, por lo tanto a concentraciones menor, mayor área o radio de Dispersión, por lo que las áreas más cercanas a los quemadores son las más afectada por los contaminantes, de acuerdo a los datos obtenidos, se puede decir que el área con mayor afectación de los contaminantes es de quinientos metros a la redonda de la batería Dos Bocas.

BIBLIOGRAFÍA

1. F. Triano Coronel, "Inútiles 70 quemadores ecológicos", Tabasco Hoy, (19 de agosto de 2010). http://www.tabascohoy.com.mx/noticia.php?id_nota=197512
2. C. Solorio, "Envenenados por mecheros", Tabasco Hoy, (23 de marzo de 2011). http://www.tabascohoy.com/noticia.php?id_nota=209529
3. Canarina, software ambiental, Disper 5.2, (2010). Aplicación informática para la simulación de la contaminación atmosférica. Manual del usuario, versión 5.2, pp. 1-100
4. G. Sastre de Dios, S. Ramos Herrera, E. Magaña Villegas y J. M. Carrera Velueta, "Calidad del aire y su relación con la percepción ambiental de adolescentes en Villahermosa, Tabasco", ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ., Vol.11, 2015, pp. 83-96.
5. C. Ubilla y K. Yohannessen, "Contaminación atmosférica; efectos en la salud respiratoria en el niño", Revista Médica Clínica Las Condes, Vol.28, 1, 2017, pp. 111-118.
6. J. Guillermo Arias, "Contaminación y cambio climático en Tabasco", El heraldo de Tabasco, (7 de junio de 2021). <https://www.elheraldodetabasco.com.mx/analisis/contaminacion-y-cambio-climatico-entabasco3714676.html#:~:text=Adem%C3%A1s%20de%20que%20toneladas%20de,3%20de%20los%2017%20municipios>.
7. D.M. Áviles Flores & M. Á. Rivera Banegas, "Dispersión de contaminantes atmosféricos por fuentes fijas de combustión del parque industrial de la ciudad de cuenca, mediante los softwares Screen View 3 y Disper 5.2".
8. A. A. Bustillos Ortiz, "simulación de la dispersión de contaminantes en el aire de la ciudad de Ambato emitidos por fuentes fijas y por la actividad del volcán Tungurahua, mediante la utilización de los softwares ambientales especializados Disper versión 5.2 y screen view", Universidad técnica de Ambato. Facultad de ciencias e ingenierías en alimentos, (2011).
9. R. Munoz, L. Malhautier, J. L. Fanlo, & G. Quijano, "Biological technologies for the treatment of atmospheric pollutants". International Journal of Environmental Analytical Chemistry. Vol 95, 10, 2015, pp. 950-967.
10. R. L. Abanto, D. Salcedo, T. Castro, G. Carabeli, O. Peralta, P. Arnott & G. P. Miranda, "Mediciones continuas de carbono negro, monóxido de carbono y dióxido de carbono, durante la temporada seca caliente 2016, en un sitio periurbano de Querétaro, México". Ciencia & Desarrollo. 26, 2020, 68-76.
11. E. C. Mendoza, "Medición de gases en medio ambiente; amoníaco, sulfuro de hidrógeno y monóxido de carbono, en casetas de cerdos las primeras cuatro semanas postdestete", universidad autónoma de Querétaro, 2019.
12. F. R. Valdivia Arroyo, "Determinación del material particulado, dióxido de azufre y monóxido de carbono en el centro poblado El Arenal–Islay", Universidad nacional de San Agustín. Facultad de ingeniería ambiental, 2017.
13. J. M. Lizana Fernández, & E. O. Velasco Rivera, "Diseño de un quemador de combustibles sólidos para estudios físicos y térmicos en la escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica", Universidad señor de Sipán, 2020.
14. M. D. Santiago, "Modelización y simulación térmica del precalentamiento del combustible de la turbina de gas en una central Térmica de Ciclo Combinado (CCTC) de tres niveles de presión y optimización de los parámetros de diseño de la planta", Doctoral disertación, Universidad Politécnica de Madrid, 2016.
15. R. E. Rojano, Y. I. Mendoza, H. Arregoces, & G. M. Restrepo, "Dispersión de Contaminantes del Aire (PM10, NO2, CO, COV y HAP) emitidos desde una Estación Modular de

- Compresión, Tratamiento y Medición de Gas Natural”. Información tecnológica. Vol. 27, 5, 2016, pp. 99-110.
16. C. J. Espinoza Cruz, “Determinación De La Dispersión Geográfica De Los Gases NOX, CO, SO2 Y Partículas (PM10), Emitidos Por Una Central Térmica Aplicando El Modelo AERMOD”, Universidad Nacional tecnológica de Lima Sur, 2018.
 17. D. Valencia-Arroyave, M. A. Muñoz-Duque, A. Ramírez Muñoz, L. A. Builes Jaramillo, & C. A. Hoyos-Restrepo, “Modelo para la estimación de emisiones vehiculares como herramienta para la gestión ambiental institucional”. Producción+ Limpia. Vol. 10, 1, 2015, PP. 22-29.
 18. A. Deiana, D. Granados, & M. Sardella, “Balance de masa. Introducción a la ingeniería” Departamento de Ingeniería Química. Santa Fe. México. Universidad Iberoamericana, 2018.
 19. Sánchez, J. R. V. (2016). Simulación de la dispersión de cenizas volcánicas mediante los software ambientales Screen View y Disper 5.2. *Revista UNIANDÉS Episteme*, 3(1), 2-14.
 20. Atanasov, A., & Pehlivanova, T. Research of the possibility of using the wind potential for generation of electricity in faculty of technics and technologies of Yambol. *Artte Applied Researches in Technics, Technologies and Education*, 153.
 21. Fuenzalida-Díaz, M. (2015). Evaluación de modelos geo estadísticos aplicados a la exposición al contaminante atmosférico PM10 en Chile. *Ciencias Espaciales*, 8(1), 441-457.
 19. SEMAR, “Dos Bocas, Tabasco”, SEMAR gobierno de México.
 20. C. A. Guzmán Carranza, & R. Aguirre Saldívar, “Aplicación de la metodología para el diseño de una red automática de monitoreo atmosférica”, Universidad Nacional Autónoma de México. s.f.
 21. M. Palazón Ruperto, "Consideraciones acerca del diseño de chimeneas", Chimeneas industriales, Área de cálculo, p.p. 1-12.

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE CULTIVO CONTROLADO DE MICROALGAS NATIVAS PARA SU POTENCIAL USO EN PROCESOS DE PURIFICACIÓN DE BIOGÁS

Elvira Álvarez Hernández¹, Glenda Edith Cea Barcia¹, Ixbalank Torres Zuñiga², David Tirado Torres³ y Rogelio Costilla Salazar¹

Departamento de Ciencias Ambientales, División de Ciencias de la Vida, CIS, Universidad de Guanajuato¹; Departamento de Electrónica, División de Ingenierías, CIS, Universidad de Guanajuato²; Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, División de Ingenierías, CG, Universidad de Guanajuato³
glendacea@ugto.mx

RESUMEN

El biogás es un tipo de energía renovable, compuesto principalmente por CH₄ y CO₂, el cual se obtiene a partir de la digestión anaerobia de biomasa como residuos sólidos orgánicos y aguas residuales. El CO₂ es uno de los principales contaminantes del biogás, el cual disminuye su poder calorífico (1). Actualmente, con el fin de incrementar el uso eficiente de energías renovables, la utilización de biogás purificado a nivel industrial ha aumentado significativamente. Este aspecto hace necesario el desarrollo de nuevas tecnologías para su purificación. Los procesos que se utilizan para la purificación de biogás se pueden clasificar en fisicoquímicos o biológicos. Los procesos fisicoquímicos son eficientes, sin embargo, generan una gran cantidad de residuos tóxicos que requieren de disposición especial, en cambio, los procesos biológicos son amigables con el medio ambiente y abren la oportunidad de implementar procesos de economía circular. Entre los procesos biológicos podemos mencionar la purificación de biogás con microalgas (1). La fotosíntesis realizada por microalgas es una alternativa para secuestrar CO₂ del biogás. Las microalgas tienen tasas de fijación de CO₂ más altas que las plantas terrestres y aprovechan el contenido de CO₂ presente tanto en gases de combustión como en biogás. Las microalgas presentan varias ventajas con respecto a otros organismos de uso biotecnológico, como los son su facilidad de crecimiento tanto en medio mineral como en aguas residuales y una mayor productividad de biomasa. La biomasa de microalgas se puede utilizar para la producción de biocombustible mediante pirolisis, producción de biogás y biodiesel, asimismo, las proteínas, ácidos grasos y nutrientes contenidos en sus tejidos pueden valorizarse como suplementos alimenticios y biofertilizantes (1). En el presente estudio se evaluó el consumo de carbono inorgánico (CI) de un consorcio de microalgas nativas, mayoritariamente compuesto por el género *Chlorococum* sp., en un fotobiorreactor tubular bajo condiciones controladas de luz, pH, nutrientes y aireación. El control de pH se realizó con un sistema de monitoreo en línea compuesto por una sonda de pH, un controlador on-off y una bomba peristáltica conectada a una solución de ácido clorhídrico 1 N. Adicionalmente, se determinó la absorción de CO₂ en la fase líquida a un pH controlado de 8.5, exceso de nitrógeno y a una concentración de bicarbonato de sodio de 0.045 M como fuente de alcalinidad. Los resultados demuestran que a un pH controlado de 8.5 y 0.045 M de bicarbonato de sodio se obtienen las mayores tasas de captación de CI y absorción de CO₂ desde la fase gaseosa, logrando alcanzar una concentración final de biomasa de 1.4 g/L y una velocidad de captación de CI de 0.265 ± 0.012 g/L/d. Los resultados de este trabajo sientan las bases para el desarrollo y escalamiento de procesos optimizados de captación de CO₂ desde fuentes gaseosas como biogás, además de ser una alternativa para la obtención de biomasa valorizable.

INTRODUCCIÓN

Ante la gran demanda energética y la contaminación ambiental que se presenta actualmente se ha impulsado la búsqueda de diversas formas de energía que provengan de fuentes renovables con menor impacto ambiental como es la bioenergía, siendo esta una tecnología amigable con el medio ambiente que aprovecha la materia orgánica y microorganismos.

El biogás es un biocombustible gaseoso que proviene de la digestión anaeróbica de fuentes biológicas como los residuos sólidos orgánicos. La composición del biogás obtenido de la degradación anaeróbica de residuos biológicos (en% vol) es: CH₄ (40% -75%), CO₂ (25% -55%), N₂ (0% -5%), H₂O (0% -10%), O₂ (0% -2%), H₂S (50-5000 ppm), NH₃ (0% -1%) y H₂ 0% -

1%. CO_2 , N_2 , H_2O y el H_2S constituyen los principales contaminantes del biogás, ya que disminuyen su poder calorífico específico (1).

Actualmente, el biogás purificado que contiene mayormente CH_4 , tiene una extensa aplicación a nivel industrial, esto se debe al incremento en el precio de los combustibles fósiles y el deterioro constante del medio ambiente lo que ha impulsado al uso de este biocombustible gaseoso, además que es la única energía renovable polivalente ya que puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante. Puede canalizarse para su uso directo en una caldera adaptada para su combustión, a inyectarse previa purificación hasta biometano en las infraestructuras de gas natural existentes, tanto de transporte como de distribución (2). Para poder usar de forma eficiente el biogás como combustible es necesario eliminar sus impurezas a través de diferentes procesos ya sea fisicoquímicos o bien procesos biológicos, como se mencionan a continuación:

Los procesos fisicoquímicos (es decir, absorción física, absorción química en soluciones acuosas, procesos de adsorción, tecnología de membranas, etc.) enfrentan algunos inconvenientes que podrían hacer que este enfoque sea menos atractivo. Algunas de estas cuestiones son: la necesidad de un postratamiento de los materiales de desecho, la regeneración de disolventes químicos, las pérdidas de CH_4 y el alto consumo de energía. Además, estas familias de métodos producen subproductos que tienen un impacto negativo en el medio ambiente y requieren condiciones de operación técnicamente desafiantes (3).

Los procesos biológicos de purificación de biogás se utilizan en gran medida para eliminar el H_2S del biogás, sin embargo, existen pocos estudios sobre la bio captura de CO_2 desde el biogás.

Por otro lado, entre los procesos biológicos de purificación de biogás se encuentran las microalgas que son microorganismos fotosintéticos pertenecientes al reino de las plantas. Las microalgas son una alternativa ventajosa ante otras tecnologías puesto que son consideradas eco-amigables, ya que reciclan eficientemente contaminantes desde medios líquidos y gaseosos (4).

El crecimiento fotosintético de microalgas es otra forma de bio captura CO_2 del biogás y parece ser la mejor alternativa (5), ya que fijan el CO_2 en forma de biomasa algal, también son los únicos microorganismos capaces de utilizar altas concentraciones de CO_2 (6), y de adaptarse a condiciones extremas de pH, temperatura, salinidad, entre otras, además la biomasa algal presenta una gran variedad de productos con valor económico tal como la producción de biocombustible a través de procesos químicos, térmicos y biológicos, la porción lipídica de la biomasa algal se puede emplear en la producción de biodiesel a través del proceso de transesterificación, y digestión anaeróbica para la producción de biogás es decir se puede valorizar en diversas aplicaciones desde el sector alimenticio hasta el sector energético, la aplicación depende del sustrato (medio de cultivo) utilizado para la generación de dicha biomasa, cepa de microalga, entre otras.

Por ello las microalgas presentan cierta superioridad contra otras tecnologías ya que para su producción se pueden usar ciertos recursos que no son adecuados para la agricultura, como aguas salobres, agua marina, y aguas residuales a parte del uso de suelos duros o salinizados, por lo que no compiten con la agricultura respecto a los suelos y el agua. Por otra parte, su alto requerimiento de nutrientes principalmente nitrógeno y fósforo permite su cultivo en aguas residuales aportando el beneficio adicional en la reducción de los contenidos de nitrógeno y fósforo en dichas aguas (6), anexando que el exceso de estos nutrientes causa eutrofización en los cuerpos de agua la cual es una problemática ambiental considerable.

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar el potencial de un cultivo de microalgas nativas, con mayor presencia en género *Chlorococum sp.*, para el consumo de CO_2 (como CI) presente como impureza en el biogás a través del crecimiento óptimo del cultivo de microalgas, controlando las condiciones de cultivo tales como intensidad lumínica, pH, medio de cultivo, aireación y alcalinidad.

TEORÍA

Las energías renovables o energías limpias son alternativas sostenibles que pueden garantizar supervivencia o ser una alternativa de transición energética que no dependen de combustibles fósiles o energías que produzcan desechos tóxicos. Estas energías utilizan recursos naturales y renovables tales como luz solar, viento, reservorios geotérmicos, movimiento del agua, biomasa, residuos sólidos urbanos, municipales, aguas residuales, calor residual, entre otros, con el fin de producir energía eléctrica, térmica y biocombustibles.

México tiene una producción de energía primaria basada principalmente en combustibles fósiles (91.31%). Por otro lado, las fuentes renovables tienen una participación de 7.56 donde el biogás cuenta con la menor participación en este rubro de solo 0.02%. El biogás producido se consume en su totalidad para la generación de energía eléctrica a través de centrales eléctricas de autogeneración (7).

Este biocombustible gaseoso actualmente no es utilizado en diversas aplicaciones, aunque tiene una característica favorable ya que es la única energía renovable polivalente puede usarse para cualquiera de las grandes aplicaciones energéticas: eléctrica, térmica o como carburante. Puede canalizarse para su uso directo en una caldera adaptada para su combustión, a inyectarse previa purificación hasta biometano en las infraestructuras de gas natural existentes, tanto de transporte como de distribución (2).

Debido a su alto contenido en metano, tiene un poder calorífico algo mayor que la mitad del poder calorífico del gas natural. Un biogás con un contenido en metano del 60% tiene un poder calorífico de unas 5.500 kcal/Nm³ (6,4 kWh/Nm³) (8).

El biogás producto de la digestión anaerobia puede tener diferentes usos:

- En una caldera para generación de calor o electricidad.
- En motores o turbinas para generar electricidad.
- En pilas de combustible, previa realización de una limpieza de H₂S y otros contaminantes de las membranas.
- Purificarlo y añadir los aditivos necesarios para introducirlo en una red de transporte de gas natural.
- Uso como material base para la síntesis de productos de elevado valor añadido como es el metanol o el gas natural licuado.
- Combustible de automoción.

El biogás, además de metano tiene otra serie de compuestos que se comportan como impurezas: agua, sulfuro de hidrógeno, monóxido de carbono y compuestos orgánicos volátiles como hidrocarburos halogenados, siloxanos, etc. Por tanto, es necesaria la limpieza del combustible, dependiendo del uso final, en la Tabla 1, se presenta una escala de tratamientos de eliminación de agua, CO₂, H₂S respecto a los usos finales del biogás (8), así mismo se observa que en las cinco aplicaciones energéticas que se presentan tres de ellas es necesaria una eliminación de CO₂ a través de un tratamiento elevado y solo la producción de electricidad en motores estacionario puede usar un tratamiento parcial en algunos de ellos, por lo que es importante considerar eliminar el CO₂ presenta para diversificar el uso final del biogás y darle un valor agregado a los residuos con los que se produce el biogás como aguas residuales, desechos agroindustriales, etc.

Tabla 1. Tratamiento según el uso final del biogás (0=no tratamiento, 1=tratamiento parcial, 2=tratamiento elevado) (8).

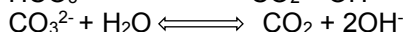
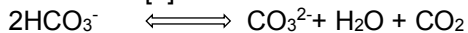
USO FINAL	ELIMINACIÓN DEL AGUA	ELIMINACIÓN DEL CO ₂	ELIMINACIÓN DEL H ₂ S
Producción térmica en calderas.	1	0	0-1-2
Producción de electricidad en motores estacionarios.	1 ó 2	0-1-2	1 ó 2
Combustible de vehículos o para turbinas.	2	2	2
Gas natural para calefacción	2	2	2
Pilas de combustible.	2	2	2

Para poder usar de forma eficiente el biogás como combustible es necesario eliminar sus impurezas a través de diferentes procesos ya sea fisicoquímicos o bien procesos biológicos.

Con respecto a los procesos biológicos, las microalgas son una alternativa interesante para la bio captura de CO₂. Las microalgas son microorganismos fotosintéticos además cuentan con la capacidad de convertir contaminantes de medios líquidos (fósforo y nitrógeno proveniente de las aguas residuales) y gaseosos (CO₂ proveniente de corrientes de biogás) a biomasa algal la cual se puede valorizar en diversas aplicaciones desde el sector alimenticio hasta el sector energético.

Para conseguir altas producciones de biomasa de microalgas, el aporte externo de CO₂ es fundamental. Las concentraciones atmosféricas de CO₂ no satisfacen las necesidades de sistemas autótrofos (cuya única fuente de carbono es el CO₂) de producción de microalgas de alto rendimiento (9).

El sistema bicarbonato-carbonato puede aportar CO₂ para la fotosíntesis mediante las siguientes reacciones:[9]



La existencia de este equilibrio provoca que durante la fijación fotosintética de CO₂, se acumule OH⁻ en el medio de cultivo, subiendo el pH.

Otro nutriente importante para el crecimiento y reproducción de microalgas es el Nitrógeno que después del carbono, el nitrógeno en el nutriente más importante para las microalgas. El nitrógeno, normalmente, se añade como nitrato (NO₃⁻) o como amonio (NH₄⁺).

Fósforo, suele añadirse a los medios de cultivo en forma de HPO₄²⁻ o HPO₄⁻, la deficiencia de este macronutriente en el medio de cultivo es una de las mayores limitaciones al crecimiento.

Otros macro- y micronutrientes, aparte del C, N y P, otros elementos son necesarios para el cultivo de microalgas, tanto macronutrientes (S, K, Na, Fe, Mg, Ca) como micronutrientes o elementos traza (B, Cu, Mn, Mo, Zn, V y Se), tal como se deriva de la composición elemental de las células microalgales. Los elementos traza son relevantes en reacciones enzimáticas y biosíntesis de compuestos necesarios para el metabolismo (9).

Para aumentar la biomasa de microalgas y la productividad de metabolitos específicos, las estrategias de investigación a largo plazo en el campo deberían abarcar el diseño y desarrollo de PBR innovadores, junto con la ingeniería genética de cepas. Para lograr la máxima productividad del crecimiento en microalgas en fotobiorreactores, varios parámetros deben controlarse con precisión; sin embargo, ninguna de las muchas configuraciones de reactores construidas hasta la fecha es capaz de manejar de manera efectiva todos esos parámetros simultáneamente.

La microalga *S. obliquus* tiene el potencial para remover CO₂ y acumular carbohidratos y proteínas en presencia de metano sin afectar su densidad celular. Lo cual podría utilizarse como sustrato para la digestión anaerobia debido a su alto contenido de carbohidratos favoreciendo la producción de metano (10).

Cuando la microalga *Spirulina sp. LEB 18* fue cultivada en un fotobiorreactor tubular vertical con eliminación de células y reciclaje del medio a una concentración celular de 600 mg/L, se alcanzó la máxima mitigación de CO₂. Bajo estas condiciones, los valores que se obtuvieron fueron 85,9 ± 6,0 mg/L/d la productividad de biomasa y 186.8 ± 73.1 mg/L /d fijación de CO₂. Por tanto, combinando el cultivo de microalgas, la fijación de CO₂ y el reciclaje del medio puede conducir a una reducción de los problemas causados por la emisión de este gas y en los gastos con medio de cultivo y a la generación de biomasa que pueda ser utilizado para obtener diferentes productos (11).

PARTE EXPERIMENTAL

Etapas 1: Crecimiento de microalgas sin control de pH

Se evaluó el crecimiento de un consorcio de microalgas nativas, con mayor presencia el género *Chlorococcum sp.*, en un fotobiorreactor tubular vertical cristalino de 0.39 m de altura por 0.06 m de diámetro interior, con una capacidad de 1.1 L, posee 4 orificios de 0.01m que funcionan como entradas para el control y monitoreo de las condiciones del cultivo. El fotobiorreactor es operado bajo condiciones batch con un 10% del volumen de inóculo. El crecimiento de las microalgas se realizó en medio Basal Bold (MBB) a una concentración de bicarbonato de sodio de 0.045 M, iluminación constante (24 horas), temperatura ambiente (25 °C ± 1) y aireación constante. En esta etapa se monitoreó el crecimiento de las microalgas en presencia de bicarbonato y sin control de pH (C1). Se midió el crecimiento celular de manera diaria y a la misma hora aproximadamente, a través de la

medición de absorbancia con un espectrofotómetro marca HACH COMPANY a 665 nm (longitud de onda a la cual absorbe la clorofila a). Con el fin de determinar la concentración de biomasa en mg/L respecto al tiempo de incubación y a las condiciones sometidas en cada cinética, se realizó una curva de calibración de biomasa con el fin de encontrar la ecuación de la recta que modela el aumento de la concentración de biomasa en función de la absorbancia a 665 nm.

La aireación fue proporcionada por una bomba de aire marca ELITE802 además de un agitador magnética marca LabTech, la iluminación permaneció constante y fue incorporada de manera artificial mediante 6 lámparas LED tubulares, modelo LA-LED de 10W alineadas de tal manera que el fotobiorreactor se sitúa en el centro, se colocan 3 lámparas tanto en el costado izquierdo como en el derecho, tal y como lo muestra la Fig. 1.



Fig. 59. Fotobiorreactor tubular en operación (fotografía de autoría propia).

Etapas 2: Crecimiento de microalgas con control de pH

Durante esta etapa se evaluaron un total de 5 cinéticas de crecimiento de microalgas nativas bajo las condiciones de cultivo presentadas en la Etapa 1.

El medio de cultivo que se utilizó fue el MBB con las siguientes modificaciones, se aumentó la fracción de Fosfato dipotásico K_2HPO_4 , Fosfato monobásico KH_2PO_4 y Nitrato de Sodio $NaNO_3$, de estos componentes se agregan 10 mL por 1 L de medio de cultivo según lo indica el MBB, en este estudio se modificó a una porción de 30 mL de cada compuesto anteriormente mencionado por 1 L de medio de cultivo preparado, como lo muestra la Tabla. 2. Esta modificación se realizó con el fin de evaluar el sistema bajo condiciones saturantes de nutrientes (fuente de nitrógeno y fuente de fósforo). En esta etapa se mantuvieron las mismas condiciones de aireación, iluminación y temperatura que la Etapa 1.

Tabla.2 Medio Basal de Bold (MMB) modificado.

N°	COMPONENTE	SOLUCIÓN DE STOCK (g/L H ₂ O)	ADICIÓN PARA UN LITRO DE MEDIO DE CULTIVO
1	NaNO ₃	25	30 ml
2	CaCl ₂ · 2H ₂ O	2.5	10 ml
3	MgSO ₄ · 7H ₂ O	7.5	10 ml
4	K ₂ HPO ₄	7.5	30 ml
5	KH ₂ PO ₄	17.5	30 ml
6	NaCl	2.5	10 ml
7	Solución alcalina EDTA. EDTA (TITRIPLEX III) KOH	50 31	1ml
8	Solución acida metálica FeSO ₄ · 7H ₂ O H ₂ SO ₄	4.98 1 ml	1ml
9	Solución de Boro H ₃ BO ₃	11.42	1 ml
10	Solución de metales traza ZnSO ₄ · 7H ₂ O, MnCl ₂ · 4H ₂ O, MoO ₃ , CuSO ₄ · SH ₂ O, Co(NO ₃) ₂ · 6H ₂ O	8.82 1.44 0.71 1.57 0.49	1 ml

El pH fue controlado y monitoreado por un sistema automatizado con medición de pH en tiempo real, compuesto por una sonda de pH, un controlador on-off y una bomba peristáltica conectada a una solución de ácido clorhídrico 1 N. Al obtener una medición mayor a 8.5 la sonda de pH a través del programa diseñado envía una señal para accionar la bomba peristáltica y añadir un pulso de ácido clorhídrico 1 N al cultivo de microalgas y de esta manera mantener el pH alrededor de 8.5. El algoritmo de control fue implementado en el ambiente de desarrollo científico Scilab instalado en una computadora personal. El sistema de adquisición de datos para leer la sonda de pH y enviar los pulsos de ácido a la bomba peristáltica fue implementado en un microcontrolador Arduino. Las cinéticas 2 y 3 (C2 y C3) fueron una evaluación del MBB modificado con adición de 0.045 M de bicarbonato de sodio con monitoreo y control de pH, del mismo modo la cinética 4 y 5 (C4 y C5) fue una evaluación con el MBB modificado y sin bicarbonato de sodio, por el contrario, la cinética 6 fue una evaluación sin un consorcio de microalgas nativa (blanco sin microorganismos), tal y como se resume en la Tabla. 3, dichas cinéticas se desarrollaron durante octubre 2020 a julio 2021.

Tabla. 3. Especificaciones para cada cinética de crecimiento.

NÚMERO DE CINÉTICAS	MBB	MBB MODIFICADO	CON CONTROL DE pH	ADICIÓN DE 0.045 M DE BICARBONATO DE SODIO	CON CULTIVO DE MICOALGAS
C1	X			X	X
C2		X	X	X	X
C3		X	X	X	X
C4		X	X		X
C5		X	X		X
C6		X	X	X	

Otro parámetro evaluado fue el consumo de CO₂ en forma de bicarbonato de sodio en una concentración de 0.045 M, se determinó el consumo por diferencia de pesos, la muestra a analizar fue de 10 mL tomada cada 2 días. Para conocer el consumo de bicarbonato de sodio primeramente, es tomado el peso (gr) de un crisol de porcelana a través de una balanza analítica electrónica modelo CP224C, posteriormente se le agregan 10 mL de muestra y se somete a 100°C por 24 horas consecutivas alcanzando esta temperatura gracias a un Horno con ventilación marca BLUE M y la muestra es sometida a una temperatura de 550°C por 2 horas a través de una mufla marca Thermo SCIENTIFIC modelo FB1315M, finalmente se somete a 950°C por 2 horas a través del mismo equipo antes mencionado (12), esto con la finalidad de conocer el bicarbonato presente en la muestra y como varía respecto al tiempo de incubación en el fotobiorreactor.

RESULTADOS

A través del presente desarrollo experimental se logró comprobar la necesidad de un control de pH en cultivos de microalgas en especial en cultivos con mayor presencia el género *Chlorococum Sp*, ya que al carecer de un sistema de control de pH esta ronda en niveles de hasta 10, provocando inhibición del cultivo. Se determinó una ecuación de la recta (r^2 : 0.99) para obtener las curvas de crecimiento con base a los datos de medición de absorbancia (Ecuación 1).

$$Y = 416.32X - 5.6156$$

Ecuación 1

Donde:

Y=Concentración de biomasa algal dada en (mg/L).

X= valor de absorbancia a 665 nm.

A continuación, se presenta la Cinética 1 respecto a la concentración de biomasa algal (mg/L) sin el uso de un sistema de control de pH con la adición de 0.045 M de bicarbonato de sodio, se logró crecer la cepa de microalga hasta el día 5 de incubación ya que alcanzó un pH alrededor de 10, presentando un cambio de color característico de cultivos en condiciones de muerte celular como se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2. Cinética 1 después de 5 días de operación.

Se logró obtener una concentración de biomasa algal final de solo 302.67 mg/L en el día 5 (T5), como se muestra en la Fig. 3.

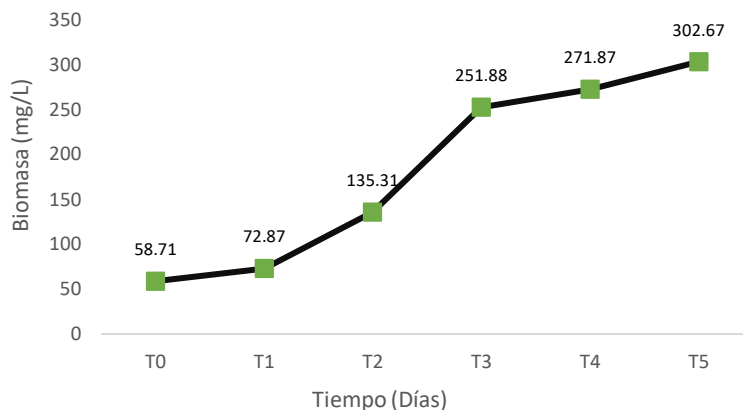


Fig. 3. Curva de crecimiento de biomasa de la Cinética 1.

En cambio, en las cinéticas 2 y 3, en donde se controló el pH alrededor de 8.5 a través de un sistema on-off con adición de ácido clorhídrico 1 N y con 0.045 M de bicarbonato de sodio como fuente de carbono inorgánico, se logró crecer la cepa de microalga hasta el día 15 de incubación, obteniendo una concentración final de biomasa algal de 1304.67 mg/L tal y como se muestra en la Fig. 4.

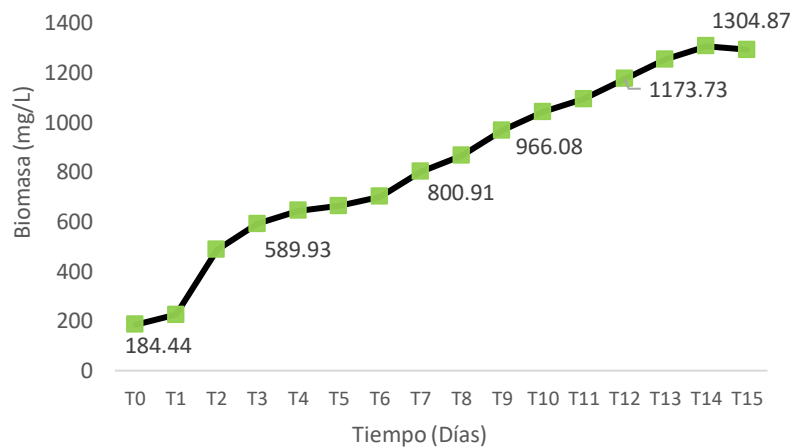


Fig. 4. Curva de crecimiento de biomasa de la Cinética 3.

Por otro lado, en la Fig. 5, se presenta la evolución en cuanto al color del cultivo de microalgas respecto a la concentración y el tiempo de incubación, las tres fotografías presentes pertenecen a la Cinética 3, donde se controló el pH, se adicione una concentración de 0.045 M de bicarbonato de sodio, y se utilizó como medio de cultivo el MBB modificado. Se observa en el A) un cultivo de microalgas de color verde claro teniendo una concentración de 184.44 mg/L de biomasa algal en el día 1 que corresponde al día del lanzamiento del fotobiorreactor, en el B) se observa un cultivo color verde poco intenso que tiene una concentración de 699.89 mg/L y corresponde al día 6 de incubación, en C) se observa un cultivo color verde intenso que tiene una concentración de biomasa algal de 1304.87 mg/L.

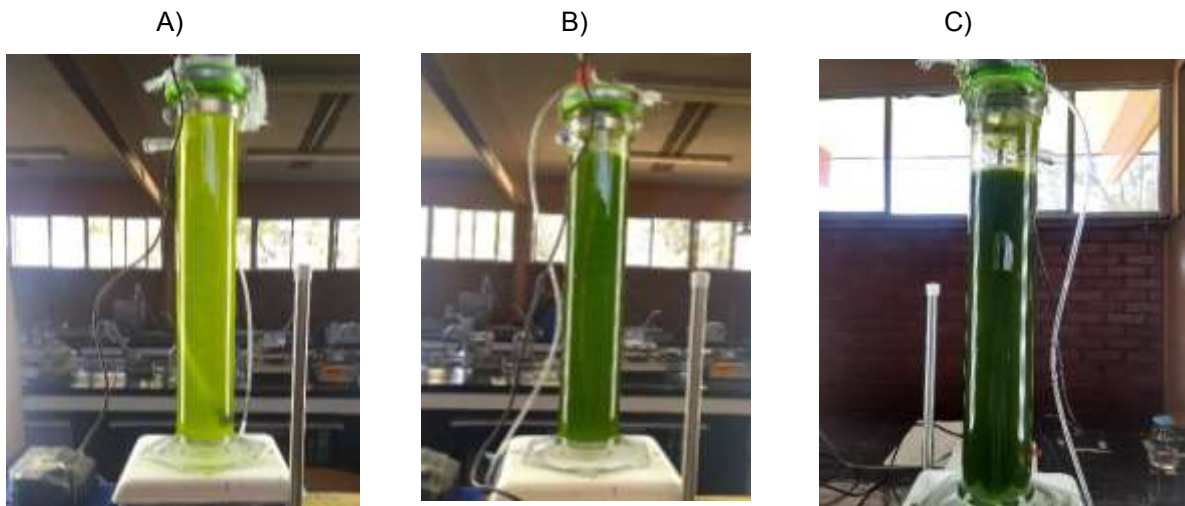


Fig. 5. Cinética 3. Se presenta la evolución del crecimiento de microalgas nativas en el fotobiorreactor respecto al tiempo de incubación: A) día 1, B) día 6, C) día 15, (último día de incubación). Fotografías de autoría propia.

En la Fig. 6 se presenta una comparación entre las curvas de crecimiento de la cinética 3 y 5. Ambas cinéticas contaron con un control de pH, la diferencia radica en que a la Cinética 3 se le agregó 0.045 M de bicarbonato de sodio como fuente de Cl y de alcalinidad, cabe mencionar que no se tomó en cuenta el CO₂ proveniente del aire, en cambio en la Cinética 5 no se agregó bicarbonato de sodio, lo cual significa que el crecimiento de microalgas se debe solo a la concentración de CO₂ presente en el aire.

En esta figura se observa la gran capacidad de crecimiento y reproducción de microalgas a altas tasas de CO₂ en este caso en forma de bicarbonato de sodio, obteniendo mayor concentración de biomasa final en la cinética 3, llegando a un valor máximo de 1304.87 mg L⁻¹, así mismo se observa el crecimiento exponencial del día 1 al 5 esto respecto a la concentración de biomasa, por otro lado, en la Cinética 5, se logró una concentración final de biomasa de solo 745.66 mg/L equivalente al 57.14% respecto a la concentración de biomasa máxima de la Cinética 3.

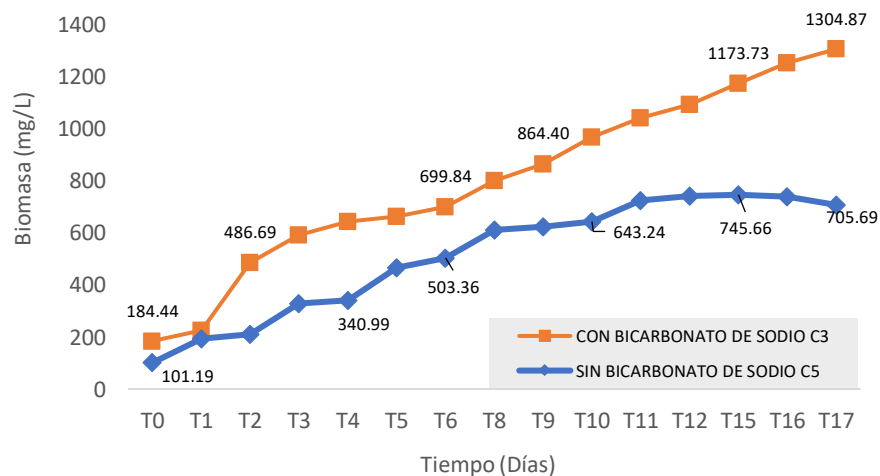


Fig. 6 Curva de crecimiento de biomasa de la Cinética 3 y 5.

Los resultados demuestran que a un pH controlado de 8.5 y a una concentración de 0.045 M de bicarbonato de sodio se obtienen las mayores tasas de captación de CO_2 , logrando alcanzar una concentración final de biomasa de 1.4 g/L y una velocidad de captación de CO_2 de 0.265 ± 0.012 g/L/d. Los resultados de este trabajo sientan las bases para el desarrollo y escalamiento de procesos optimizados de captación de CO_2 desde fuentes gaseosas como biogás, además de ser una alternativa para la obtención de biomasa valorizable.

CONCLUSIONES

Se corroboró la capacidad de las microalgas de crecer bajo altas concentraciones de CO_2 en forma de bicarbonato de sodio en especial a una concentración de 0.045 M donde se logró la mayor tasa de producción de biomasa a un pH de 8.5, más sin embargo es necesario controlar ciertos parámetros como el pH siendo este una condición que inhibe el crecimiento, por lo que se propone el uso de un controlador de pH para líneas de investigación próximas.

Los resultados presentados demuestran que un sistema de bio-fijación de CO_2 , acoplado a una fuente de biogás es posible siempre y cuando se controlen los parámetros descritos con anterioridad, cabe mencionar que es importante seguir una línea de investigación específica y experimentación profunda.

BIBLIOGRAFÍA

1. G. Cea-Barcia, F. López-Caamal, I. Torres-Zúñiga, H. Hernández-Escoto, "Biogas Purification Via Optimal Microalgae Growth: A Literature Review", *Biotechnol Progress*, 2018, Vol. 34, No. 6, pp, 1513-1532.
2. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA), Gobierno de España, Unión Europea: <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-termico/biogas>.
3. Le Sun, Hailong Li, Jinying Yan, Longcheng Liu, Zhixin Yu, Xinhai Yu, Selection of appropriate biogas upgrading technology-a review of biogas cleaning, upgrading and utilisation, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 51, 2015, pp 521-532.
4. Olguín EJ. 2003, Phycoremediation: key issues for cost-effective nutrient removal processes. *Biotechnol Advances* 22: pp 10-12.
5. Barh M, Díaz I, Domínguez A, González Sánchez A, Muñoz R. Microalgal-Biotechnology as a platform for an integral biogas upgrading and nutrient removal from anaerobic effluents. *Environ Sci Technol*. 2013; 48:573–581.
6. J.R. Benemann, Utilization of carbon dioxide from fossil fuel-burning power plants with biological systems, *Energy Conversion and Management*, Volume 34, pp 999-1004.
7. Vera Romero Ivan, Estrada Jaramillo Meliton, Gonxales Vera Conrrado, Universidad de la Ciénega del Estado de Michoacán de Ocampo, biogás como una fuente alternativa de energía primaria para el estado de Jalisco, México. 2017.
8. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA) Biomasa: Digestores anaerobios, BESEL, S.A. (Departamento de Energía), pp 10-12.
9. Martínez García Lorena, Universidad de León, Instituto de Recursos Naturales, área de Ingeniería química, Eliminación de CO_2 con microalgas autóctona.
10. Miyawaki, B., Herculano, Selesu, N.F., de Oliveira Correa, D., Bellin, Mariano, A., Viriato, Vargas, J., (2013), 22nd International Congress of Mechanical Engineering (COBEM), November 3-7, Brasil.
11. De Morais, MG, da Silva, CK, Henrard, AA y Costa, JAV (2015). Mitigación de dióxido de carbono por microalga en un reactor tubular vertical con reciclaje del medio de cultivo. *Revista Africana de Investigación en Microbiología*, 9 (33), pp 1935-1940.
12. Heiri, Oliver, Lotter, André F, Lemcke, Gerry, 2001, Loss on ignition as a method for estimating organic and carbonate content in sediments: reproducibility and comparability of results, *Journal of Paleolimnology*, pp 101-110.

RESINAS DE INTERCAMBIO IÓNICO FUNCIONALIZADAS CON $MnCl_2$ PARA LA REMOCIÓN DE IONES TÓXICOS PRESENTES EN AGUA POTABLE

Alejandra Maya Sánchez, Guillermo Andrade Espinosa, Cathleen Daiana García Castañeda, María Fernanda Infante Soria.

Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico del Valle de Morelia
guillermo.ae@vmorelia.tecnm.mx

RESUMEN

La contaminación por metales pesados en agua plantea una problemática que compromete la seguridad ambiental y la salud pública global. El plomo en particular, debido a su elevada toxicidad, tiene un impacto negativo en la salud, ya que produce afecciones en órganos vitales, sistema nervioso, renal, reproductivo, gastrointestinal y desarrollos cancerígenos. Una alternativa para la remoción de plomo presente en agua es la modificación de materiales poliméricos con grupos funcionales selectivos por estos iones. En esta investigación se modificaron resinas de intercambio iónico catiónicas usando soluciones de cloruro de manganeso a diferentes concentraciones y métodos de micro-precipitación. Los diferentes materiales fueron caracterizados mediante titulaciones ácido-base y distribuciones de carga superficial. Además, se determinó la máxima capacidad de adsorción de plomo evaluando efectos de pH, concentración de plomo y masa. Los resultados mostraron disminuciones en la densidad de grupos oxigenados y básicos de hasta 0.0356 mmol/g y 0.96 mmol/g, respectivamente, y que la distribución de carga cambia de positiva a preferentemente negativa con puntos de carga cero en valores de pH de ~5.77, lo anterior al aumentar la concentración del agente funcionalizante en la modificación. Los efectos de pH, concentración y masa arrojaron que la capacidad de adsorción de plomo es altamente dependiente de estos parámetros, al aumentar el pH de 3 a 5, la concentración de plomo de 5 a 300 mg/L y al disminuir la masa de 35 a 5 mg esta capacidad aumenta, teniendo como valores máximos de 427, 129 y 310 mg/g.

Palabras clave: resinas, plomo, intercambio iónico.

INTRODUCCIÓN

La contaminación se puede entender como la introducción de diferentes sustancias en un entorno dado que altera su forma natural y pone en riesgo la flora o fauna del entorno. Existen diferentes tipos de contaminación y se clasifican en fuentes fijas, y/o móviles resaltando entre las fuentes de contaminación las fuentes fijas, las industrias y en fuentes móviles el transporte de motor de combustión interna. Estas contribuyen de manera significativa a las diferentes contaminaciones. Por ejemplo, la contaminación atmosférica, contaminación de las aguas, contaminación auditiva y contaminación de metales pesados entre muchas otras.

En lo que respecta a los metales pesados estos son elementos buenos conductores de electricidad, tiene características metálicas flexibles y poseen brillo. Algunos metales son necesarios para los seres vivos y estos se encuentran de forma natural en la corteza terrestre o en algunos seres vivos, pero pueden llegar a ser tóxicos si rebasan ciertas concentraciones. Los índices permisibles de estos contaminantes se encuentran en las normas mexicanas elaboradas para evitar la contaminación. Uno de estos metales pesados que con frecuencia se presenta en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos como un elemento tóxico es el plomo.

El plomo es un gran contaminante que hoy en día se encuentra en cuerpos de agua poniendo en riesgo a las personas ya que la ingesta de este produce graves daños como lo son problemas en el sistema nervioso, renal, reproductivo, gastrointestinal y son cancerígenos para los seres humanos. Ha sido comprobado que las aguas de riego contaminadas con metales pesados, especialmente con plomo, pueden provocar bioacumulación por las plantas para posteriormente incorporarse a la cadena trófica aumentando su alta peligrosidad para la salud de los seres vivos y ecosistemas.

Para solucionar estos problemas en cuerpos de aguas existen diferentes métodos utilizados en la eliminación de plomo tales como coagulación, floculación, micro filtración, etc. Entre ellos se encuentra el Intercambio iónico que consiste en una reacción química en la que los iones libres móviles de un sólido, son intercambiados por los iones del intercambiador en este caso la resina de intercambio. Los iones que intercambian deben de ser similares y contener la misma carga.

Por lo que la finalidad de este trabajo de investigación consistió en la modificación de resinas de intercambio iónico a través de un proceso hidrotermal. Las resinas de intercambio catiónicas fueron caracterizadas tanto física como químicamente antes y después de ser modificadas. Mediante experimentación se determinó la densidad de los grupos funcionales, distribuciones de carga y puntos de carga cero. Posteriormente se determinó la mayor capacidad de remoción de plomo en experimentos en lote y se estudió el efecto del pH.

TEORÍA

La contaminación ambiental se define como la presencia de componentes nocivos que pueden ser químicos, físicos o biológicos en el medio ambiente que suponga un daño a los seres vivos que lo habitan ya sea flora o fauna.

En los últimos años, los problemas de contaminación han adquirido tal magnitud y diversidad que la sociedad ha ido tomando cada vez mayor conciencia de los riesgos actuales, y más aún, de los potenciales. Como resultado de la presión social generada quienes toman las decisiones muestran una gran creciente voluntad política para resolver los problemas ambientales (Cisneros B. E., 2001).

Contaminación inorgánica en aguas.

Contaminantes inorgánicos: incluyen a los metales pesados como Co, Cr o Cu, elementos no metálicos como el As y B. Algunos elementos traza son esenciales para la nutrición y crecimiento de plantas (B, Cu, Fe, Mn, Mo y Zn) y animales (As, Cu, Co, Fe, Mn, Mo, Zn, Cr, F, Ni, Se, Sn y V). La toxicidad de estos elementos depende de la concentración, la forma química y su persistencia (Delgadillo, 2011).

En general, los mecanismos involucrados en la remoción de contaminantes son de tres tipos: físicos (sedimentación, filtración, adsorción, volatilización), químicos (precipitación, hidrólisis, reacciones de óxido-reducción o fotoquímicas) y biológicos (resultado del metabolismo microbiano, del metabolismo de plantas o de procesos de biosorción). Los mecanismos de tolerancia varían entre las distintas especies de plantas y están determinados por el tipo de metal, eficiencia de absorción, translocación y secuestro (Delgadillo, 2011).

Contaminación por metales pesados.

Al hablar de la contaminación por metales, en general, se hace referencia a los problemas ocasionados por los metales pesados ya que estos son muy dañinos para los seres vivos. La mayoría de estos metales son pertenecientes al grupo de elementos de densidades muy altas. En ocasiones se les denomina metales traza, debido a su presencia en pequeñas concentraciones: en realidad, se aplica el nombre de micros contaminantes a todos aquellos cuya concentración inferior a 1 mg/g y producen efectos importantes (Jaume Porta, 2013).

El plomo.

El plomo es un metal blando, gris azulado, estable y resistente a la corrosión. Sin embargo, cuando forma parte de tuberías, conexiones o soldaduras, en presencia de agua ligeramente ácida puede contaminar el agua potable. El plomo no conduce bien la electricidad, posee una temperatura de fusión baja (Poma, 2008).

Método de absorción de plomo y efecto en el ser humano.

El plomo se absorbe en el tubo gastrointestinal de forma lenta e incompleta (cuando la intoxicación se produce por vía oral) y puede absorberse en las vías respiratorias después de su inhalación. El plomo se distribuye en el cuerpo principalmente en dos reservas: una activa en la sangre y tejidos blandos y otra de almacenamiento en los huesos. Los signos y síntomas de un envenenamiento por plomo pueden incluir malestares, anorexia, dolor abdominal, vómitos, irritabilidad y apatía. Las manifestaciones de este envenenamiento afectan fundamentalmente a tres sistemas: el sistema renal, el sistema nervioso, central y el sistema hematopoyético. La encefalopatía por plomo se caracteriza por una inturación de adema cerebral, coma y convulsiones; las secuelas pueden comprender retraso mental, trastornos de conducta y ocasionalmente (el plomo interfiere en la síntesis de del grupo hemo de la inhibiendo la acción de varias enzimas, como la deshidratasa (encargada de la formación forma porfobilinogeno y la ferroquelatasa (cataliza la inserción de hierro en la topofilina para formar el grupo hemo) (Orozco B. c., 2011).

El plomo se considera como un veneno fuerte y acumulativo. Afecta los sistemas hematopoyético y nervioso. Fácilmente llega a causar la muerte, se puede ingerir durante varias semanas agua que contenga de 2 a 4 mg/L de plomo sin presentar ningún síntoma, pero su empleo durante tres meses

resultaría dañino. El consumo de 15mg/L de plomo durante varias semanas puede ser fatal, concentraciones de 0.05 mg/L se considera fisiológicamente seguro para el hombre, pero en concentraciones tan bajas como 0.010 mg/L son tóxicas para los peces (Cisneros B. E., 2001).

En el agua de lluvia se puede encontrar Pb por arrastre de contaminantes atmosféricos y en el agua para beber por disolución de la tubería cuando el agua es suave y ácida. Las fuentes comunes de ingestión del plomo son la comida, el aire, el humo del tabaco y el empleo de loza de barro vidriado. En zonas de alta densidad automovilística, el agua de lluvia puede contener hasta 40mg/L y la bruma 300 mg/L. En los grandes lagos, se ha demostrado que muchas de las fuentes de plomo se ubican entre 500 y 1000 km de distancia y que se alojan en los sedimentos. En las fuentes de abastecimiento rara vez excede 5 mg/L. En los océanos el plomo ha aumentado de 0.01 mg/L a 0.07 en 75 años (Cisneros B. E., 2001).

Tipos de tratamientos de aguas.

Para resolver el problema de la contaminación en aguas existen diferentes métodos ya sean químicos o físicos tales como Filtración por membrana, Electrodiálisis, y Osmosis Inversa.

Intercambio iónico.

El intercambio iónico es una reacción química en la que los iones libres móviles de un sólido, el intercambiador de iones, se cambia por distintos iones, de carga similar de la solución. El intercambiador debe de tener una estructura de malla abierta, ya bien sea orgánica o inorgánica, que retenga iones sobre sí y que permita el paso a su través de otros iones (Romagosa, 2002).

Los intercambiadores de iones son orgánicos o inorgánicos, naturales o sintéticos. Uno de los más ampliamente utilizados actualmente son las resinas sintéticas, que actúan como intercambiadores de iones a causa de que su malla tridimensional orgánica posee grupos cargados o susceptibles de ser cargados. Estas resinas sintéticas, que han revolucionado la química e industria moderna, son del linaje de la química de los polímeros que, ya desde 1940. Había también proporcionado sustancias tales como el nylon, polietileno, poliuretano. PCV, las fibras sintéticas que son ahora usadas como medios cotidianos. Las resinas sintéticas difieren de las resinas naturales, en que estas son sólidos orgánicos amorfos o semisólidos con un lustre típico, de origen animal o vegetal. Las naturales son con frecuencia fluidos exudados de los pinos o abetos; la goma laca es una resina de insectos cóccidos (pulgon) que ya en 1200 antes de J.C se habían explotado por sus exudados sobre las acacias e higueras sagradas del sudeste asiático (Romagosa, 2002).

Intercambiadores iónicos y el proceso de intercambio iónico.

Consideramos un intercambiador iónico como una sustancia insoluble en agua, que puede intercambiar algunos de sus iones por iones cargados de forma semejante contenidos en un medio con el que la resina está en contacto; esta definición es aceptada por la totalidad. Por la designación como una sustancia mejor que un compuesto puede incluir muchos intercambiadores algunos de ellos productos naturales que no tienen una composición bien definida. El término medio confirma que el intercambio iónico puede tener lugar en solución acuosa o no en sales fundidas, o incluso en contacto con vapores. La definición no está limitada a los sólidos, puesto que algunos disolventes orgánicos que son insolubles en el agua pueden extraer iones de soluciones acuosas por un mecanismo de intercambio iónico (Romagosa, 2002).

La definición también indica algo acerca del proceso de intercambio iónico. Básicamente este consiste en el contacto entre el intercambiador y el medio en el que el intercambio tiene lugar. Corrientemente un intercambiador iónico sólido y una solución acuosa. El hecho que los iones sean intercambiados implica que el intercambiador debe ser ionizado, pero solo uno de los iones en el intercambiador es soluble. Este ion puede intercambiarse, mientras que el otro al ser insoluble, no podrá hacerlo (Romagosa, 2002).

Resinas sintéticas intercambio de iones.

En 1935 dos químicos de la National Chemical Laboratory, en Teddington, B.A Adams y E.L Holmes, demostraron que las resinas orgánicas de intercambio de iónico pueden ser sintetizadas de una forma similar a la conocida resina Bakelite, que fue preparada por Beakeland en 1909. La Bakelite es un polímero insoluble duro, del tipo de las resinas de condensación, y que se obtiene por calentamiento del fenol y formaldehído, cuando se elimina el agua y los reactivos condensan conjuntamente. Básicamente la reacción tiene lugar en dos fases (Romagosa, 2002).

Si nos imaginamos esto repetido muchas veces podremos ver que nos dará una estructura tridimensional que contiene grupos -OH fenólicos débilmente ácidos. Adams y Holmes mostraron

que estos intercambian sus iones de hidrogeno en solución alcalina; más aún, mediante la introducción de grupos sulfónicos fuertemente ácidos, SO₃H, en la estructura prepararon un intercambiador catiónico que actuaba en una solución ácida (Romagosa, 2002).

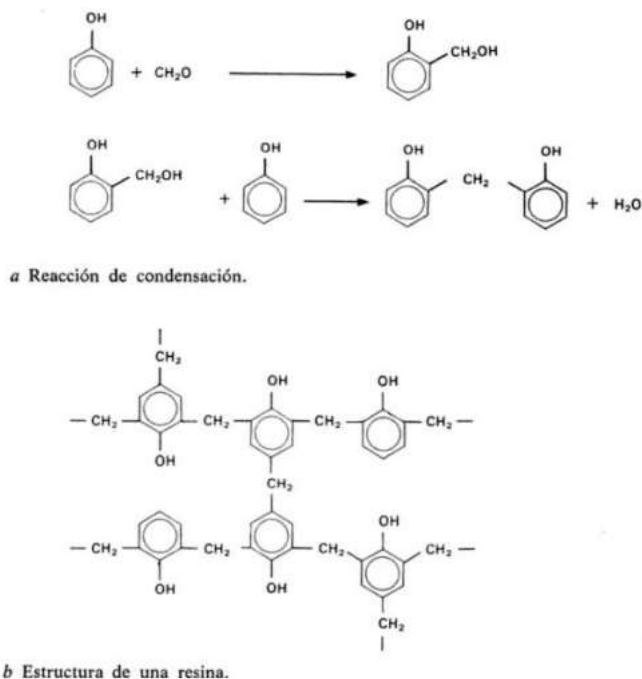


Figura 1. Estructura de una resina de intercambio iónico a base de materia orgánica.

Estructuras y propiedades de intercambiadores iónicos.

Una resina de intercambio iónico es una red tridimensional de polímero orgánico insoluble a la que se adhieren grupos funcionales, que son el origen de sus propiedades de intercambio iónico. (Romagosa, 2002).

Un intercambiador de aniones puede estar bien en forma de base (OH) o en forma de sal o (N) para el anión N. Dos grandes clases de grupos funcionales se admiten formal mente para los intercambiadores anicónicos y catiónicos, según el grado de disociación del ácido y la base implicados:

Tabla 1. Grupos funcionales de las resinas.

Material	Bases	Tipo de grupo	Agrupación
Intercambiador catiónico	Fuerte	Ácido sulfúrico SO ₃ H	Agrupación cuartearía NR ₃
Intercambiador aniónico	Débil	Ácido carboxílico CO ₂ H Fenólico OH	Agrupación temaría NR ₂ (R es un grupo sustituyente orgánico)

Clasificación de las resinas.

Las resinas de intercambio iónico se clasifican también según su estructura química y las propiedades ácidas o básicas que exhiban sus grupos funcionales. Atendiendo a ello, se definen cuatro categorías de resinas (Ruiz, 2015).

Resinas catatónicas ácido fuerte: Se caracterizan por tener grupos sulfónicos -SO₃- como grupos funcionales. Los grupos sulfónicos se comportan como ácidos fuertes, que en disolución acuosa se presentan totalmente hidrolizados. Las resinas de esta categoría son monofuncionales, y sus

propiedades químicas y físicas varían en función de la relación de copolimerización entre divinilbenceno y estireno, que oscila entre el 6 y el 16 %. Las resinas ácido fuerte atraen iones cargados positivamente, que intercambian por protones o sodio, dependiendo de su presentación en forma ácida o sal sódica (Ruiz, 2015).

Resinas catiónicas ácido débil: Son resinas caracterizadas por la presencia del grupo carboxilo –COO⁺ como grupo funcional. Retienen cationes en equilibrio con otros ácidos débiles en la disolución, como bicarbonatos, pero no pueden intercambiar iones que se encuentren en equilibrio con aniones de ácidos fuertes. Su regeneración es más fácil, alcanzándose tasas próximas a la regeneración máxima (Ruiz, 2015).

Resinas aniónicas base fuerte: Llevan iones de amonio cuaternario en su estructura como grupos funcionales. Se unen a los aniones disueltos, liberando alcalinidad a la disolución. Se subdividen en dos clases, denominadas respectivamente Tipo 1 y Tipo 2, en función de que incorporen a su estructura grupos alcohol –OH, lo que les hace diferir en varios aspectos. Las resinas aniónicas base fuerte de Tipo 1 son bases fuertes de menor capacidad de intercambio, con una baja eficiencia de regeneración. (Ruiz, 2015).

Resinas aniónicas base débil: Llevan grupos amino en su estructura. No son capaces de retener aniones de ácidos débiles, como silicatos o bicarbonatos. Son sensibles a la hidrólisis por parte de los iones del agua, lo que las hace más fácilmente regenerables (Ruiz, 2015).

Selectividad Resinas de Intercambio.

Una consideración importante al determinar la posibilidad de una reacción de intercambio iónico, es la preferencia observada de ciertas resinas por ciertos iones que poseen unas características de carga similares; el que un equilibrio sea favorable para un sistema iónico determinado depende mayormente de la selectividad de la resina. Actualmente se conocen las razones de las selectividades de las resinas; en general, la selectividad depende de la carga y el tamaño de los iones. La influencia más importante es la magnitud de la carga del ion ya que una resina prefiere elevada valencia. Así, para una serie de aniones típicos encontrados en los tratamientos de agua podrían esperarse el orden de preferencia siguiente: PO > SO₄ - > Cl- De una forma similar para una serie de cationes: Th > Nd > Ca (Weber, 2003).

Un segundo factor que influye en la selectividad iónica es la presión de hinchamiento de la resina. En un disolvente polar como el agua los grupos activos de la resina y los iones móviles en las fases de la resina y disolución tienden a solventarse. La solvatación o hidratación de los iones ejerce una presión de hinchamiento dentro de la resina, esta presión esta incrementada por las fuerzas de repulsión entre los grupos iónicos fijos y está contrarrestada por los enlaces de reticulación que unen a la partícula. Para una resina y solución electrolítica en agua el radio de solvatación influye en las variables que afectan a la presión con el resultado de que las resinas prefieren los iones con menor radio de solvatación. En general los iones multivalentes hidratados son adsorbidos con prioridad debido a que su tamaño es inferior al de una unidad cargada equivalente de iones de menor carga. En una serie iónica de igual carga el ion con menor radio en la fase en disolución ocupa el primer lugar de la serie. El tercer factor que influye en la selectividad es la interacción iónica dentro de la resina y en el volumen de la disolución. La resina prefiere como regla general los contraiones que presentan mayor afinidad para los grupos iónicos fijos; la resina adsorberá con prioridad los iones que pueden formar precipitados o complejos con los grupos iónicos de la resina. El último factor significativo en la selectividad iónica es la acción tamizadora o de filtración.

PARTE EXPERIMENTAL

Método de modificación de resina comercial de intercambio iónico: La modificación de las resinas se llevó a cabo mediante su impregnación con nitrato de manganeso, a concentraciones de 50ppm, 100 ppm, 150 ppm, 200 ppm y 300ppm, las muestras se dejaron en agitación durante 24 horas. Posteriormente se decantaron y se agregó alcohol isopropílico y se dejó reposar durante 24 horas. Seguido de esto, se decantó el alcohol, se enjuagó y se secó a 60°C durante 48 horas. Finalmente, se caracterizaron las resinas modificadas a 150ppm (R150), 200ppm (R200) y 300ppm (R300).

Caracterización de las resinas modificadas y sin modificar: Determinación de sitios activos. Los sitios activos de las resinas modificadas y sin modificar se determinaron por el método de titulación ácido-base (Boehm, 1994). El total de sitios ácidos se determinó neutralizando con una solución valorada de NaOH para las resinas modificadas a 150 ppm (R150), 200 ppm (R200) y 300 ppm (R300). Esta

determinación se llevó a cabo agregando 5 mg de cada muestra de resina en viales de teflón las cuales contenían 40 ml de la solución neutralizante. Los viales de pusieron en agitación durante 24 horas. Finalmente se tomó una alícuota de 10 ml del sobrenadante y se tituló con solución valorada de 0.01 N de HCl utilizando una bureta de vidrio de alta precisión (± 0.02 ml). La densidad de sitios activos en la superficie de las resinas se obtuvo mediante la ecuación 1.

$$C_{sa} = \frac{V_o(C_o - C_1)}{m} * 1000 \quad (1)$$

Donde:

C_{sa} Concentración de los sitios activos, mmol/g.

C_o Concentración inicial de la solución neutralizante, mol/L.

C_1 Concentración final de la solución neutralizante, mol/L.

m Masa del material, g.

V_o Volumen inicial de la solución neutralizante, L.

La concentración final (C_1) de la solución neutralizante se calculó mediante los resultados de la titulación y utilizando la ecuación 2.

$$C_1 = \frac{V_t C_t}{V_m} \quad (2)$$

Donde:

C_t Concentración de la solución titulante, mol/L.

V_t Volumen utilizado de la solución titulante, mL.

V_m Volumen de la solución neutralizante, mL.

Determinación del punto de carga cero (PCC) y carga superficial: El PCC de la muestra sin modificar y modificada con nitrato de manganeso se determinó dentro de viales de polipropileno de 50 mL, para esto se colocaron 200 mg de resina. Posteriormente, los viales fueron sellados y se mantuvieron en agitación constante durante 48 horas. La distribución de carga de las resinas intercambiadoras se determinó mediante el equilibrio de pH y fue obtenida utilizando un método de titulación potenciométrica (Kuzin y Loskutov 1996) que consiste en colocar 10 ml de NaCl 0.1 N dentro de viales de teflón, ajustar el pH de 2 a 11 con NaOH o HCl 0.1 N y mantener en agitación durante 12 horas. Finalmente, se midió y registró el pH de cada solución. Las curvas de distribución de carga se obtuvieron graficando en el eje de las ordenadas el valor de pH de la solución y en el eje de las abscisas el volumen agregado de NaOH o HCl para alcanzar este valor de pH. La carga superficial se calculó por medio de la ecuación 3.

$$C_{ir} = \frac{Cn(VB - VA)}{m} \quad (3)$$

Donde:

C_{ir} Carga superficial de las resinas a un determinado valor de pH final, mmol/g.

Cn Concentración de la solución neutralizante, mmol/L.

VA Volumen requerido de NaOH o HCl para obtener un valor determinado de pH en el experimento con resinas L.

VB Volumen requerido de NaOH o HCl en el experimento sin resinas L.

m Masa del material adsorbente, g.

Evaluación de remoción: Para obtener las isotermas de adsorción de plomo se colocaron 5 mg de resina modificada y sin modificar en viales de teflón y 10 ml de una solución con 150 ppm, 200 ppm y 300 ppm de Plomo. Los experimentos se realizaron a pH constante, ajustando diariamente con HCl ó NaOH 0.01 N. La masa del adsorbato removida se calculó mediante el balance de masa descrito en la ecuación 4.

$$q_e = \frac{V_o C_o - V_f C_f}{m} \quad (4)$$

Donde:

q_e Masa de cadmio adsorbido, mg/g.

C_0 Concentración inicial del adsorbato, mg/L.

V_0 Volumen inicial, L.

m Masa del material adsorbente, g.

C_f Concentración final del adsorbato, mg/L.

V_f Volumen final, L.

RESULTADOS

Modificación de resina de intercambio iónico.

La resina de intercambio se modificó utilizando cloruro de manganeso a diferentes concentraciones se empleó las modificadas a 150ppm (R150), 200ppm (R200) y 300ppm (R300) dejándola en reposo en solución de nitrato de manganeso a diferentes concentraciones posteriormente se utilizó alcohol isopropílico para solidificar las partículas. En la Figura 2 se aprecian las resinas modificadas con cloruro de manganeso a diferentes concentraciones en partes por millón (ppm).

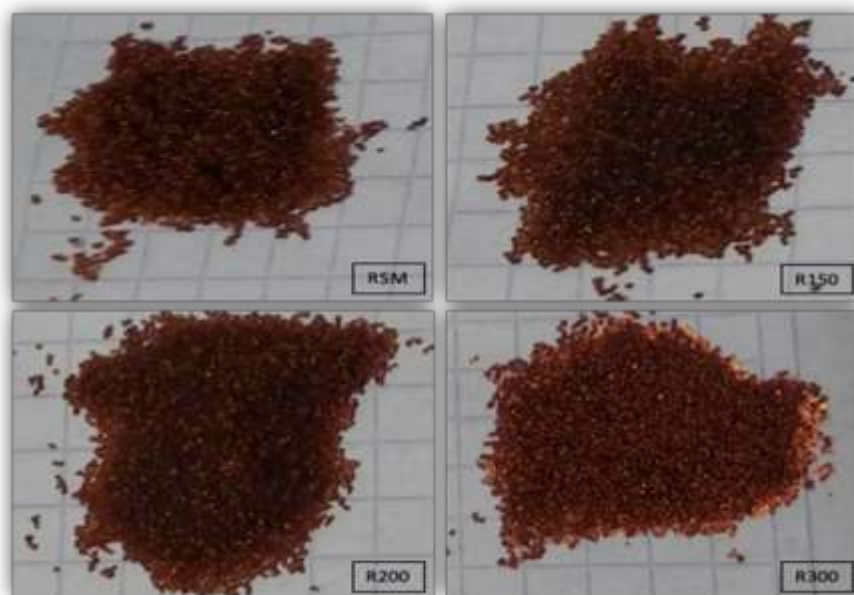


Figura 2. Modificación de la resina de intercambio iónico con cloruro de manganeso, dónde se aprecian las resinas: (RSM), (R150), (R200) Y (R300).

En la Figura anterior se puede observar las resinas modificadas con las que en este trabajo de investigación se realizó, para poder llevar a cabo la caracterización de las resinas, así como la modificación para la remoción de un metal presente en medio acuoso. Es importante llevar a cabo investigaciones de este tipo ya que los metales son unos de los elementos más peligrosos por su alta bioacumulación, toxicidad y daños severos que presentan a los seres humanos.

La resina modificada impregnándola con cloruro de manganeso presentó cambios que a simple vista pueden ser observados, tales como la coloración como se muestra las resinas (R150), (R200) fueron las que presentaron el menor cambio, pero la resina (R300) presentó un cambio mayor en cuanto a coloración ya que esta presentó un color más rojizo en su superficie, cabe destacar que esta resina una vez que se probó para la remoción de plomo descrito en este apartado fue la misma que presentó mayor cantidad de remoción en comparación con las resinas modificadas de (R150) Y (R200).

Por otra parte, físicamente se encontró que las muestras de resina modificada no sufrieron daños físicos ya que el proceso de modificación no dañó la resistencia mecánica de la resina de intercambio iónico. Esto puede ser atribuido a las resinas están hechas a base de polímeros con alta resistencia mecánica y larga vida útil. Esta característica favorece que las resinas de este tipo se pueden regenerar sus áreas de intercambio cuando se saturan para seguir removiendo.

Se observó que las resinas modificadas no sufren aglomeración es decir no se agrupan entre ellas lo cual es ideal ya que de esta forma se puede trabajar debido a que cada resina actúa por sí sola. Caracterización de la resina de intercambio iónico.

→ Determinación de sitios ácidos totales (SAT).

Los sitios ácidos totales (SAT) obtenidos indican que la muestra con mayor número de sitios ácidos fue RSM con 0.04 mmol/g seguida por R250 que obtuvo 0.0044 mmol/g y R300 con 0.0035 mmol/g, lo cual indica que RSM se acerca más a las condiciones óptimas para la remoción de contaminantes al contar con mayor número de SAT.

→ Determinación de sitios básicos totales (SBT).

La muestra que presento mayor número de SBT fue RSM con 0.96 mmol/g, seguida de R200 con 0.0021 mmol/g, R300 con 0.0016 mmol/g y por último R150 que no presento sitios básicos. Las resinas presentan mayor SBT en su superficie y menos SAT, por lo que la resina comercial puede tener mejor uso en medios básicos que en ácidos.

→ Determinación de la distribución de carga superficial.

La Figura 3 muestra la distribución de carga para la determinación del PCC, el cual corresponde al punto en donde las curvas de distribución de carga cruzan la línea horizontal (cero en el eje de las ordenadas). En esta Figura podemos observar que a partir de valores de pH mayores al PCC la liberación de los iones H^+ se incrementa rápidamente, es decir, entre mayor sea el pH la carga superficial se volverá más negativa, ya que una mayor concentración de grupos funcionales se disocia por lo que la superficie del adsorbente será capaz de atraer cationes presentes en solución.

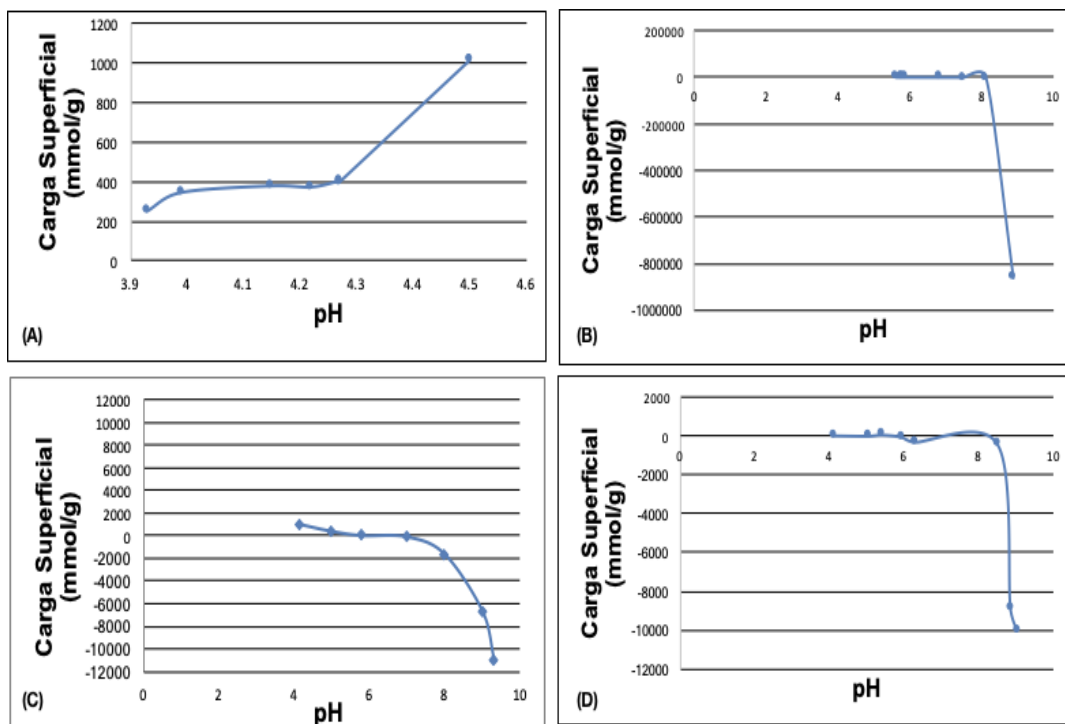


Figura 3. Distribuciones de carga de las resinas de intercambio iónico: (A) RSM, (B) R150, (C) R200, (D) R300.

En la Figura (3A) se observa el comportamiento del pH respecto a la carga superficial donde podemos apreciar que en valor de pH de 4 a 4.5 permanece la carga superficial casi constante y no es hasta el valor de pH de 4.3 donde la carga superficial aumenta drásticamente y se mantiene hasta 4.5 valor de pH. La Figura (3B) inicia a pH constante de casi cero y a valores de pH de 7.8 aumenta para posteriormente descender a valores de pH de 8 descendiendo drásticamente a valores negativos. La Figura (3C) inicia a valores de carga superficial de alrededor de 1000 a pH de 4 y a valores de pH de 4.5 alcanza valores de alrededor de cero manteniéndose hasta pH de 7 donde empieza a descender y mantenerse así hasta pH de 9. La Figura (3D) inicia a valores de carga superficial

constante que ronda entre el valor de 0 a valores de pH de 6 desciende un poco para regresar a su lugar y continuar hasta valores de pH de 8.5 donde desciende drásticamente.

→ Determinación del punto de carga cero (PCC)

Para la determinación del PCC, se puede observar que a partir de valores de pH mayores al PCC la liberación de los iones H^+ se incrementa rápidamente, es decir, entre mayor sea el pH la carga superficial se volverá más negativa, ya que una mayor concentración de grupos funcionales se disocia por lo que la superficie del adsorbente será capaz de atraer cationes presentes en solución. Los valores del PCC de las resinas modificadas y sin modificar fueron de 5.78, 5.77, 5.72 y 5.07 para RSM, R150, R200 y R300 respectivamente. Esto indica que los PCC de los materiales modificados están por debajo de RSM, debido a la introducción de grupos funcionales en la superficie de las resinas intercambiadoras durante el contacto con el medio. Estos sitios activos, al ponerse en contacto con agua se disociarán y a la vez modificarán la densidad de carga de la superficie al incrementar la concentración de grupos funcionales.

→ Evaluación de la remoción de plomo

Como ya se ha mencionado antes en este trabajo de investigación el llevar a cabo nuevos experimentos para poder mejorar la calidad de las aguas es de suma importancia y mas hoy en día que gran parte de los cuerpos de aguas se encuentran contaminados por algún compuesto que causa graves daños en la salud como lo son los metales pesados, entre ellos destaca el plomo que también tiene gran influencia en los cuerpos de aguas, ríos o lagos y en casos graves posos o potabilizadoras, poniendo así en riesgo a los seres humanos, flora y fauna.

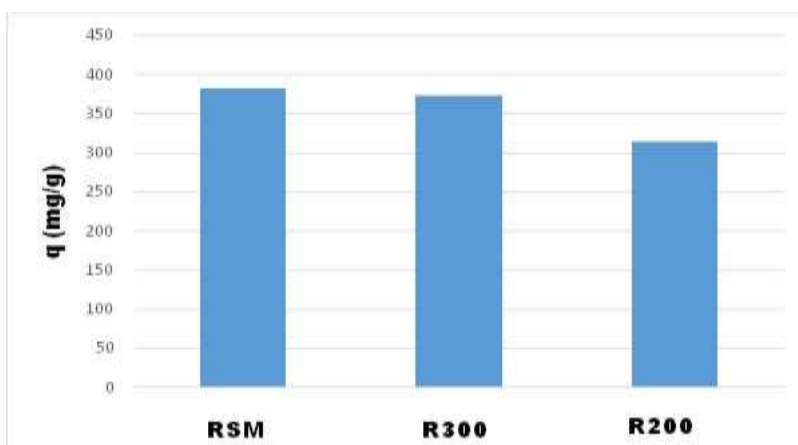


Figura 4. Muestra la capacidad de adsorción puntual de plomo de las muestras (RSM), (R200) Y (R300) a pH constante de 5.

En la Figura 4 se aprecia que la muestra que mayor remoción de plomo obtuvo fue la muestra RSM ya que su concentración fue mayor con 381.75 mg/g seguida de la muestra R300 obteniendo una q de 372 mg/g esta muestra se coloca no por mucho, debajo de la muestra que mejor remoción obtuvo y por último la muestra R200 teniendo una q de 313.53 mg/g se coloca por debajo de las otras dos muestras, esta Figura nos muestra que la resina modificada removió mayor cantidad de plomo entre mayor impregnación de cloruro de manganeso, es así que en la Figura podemos apreciar las dos muestras más prometedoras la R300 y R200.

En la Figura 5 se muestra el efecto del pH donde se observa la capacidad puntual de adsorción de plomo con respecto a la influencia del pH. Dicha figura representa la muestra RSM donde podemos apreciar que la resina comercial sin modificar tiene una mayor capacidad de remoción de plomo en medio acuoso con pH's de 5 o más, y además hay una tendencia de remoción de plomo respecto al pH, el pH influye directamente en la resina para la remoción de plomo ya que esta actúa de forma mejor a pH's más altos como se puede observar en la Figura 5.

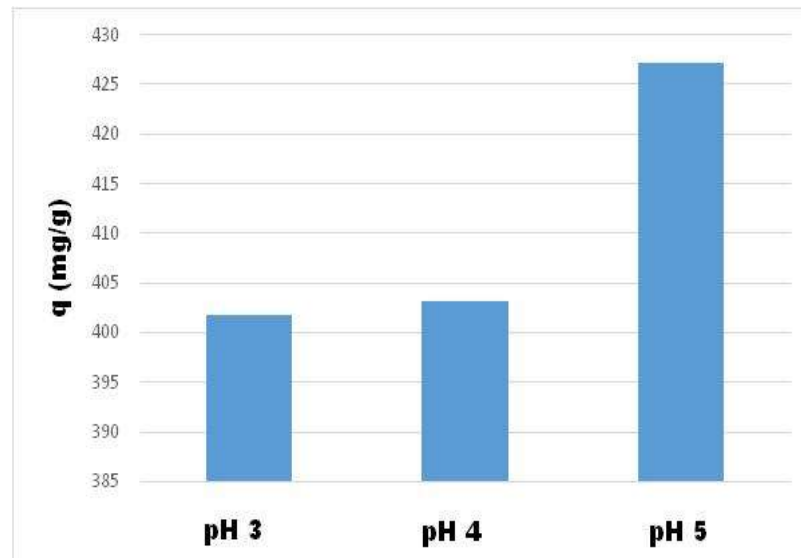


Figura 5. Resultados de q en mg/g a diferentes pH de 3, 4 y 5; para una concentración de 500 ppm.

Teniendo en cuenta la concentración inicial de las muestras de 500 ppm podemos observar que la muestra con 35 mg obtuvo una menor capacidad de remoción, con una concentración final de 21 ppm; seguida de la muestra con 30 mg de resina que dio como resultado una concentración final de 61.5 mg/g, la muestra de masa 25 mg con resultado 127 mg/g la muestra de 20 mg con resultado 155.5 mg/g, la muestra de 15 de masa da de resultado 223 mg/g, la muestra de 10 mg de muestra da de resultado 304.5 mg/g y por último la muestra que más removió fue la de 5 mg de muestra, obteniendo una adsorción de 309.5 mg/g.

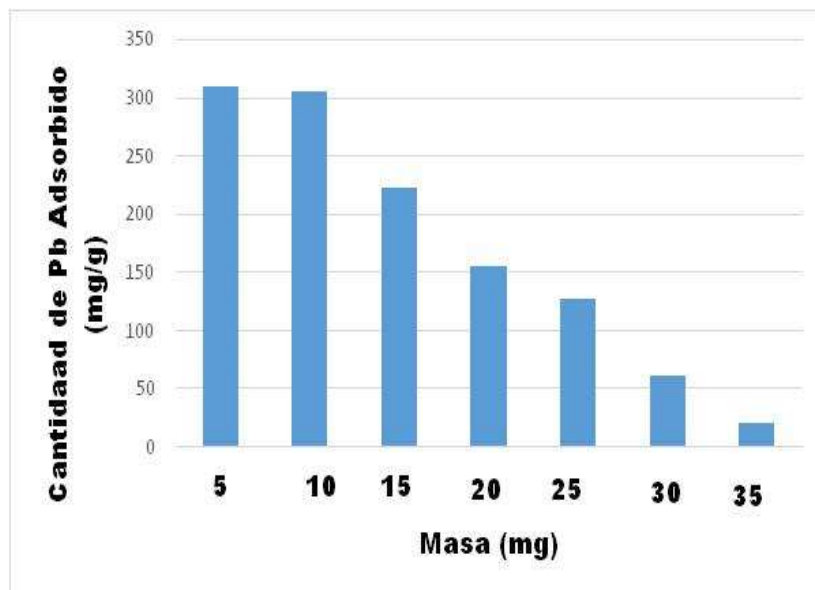


Figura 6. Efecto de la masa sobre la capacidad de adsorción de Pb.

Con base a lo anterior, se obtuvo que a menor concentración de masa en las muestras mayor la adsorción de plomo en cada una de ellas, un ejemplo claro es la muestra con 5 mg de masa que dio como resultado 309.5 mg/g en comparación con la muestra de 35 mg de resina que dio de resultado 21 mg/g.

CONCLUSIONES

La resina sin modificar (RSM) presentó mejores resultados de remoción a un pH de 5; además de que obtuvo una cantidad de SAT, SBT y un PCC mayor al resto de las resinas modificadas. Aunque RSM no mejoró la remoción de plomo en comparación con la resina comercial, se pudo comprobar que se puede adherir a esta resina otro componente para aumentar su capacidad de remoción; en este caso se comprobó que las resinas modificadas no obtuvieron el nivel de remoción de plomo esperado. Es probable que el manganeso no tenga la capacidad de remover plomo, sin embargo, la resina modificada puede ser empleada para la remoción de otros metales o compuestos químicos e inorgánicos con los que esta sea más a fin. Se recomienda entonces un seguimiento a la modificación de resina de intercambio iónico, buscando remover contaminantes en medio acuoso más afines al manganeso.

Estos resultados indican que las resinas de intercambio iónico son grandes candidatos para desarrollar nuevos materiales, aprovechando su estructura polimérica y propiedades físicas y mecánicas para soportar partículas inorgánicas que modifiquen sus capacidades de remoción de contaminantes presentes en solución acuosa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cisneros, B. E. (2001). La Contaminación Ambiental en México: causas, efectos y tecnologías apropiadas. México: LIMUSA.
2. Delgadillo, A. E. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Scielo, 10.
3. Jaime Porta, M. L.-A. (2013). Edafología Uso y Protección del Suelo. Madrid España: Ediciones Mundi Prensa.
4. Poma, P. A. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. Scielo, 120-126.
5. Orozco, C. (2011). Contaminación Ambiental: una visión desde la química. Madrid España: Paraninfo, SA.
6. Romagosa, J. T. (2002). Intercambio iónico. Barcelona: reverté, S.A.
7. Ruiz, C. S. (2015). INTERCAMBIO IÓNICO. Inditex, 30.
8. Weber. (2003). Control de la calidad del agua. Reverté.

RESIDUO LIGNOCELULOSO DE ESPARRAGO: UNA ALTERNATIVA VIABLE COMO PRECURSOR DE CARBÓN ACTIVADO PARA SU USO EN TRATAMIENTO DE AGUA

Florencia Peña Carlón, Guillermo Andrade Espinosa, Omar Augusto Sánchez Ortiz,
José Diego Bárcenas Torres

Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico del Valle de Morelia
guillermo.ae@vmorelia.tecnm.mx

RESUMEN

En esta investigación se estudió la producción y evaluación de carbón activado a partir de residuos de esparrago (*Asparagus officinalis*) para la remoción de 2,4-diclorofenol de solución acuosa. Mediante un diseño de experimentos de superficie de respuesta se estudiaron las variables que afectan la producción de carbón activado. Se examinaron los efectos de la concentración del agente activante, así como el tiempo y temperatura de activación, teniendo como respuesta la capacidad de adsorción puntual del plaguicida. Además, se determinó, a la muestra óptima, la cantidad de sitios ácidos totales mediante titulaciones ácido-base y la distribución de carga mediante equilibrio de pH. Finalmente, se determinó el efecto del pH en la adsorción del plaguicida mediante isotermas de adsorción. Los resultados preliminares del diseño muestran que la capacidad de adsorción es altamente dependiente de la concentración del agente activante y temperatura de activación, y menos dependiente tiempo. Por otro lado, se encontró que la concentración de sitios ácidos totales de la muestra óptima es de 2.8 mmol/g y que el punto de carga cero se encuentra en valores ácidos de pH. Finalmente, se encontró que la capacidad de adsorción de 2,4-diclorofenol aumenta al aumentar el pH, teniendo una capacidad máxima de adsorción de 83 mg de plaguicida / g de carbón, a una concentración en el equilibrio de 60 mg/L, pH 7 y 25 C. Estos resultados indican que el residuo agrícola estudiado tiene un gran potencial como precursor de carbón activado.

Palabras clave: Adsorción, carbón activado, plaguicidas.

INTRODUCCIÓN

El carbón activado (CA) es el adsorbente más utilizado en el mundo con aplicaciones en diferentes áreas para la remoción de contaminantes tanto en fase líquida como gaseosa. Debido al extenso número de aplicaciones, la producción y caracterización de CA es de interés en las áreas científicas e industriales ^[1,2]. Existen dos métodos utilizados para preparar CA: activación física y activación química. La activación física involucra la carbonización del material en altas temperaturas bajo una atmósfera de dióxido de carbono o vapor de agua ^[3]. La activación química se lleva a cabo haciendo reaccionar el material con químicos tales como ZnCl₂, KOH, HNO₃, H₃PO₄ y H₂SO₄. Una gran cantidad de carbones activados han sido desarrollados encontrándose que sus propiedades químicas, físicas y texturales dependen de las condiciones de producción, pero preponderantemente de la naturaleza y estructura del precursor involucrado ^[2,4]. En este sentido, la utilización de desechos de biomasa lignocelulosa para producir CA es una estrategia de control de contaminación. Un residuo que puede ser utilizado como precursor en la producción de CA, ya que es una fuente de biomasa lignocelulosa, es el residuo del esparrago. La superficie de siembra en México dedicada a esta hortaliza fue de poco más de 19 mil hectáreas de las cuales se estima que la generación de desechos es alrededor de 10 ton/ha ^[5]. El camino más común de producción de CA a partir de un nuevo precursor es variando un parámetro de producción a la vez y evaluando características fisicoquímicas claves. Sin embargo, esto es muy costoso debido al gran número de pruebas requeridas y no garantiza que las condiciones óptimas de producción sean determinadas. El uso de los diseños experimentales para solventar estos problemas y obtener las mejores condiciones de preparación de carbones activados, con adecuados parámetros texturales, ha sido brevemente reportado ^[6]. En particular, la metodología de superficie de respuesta es una técnica estadística útil para modelar y analizar problemas donde las variables de respuesta son influenciadas por diferentes condiciones. A pesar de que esta metodología es una popular herramienta en la optimización de procesos, es poco utilizada en la producción de carbón activado ^[2,7]. Por otro lado el CA ha mostrado una mayor eficiencia en la remoción de plaguicidas que los materiales convencionales ya que es efectivo en un amplio rango de procesos. En Michoacán el uso incorrecto de plaguicidas conlleva a

una extensiva contaminación de los cuerpos de agua. Por ejemplo, la cuenca del río Lerma abarca áreas de cinco estados, siendo la proporción de Michoacán de 30.3% con respecto al área total de la cuenca. A lo largo de la cuenca se desarrollan actividades agrícolas lo que implica la liberación de compuestos orgánicos sobre el sistema lo que deriva en que se considere una de las regiones más contaminadas del país [8]. Por lo tanto es imperativo desarrollar nuevas tecnologías para la remoción de estos contaminantes con miras a que en un futuro puedan ser utilizadas en plantas de tratamiento de agua. Por lo que la finalidad del proyecto fue la obtención, mediante diseños experimentales, de condiciones óptimas de producción de carbón activado a partir de desechos de esparrago y probar el carbón obtenido en la remoción de plaguicidas.

OBJETIVO

Producir carbón activado a partir de desechos de esparrago mediante la optimización de condiciones de producción con una metodología de superficie de respuesta para la remoción de plaguicidas organoclorados presentes en solución acuosa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos experimentales se obtuvieron por medio de un diseño de experimentos Box-Behnken considerando tres factores: temperatura de activación, concentración del agente activante ($ZnCl_2$) y tiempo de activación. La capacidad de adsorción puntual del plaguicida modelo 2,4-Diclorofenol fue utilizada como respuesta en el análisis. Dos niveles fueron asignados para cada variable siendo 275-500°C para la temperatura de activación, 20-50 min para el tiempo de activación y 0.1-3 g/g para la relación en peso del residuo con el agente activante. Posteriormente la pirolisis, bajo las condiciones establecidas por el diseño, se llevó a cabo en una mufla eléctrica. Los grupos funcionales del carbón activado óptimo fueron determinados mediante titulaciones potenciométricas. Los sitios ácidos totales se neutralizaron con una solución 0.1 N de NaOH. A 100 mg de material se le agregaron 40 mL de solución neutralizante y se mantuvieron en agitación durante 48 h. Posteriormente la mezcla se tituló con HCl 0.1 N y se registró el cambio de pH con respecto al volumen agregado. La concentración de los sitios activos se calculó mediante un balance de masas. La distribución de carga del carbón activado se determinó mediante equilibrio de pH y fue obtenida mediante el siguiente procedimiento: Se realizaron 10 experimentos utilizando una solución de NaCl 0.1 N como electrolito. A un determinado volumen de NaCl se le ajustó el pH desde 2 hasta 11 con soluciones de NaOH o HCl 0.1 N. Esta solución se introdujo en matraces y se gasificó con nitrógeno. Posteriormente se agregó cierta masa de material y la mezcla se agitó durante 96 horas. El pH de la suspensión fue medido y registrado cuando la mezcla alcanzó el equilibrio. Por último mediante un análisis matemático se obtuvo la distribución de carga y el valor de pH en donde la carga neta de la superficie es cero. La capacidad de adsorción del carbón activado fue determinada en reactores en lote. Se prepararon soluciones de 2,4-Diclorofenol a diferentes concentraciones (10 a 200 mg/L) con agua desionizada. Estas soluciones se pusieron en contacto con 25 mg de material dentro de reactores en lote. Los reactores que contenían la mezcla fueron sumergidos parcialmente en un baño de agua a 25°C hasta alcanzar el equilibrio. Las concentraciones iniciales y finales fueron medidas mediante espectrofotometría UV-Vis. El efecto de pH se obtuvo llevando a cabo experimentos de adsorción a pH de 3, 5 y 7.

RESULTADOS

Con la finalidad de obtener las condiciones óptimas de producción de CA, utilizando como precursor el desecho del esparrago, se llevó a cabo un diseño experimental de superficie de respuesta del tipo Box-Behnken. Este tipo de diseño no tiene un diseño factorial o factorial fraccionada incrustada, además los puntos de diseño se sitúan en combinaciones de los niveles altos y bajos de los factores y sus puntos medios. No cuentan con puntos axiales, por lo que todos los puntos de diseño se encuentran dentro de la zona de operación segura. También aseguran que no se establezcan todos los factores en sus niveles altos al mismo tiempo. Este diseño se desarrolló variando la temperatura y tiempo de activación, así como la relación en peso del residuo del esparrago y agente activante en la carbonización del material. El diseño arrojó 14 experimentos tomándose como respuesta la capacidad puntual de adsorción de 2,4- diclorofenol. La Figura 1 muestra los valores de la respuesta correspondiente a cada experimento.

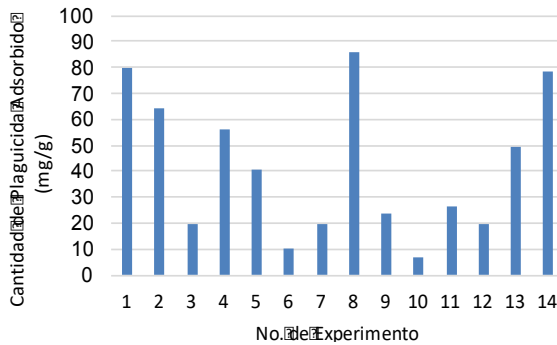


Figura 1. Capacidad de adsorción puntual de 2,4-diclorofenol mediante 14 muestras de carbón activado producido con diferentes condiciones.

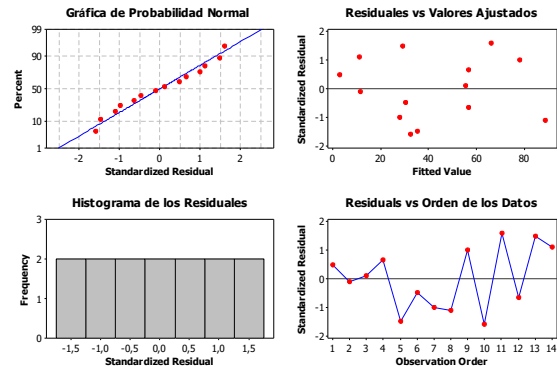


Figura 2. Gráficas de residuales para capacidad de adsorción (q).

Es posible observar en la Figura 1 que cada muestra cuenta con diferente capacidad de adsorción y no hay una tendencia clara entre ellas. Lo anterior es debido a que cada muestra fue producida bajo diferentes condiciones de tiempo, temperatura y agente activante, corroborando que las propiedades químicas del CA dependen de las condiciones de producción. Una vez obtenidas las respuestas de los experimentos se procedió a analizar el diseño y validar el modelo que se ajustó a los datos experimentales. La primera parte del análisis consistió en la revisión de la tabla ANOVA (no mostrada aquí) y el comportamiento de los residuales. Los residuales son la diferencia entre la respuesta observada y su valor correspondiente en el modelo calculado. La Figura 2 muestra dicho comportamiento. Las gráficas de residuales se utilizan para examinar el ajuste en la regresión y ANOVA. Si se comprueban los supuestos establecidos, entonces la regresión de mínimos cuadrados ordinarios producirá estimaciones de coeficientes no sesgadas con la varianza mínima. La gráfica de probabilidad observada en la Figura 2 muestra que los residuales siguen aproximadamente una línea recta, lo cual indica que los datos siguen una distribución de probabilidad normal. Sin embargo, también presentan una leve forma de "s" invertida lo cual indica una distribución con colas cortas. Por otro lado la gráfica de residuales vs valores ajustados muestra que los residuales tienen una tendencia aleatoria por lo que son similares al error aleatorio lo cual indica que el modelo utilizado es el correcto. El histograma de los residuos muestra que los valores no son asimétricos y no existen valores atípicos lo cual favorece la aplicación del modelo. Por último, la gráfica de residuales vs orden de los datos muestra que los residuos fluctúan en un patrón aleatorio alrededor de una línea central lo cual verifica el supuesto de que los residuos no están correlacionados entre sí. Residuales vs orden de los datos muestra que los residuos fluctúan en un patrón aleatorio alrededor de una línea central lo cual verifica el supuesto de que los residuos no están correlacionados entre sí. Lo que nos indican que el modelo utilizado es correcto.

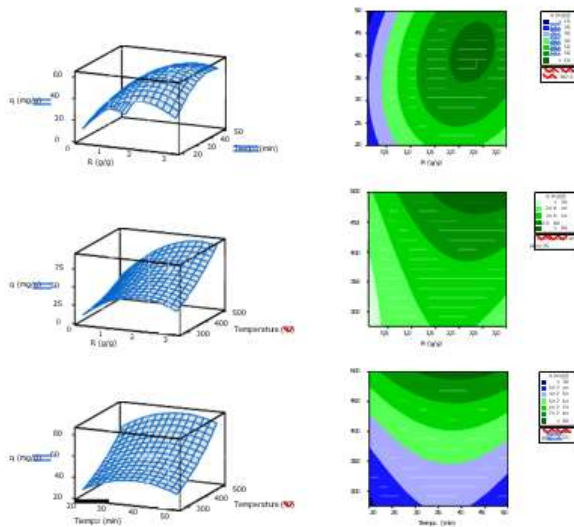


Figura 3. Superficies de respuesta y su correspondiente gráfica de contorno para la respuesta de capacidad de adsorción.

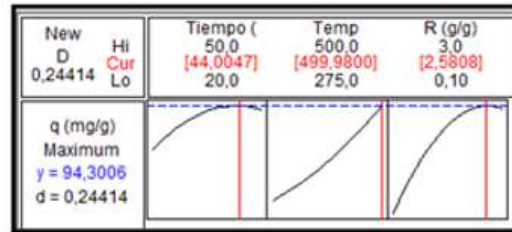


Figura 4. Optimización de la respuesta determinando las condiciones óptimas de producción en base al modelo matemático aplicado.

Una vez que se validó el modelo matemático se generaron las gráficas de superficie de respuesta y las gráficas de contorno. En base a estas gráficas se optimizó la respuesta y se determinaron estadísticamente las condiciones óptimas de producción que arrojan la mayor capacidad de adsorción del plaguicida. Las Figuras 3 y 4 muestran los resultados. La Figura 3 muestra que la capacidad de adsorción del plaguicida es altamente dependiente de la temperatura y la relación en peso entre el residuo de esparrago y el agente activante. Además es posible observar que la capacidad de adsorción aumenta cuando los valores de "R" se encuentran entre 0.1 y 2, encontrándose la máxima adsorción cuando los valores de "R" se encuentran entre 2 y 2.6. Además la Figura 3 muestra que la temperatura de carbonización presenta una tendencia lineal con respecto a la capacidad de adsorción, es decir al aumentar la temperatura de 300 a 500°C la adsorción aumenta significativamente. Finalmente, es posible observar un leve incremento en la capacidad cuando el tiempo de carbonización aumenta de 20 a 30 min y encontrando la máxima capacidad entre 30 y 45 min, sin embargo para lograr esto se debe tener una temperatura alrededor de los 500°C. Las zonas verde oscuro de la graficas de contorno muestran donde se encontraran los valores óptimos de producción. Por otro lado, en la Figura 4 se puede ver el valor pronosticado de la capacidad de adsorción (94.3 mg/g), según el modelo de regresión aplicado y validado, así mismo es posible observar las condiciones óptimas de producción de CA: Tiempo de activación de 44 min, Temperatura de activación de 499,98°C y R(g/g) de 2.58. Bajo estas condiciones se carbonizó la muestra óptima para caracterizarla y obtener los datos de las isotermas de adsorción. Las Figuras 5 y 6 Muestran los resultados obtenidos.

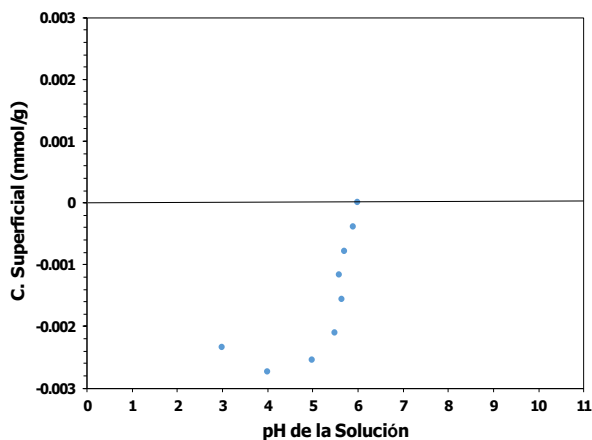


Figura 5. Distribución de carga superficial del CA óptimo obtenido mediante las superficies de respuesta.

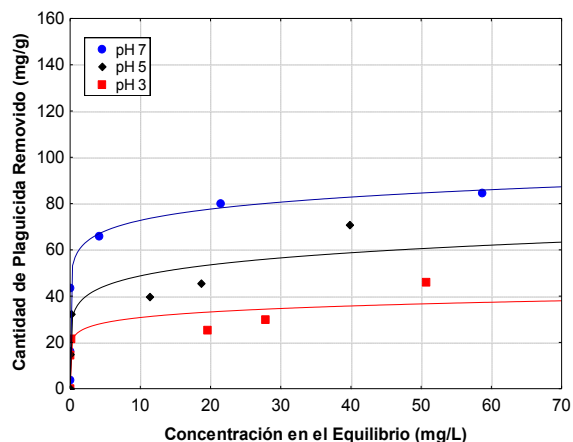


Figura 6. Efecto de pH sobre las isotermas de adsorción de 2,4-diclorofenol sobre CA óptimo a partir de residuos de espárrago.

La Figura 5 muestra la distribución de carga del CA óptimo y es posible observar que al disminuir el pH a partir del valor de 6 la carga superficial se vuelve más negativa, lo anterior es debido a la liberación de iones H^+ por los grupos funcionales oxigenados presentes en la estructura del material. Lo cual es congruente con la concentración de sitios ácidos totales determinados mediante titulaciones ácido-base (2.79 mmol/g). La Figura 6 muestra que la capacidad de adsorción es altamente dependiente del pH de la solución. Además se puede ver que dicha capacidad aumentó al incrementar el pH de 3 a 7, teniendo una capacidad máxima de adsorción de 88 mg/g, lo cual es un valor bastante cercano a lo que se predijo mediante el modelo.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación indican que es viable producir carbón activado a partir del desecho agrícola del espárrago. Mediante el diseño experimental de superficie de respuesta fue posible obtener las condiciones óptimas de producción y predecir de una manera bastante cercana la máxima capacidad de adsorción del plaguicida comparado con la parte experimental. Estos mismos resultados además indican que el carbón activado aquí estudiado es un gran candidato para ser utilizado en los tratamientos terciarios de las plantas de saneamiento de agua, específicamente en la remoción de herbicidas organoclorados.

BIBLIOGRAFÍA

1. R. Bansal, M. Goyal. (2005). Activated Carbon. EUA: Taylor & Francis
2. C. Nieto, R. Rangel. (November 2011). Production of activated carbon from organic by-products from the alcoholic beverage industry: Surface area and hardness optimization by using the response surface methodology. *Industrial Crops and Products*, 34, 1528–1537
3. Chahrazed Djilania, Rachida Zaghdoudi, Ali Modarressi, Marek Rogalski, Fayçal Djazia, Abdelaziz Lallame. (May 2012). Elimination of organic micropollutants by adsorption on activated carbon prepared from agricultural waste. *Chemical Engineering Journal*, 189-190, 203–212.
4. P. González-García, T.A. Centeno, E. Urones-Garrote, D. Ávila-Brandé, L.C. Otero-Díaz. (January 2013). Microstructure and surface properties of lignocellulosic-based activated carbons. *Applied Surface Science*, 265, 731–737
5. Fuente: SIAP-SAGARPA, www.siap.gov.mx/cierre_de_la_producción_agricola_por_cultivo
6. G. Durán-Jiménez, V. Hernández-Montoya, M.A. Montes-Morán, A. Bonilla-Petriciolet, N.A. Rangel-Vázquez. (15 November 2014). Adsorption of dyes with different molecular properties

- on activated carbons prepared from lignocellulosic wastes by Taguchi method. *Microporous and Mesoporous Materials*, 199, 99–107
7. OA Ioannidou, AA Zabaniotou, GG Stavropoulos, MA Islam, TA Albanis. (January 2010). Preparation of activated carbons from agricultural residues for pesticide adsorption. *Chemosphere*, 80, 1328-1336
 8. Martín López-Hernández, María Guadalupe Ramos-Espinosa y Jorge Carranza-Fraser. (Abril 2007). Análisis multimétrico para evaluar contaminación en el río Lerma y lago de Chapala, México. *Hidrobiológica* 2007, 17, 17-30

PLANTILLA INTELIGENTE PARA LA MEDICIÓN DE PRESION PLANTAR, PARA PREVENCIÓN DE ULCERACIÓN EN PIE DIABÉTICO Y PIE DE CHARCOT

Elvia Mariel Mendoza Ramírez¹, Rosario Baltazar², Arnulfo Alanis³, Miguel Ángel Casillas⁴

¹Instituto Tecnológico de León, ²Instituto Tecnológico de Tijuana .
elviamari96@gmail.com, rosario.baltazar@leon.tecnm.mx

RESUMEN

La diabetes mellitus es una enfermedad que padecen alrededor de ocho millones 600 mil personas en México, según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2018 publicada por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía [1]; así mismo, la diabetes fue la segunda causa de muerte a nivel nacional en 2019, pues cobró la vida de 104 mil 354 personas. Las complicaciones debido a la diabetes tuvieron un incremento, las amputaciones en miembro inferior un 2 %, la artropatía de Charcot se desarrolló en el 1% y las ulceraciones en pie con estas 2 patologías aumentaron el 7.2%. Estas estadísticas aún son deficientes ya que esta patología es subdiagnosticada y tratada por distintos profesionales de la salud. [2].

La amputación o aparición de úlceras en el miembro inferior es una gran limitante para el día a día de las personas con estas patologías, y la mayoría de las veces se producen gracias a la falta de prevención y tratamientos asertivos, por un diagnóstico poco eficiente.

Hoy en día existen distintos aditamentos y herramientas para el diagnóstico de estas patologías, sin embargo, muchas de ellas aún no se encuentran a la mano de los profesionales de la salud y con las que se cuentan, solo nos permiten observar y valorar en forma estática, lo que nos brinda un tratamiento deficiente. Además los aditamentos usados para dichos tratamientos no son personalizados de acuerdo a la anatomía y grado de patología en cada paciente ya que no se cuenta con equipos que le permitan al médico realizar una evaluación y diagnóstico adecuado y que permita evaluar al paciente de forma dinámica, lo que a su vez , impide, la realización de un aditamento específico para su tratamiento que ayude a el paciente a realizar de forma correcta y natural una buena biomecánica de la marcha, y debido a estos tratamientos parciales, llegan complicaciones que terminan en pérdida del miembro [3].

Por ello, en este trabajo se presenta el diseño y desarrolló de una plantilla inteligente, que nos permita medir la presión de forma dinámica en puntos específicos en la planta del pie, colocando sensores de presión en zonas con un mayor porcentaje de incidencia, y así obtener un diagnóstico confiable y con ello conseguir un tratamiento eficaz.

Se realizaron distintas pruebas en pacientes sanos, pacientes con pie diabético y pacientes con ulceraciones, midiendo así las presiones que se generaban de manera estática y dinámica siguiendo un protocolo establecido para obtener un análisis confiable.

Con estas pruebas pudimos observar la presión ejercida en las zonas establecidas, y así visualizar el cambio que se producía cuando se medía de forma estática y cuando se realizaron las pruebas de forma dinámica. Al realizar un ciclo de marcha en modo dinámico las presiones se distribuyen de manera distinta lo que nos permite observar realmente que zona es más propensa en la vida diaria del paciente de sufrir la afectación que queremos prevenir, y así el médico puede brindar un diagnóstico eficaz y con ello un tratamiento asertivo.

INTRODUCCIÓN

La diabetes se encuentra entre una de las primeras causas de muerte en México. Uno de cada once adultos padece diabetes según la FEDERACIÓN INTERNACIONAL DE DIABETES (IDF). De acuerdo a un estudio con 2067 pacientes diabéticos tipo 2, en 7 unidades diferentes de medicina familiar, un 57.6% del total cuenta con ulceración y complicaciones severas en estas, debido a un mal tratamiento o falta de él, así como un uso inadecuado de aditamentos, así mismo el 2.5 % del total sufre de amputación del miembro inferior. (seguro social). Dentro de la presentación de úlceras en este 57.7% de la población existen diferentes tipos de úlceras correspondientes a las complicaciones de la diabetes y pie de charcot. Podemos clasificarlas en tres tipos las neuropáticas abarcan del 45 al 60% de las úlceras presentadas, después tenemos las neuro isquémicas que comprenden de un 25 a 45% y las isquémicas abarcando de un 10 a 15 %. Por otro lado, tenemos

las úlceras producidas por insuficiencia vascular las cuales no incluimos en nuestra clasificación que únicamente producen menos el 10 % del total de las úlceras comunes.

Úlceras neuropáticas: Se presentan en un punto de presión de deformación del pie, localizadas de manera dominante en primer y quinto metatarso, están caracterizadas por su forma redondeada callosidad y son indoloras.



Figura 1. Paciente con úlcera neuropática Academia Biomédica Digital, “Evaluación y exploración clínica del pie diabético”

Úlcera neuro isquémica: Una úlcera neuro-isquémica se presenta debido a la disminución sanguínea, son dolorosas y se presentan en zonas de fricción. Se presentan en el primer dedo, quinto metatarso y talón usualmente.

Existen diferentes escalas para clasificar las úlceras debido al pie diabético, y sin duda una de las más usadas es la escala de Wagner-Merrit.

El tratamiento debe ser multidisciplinar y llevado a cabo con mucho cuidado por el profesional de la salud, este consiste en diversos pasos.

1. Limpieza para evitar la infección y ayudar a la cicatrización.
2. El desbridamiento de detritus, esfacelos o necrosis como apoyo a la limpieza para evitar la infección y ayudar a la cicatrización.
3. Utilización de fármacos dependiendo la herida.

Lo más importante del tratamiento es lograr la cicatrización y evitar a toda costa mayores complicaciones, infecciones, entre otras situaciones que causen la intervención quirúrgica e incluso una amputación.

La presentación de diabetes en la población es un tema preocupante ya que, debido a las complicaciones de esta, la calidad de vida de la persona disminuye, así como su estilo de vida se ve afectada de manera significativa en sus rutinas diarias.

Un punto muy importante es la diabetes en el trabajador que es sustento de su familia ya que esta influye en distintos aspectos como:

- En la limitación de sus capacidades parcialmente por causas cardiovasculares, neurológicas, visuales o físicas.
- Aumentando el riesgo de sufrir un accidente laboral debido a una crisis hipoglucémica.
- Aumentando el riesgo de sufrir complicaciones en sus enfermedades debido a las actividades desempeñadas entre otras.

Por lo que el diagnóstico a tiempo, prevención y buen tratamiento de esta enfermedad es esencial para un desempeño laboral óptimo, así como para una calidad de vida buena.

TEORÍA

Obtener los parámetros en tiempo real, así como en manera dinámica de la presión ejercida al caminar por el paciente, le permitirá al médico tener un panorama más amplio del problema, así como un mejor diagnóstico, mismo que le ayudará para contribuir con datos al especialista para el desarrollo personalizado del aditamento necesario para cada paciente recomendado por el médico.

PARTE EXPERIMENTAL

Para el desarrollo y planteamiento de prueba primero se llevó a cabo un diagrama del funcionamiento total del proyecto.

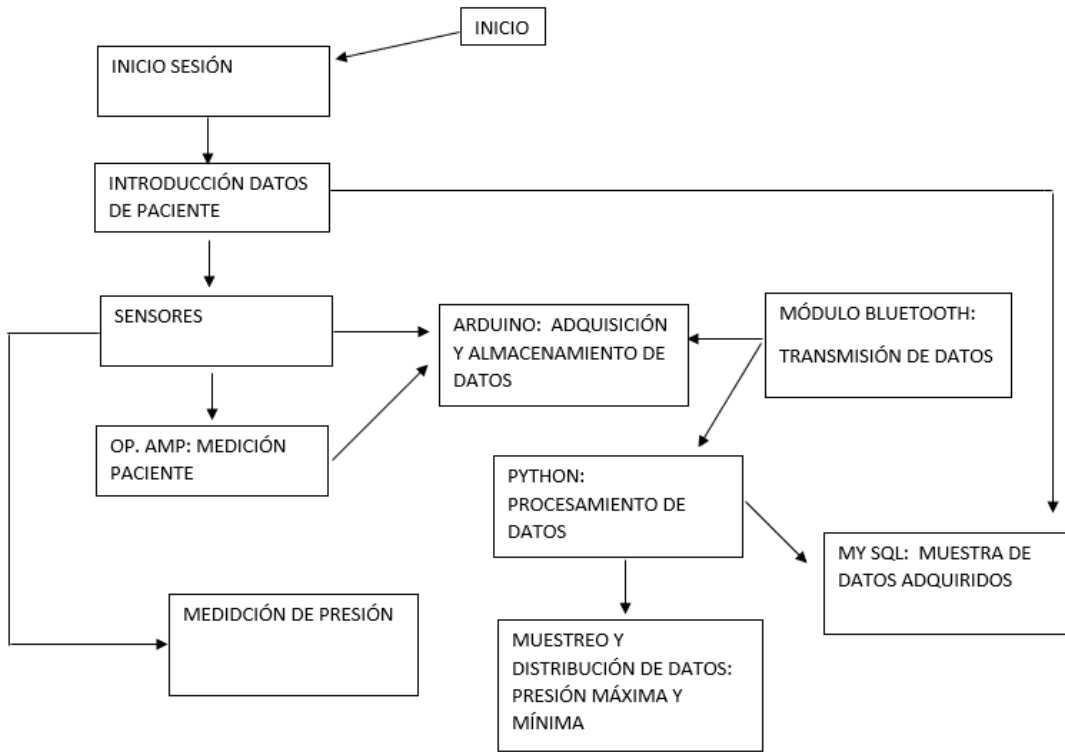


Figura 2. Diagrama funcionamiento general proyecto

Después de esto se realizaron los distintos programas y aditamentos para poner en marcha el proyecto. Se inició con la elaboración del programa en Arduino el cual nos mide y registra los valores recibidos por los sensores de presión.

```

int pin1=1;
float a1=0.0;
float a2=0.0;
float a3=0.0;
float a4=0.0;
double kg1=0.0;
float kg2=0.0;
float kg3=0.0;
float kg4=0.0;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
}

void loop() {
  a1 = analogRead(A1);
  a2 = analogRead(A2);
  a3 = analogRead(A3);
  a4 = analogRead(A4);
  a1 = (a1*5.0)/1024.0;
  a2 = (a2*5.0)/1024.0;
  a3 = (a3*5.0)/1024.0;
  a4 = (a4*5.0)/1024.0;
  if(a1 > 0){
    kg1 = 300.87*pow(a1,3) - 805.34*pow(a1,2) + 662.36*a1 - 37.516;
  }
  if(a2 > 0){
    kg2 = 300.87*pow(a2,3) - 805.34*pow(a2,2) + 662.36*a2 - 37.516;
  }
}
    
```

Figura 3. Programación en Arduino

Después de esto se realizó la base de datos en RemoDB con SQL para el guardado de datos, e inicio de sesión.

Al tener los programas listos, se realizó el modelado de la plantilla para su impresión 3D utilizando MAYA.

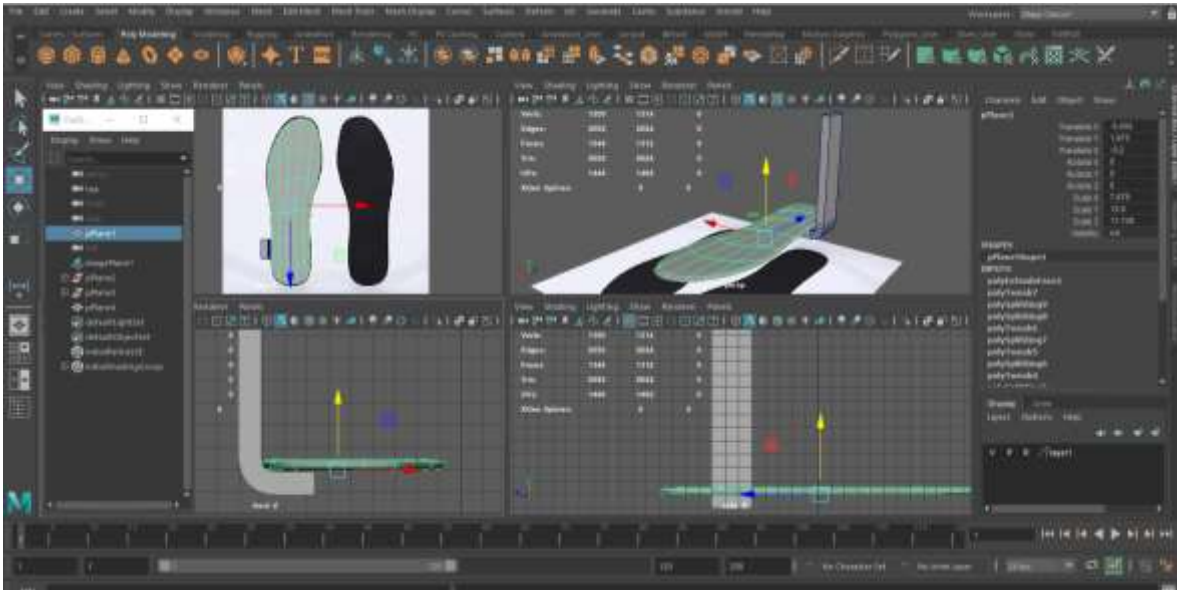


Figura 4. Modelado de plantilla en MAYA

Al tener todo esto armado se hicieron las pruebas. Para llevar a cabo las pruebas vamos a medir en 4 sujetos, mismos que su número de calzado debe ser de 24 a 25 cm debido al tamaño de la plantilla.

Estos sujetos usaron la plantilla y se realizaron tres tipos de pruebas

PRUEBA 1: El sujeto descalzo usará la plantilla y se mantendrá de forma estático por 1 minuto.

PRUEBA 2: El sujeto realizara un ciclo de marcha, es decir caminará por un minuto descalzo.

PRUEBA 3: El sujeto realizara un ciclo de marcha, es decir caminará por un minuto, pero esta vez usando calzado, la plantilla se colocará dentro del zapato.

Tomando en cuenta esto, para la colocación de los sensores nos basamos en el 4to patrón ya que distintos registros marcan el mayor número de incidencia de ulceración en esos puntos.

Tabla 1. Indicador de colocación se sensores

SENSOR 1	CALCANEAO
SENSOR 2	5° METATARSO
SENSOR 3	4° METATARSO
SENSOR 4	DEDO GORDO

Para terminar, se realizó el diseño para las pruebas, tomando en cuenta la presión máxima y mínima en cada sensor y al final de este un promedio

PACIENTE 1

PRUEBA 1

	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
P. MÁXIMA				
P. MÍNIMA				
P. PROM				

PRUEBA 2

	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
P. MÁXIMA				
P. MÍNIMA				
P. PROM				

PRUEBA 3

	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
P. MÁXIMA				
P. MÍNIMA				
P. PROM				

RESULTADOS

Se realizaron las pruebas antes mencionadas en 4 pacientes obteniendo las presiones de cada sensor en las distintas pruebas

Tabla 2. Resultados de las 3 pruebas en paciente con pie diabético controlado.

PACIENTE 1	PRUEBA 1				PRUEBA 2				PRUEBA 3			
	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
1	9.367907	119.095	17.645	279.707	9.904	35.955	26.833	397.114	17.672	32.420	44.242	274.653
2	101.0203	56.975	42.432	278.043	88.787	41.370	27.452	256.530	19.844	11.415	2.103	156.796
3	85.69054	56.219	48.573	560.615	24.717	81.765	2.150	323.117	26.928	60.031	20.428	140.737
4	65.81146	13.678	48.682	259.356	22.879	59.341	12.842	82.791	20.260	34.491	63.792	296.603
5	112.637	52.328	66.722	122.383	13.342	71.942	4.135	308.309	22.661	26.839	58.169	162.931
6	96.38862	48.197	53.436	408.385	64.176	39.179	26.251	263.845	13.292	61.995	49.133	318.443
7	38.50359	30.346	34.483	458.842	34.652	71.722	29.631	166.661	17.804	70.256	36.845	580.515
8	31.83613	21.717	52.081	501.765	15.980	21.892	19.708	202.790	2.693	64.635	45.411	102.927
9	93.63568	40.804	63.560	102.168	73.688	18.510	24.854	285.798	16.569	26.824	17.320	100.585
10	67.41991	35.338	47.943	421.837	40.479	26.563	34.130	139.210	12.990	7.055	48.670	498.416
11	1.40817	38.982	69.166	149.630	77.967	102.095	26.824	112.125	24.736	15.103	64.899	552.617
12	114.2264	53.227	47.227	249.502	96.861	60.868	20.327	91.781	31.505	52.101	58.450	30.774
13	98.79418	41.257	50.824	148.664	71.118	109.204	9.234	115.274	25.858	35.158	52.932	337.435
14	46.19091	104.081	58.185	439.273	9.643	1.276	4.495	337.136	16.759	54.870	29.531	131.864
15	103.0189	92.057	33.958	504.234	36.827	2.391	3.563	332.133	7.926	35.559	37.948	512.663
16	38.59835	125.085	56.083	192.682	90.019	11.622	3.338	329.034	16.543	35.409	56.500	503.104
17	88.37308	54.787	65.266	462.688	19.330	99.205	21.525	163.874	46.977	104.222	56.934	327.326
18	98.19994	108.961	40.281	359.479	33.229	123.673	53.178	86.282	41.441	101.491	57.528	94.100
19	40.92201	99.992	47.471	151.475	110.866	68.167	21.002	251.544	25.628	95.672	2.761	290.559
20	58.17521	92.505	35.451	161.601	50.483	46.073	69.819	11.448	58.104	79.940	47.365	91.930
21	19.74873	165.351	67.662	591.664	35.922	16.007	45.239	506.422	51.581	18.310	14.867	124.667
22	45.75416	74.630	73.492	433.457	102.243	4.242	41.412	110.290	49.774	26.276	58.927	79.132
23	115.831	102.360	50.788	169.351	21.485	78.911	39.646	298.190	4.269	103.523	35.524	189.581
24	73.91681	81.194	46.527	234.404	47.967	118.162	8.938	196.492	52.968	58.903	42.253	289.711
25	38.8472	73.138	73.715	180.734	90.063	66.127	57.952	295.394	94.924	119.128	2.745	452.427
26	106.5049	77.426	34.131	115.541	50.920	22.219	62.931	442.969	30.723	9.698	50.348	376.135
27	112.0113	105.608	39.373	573.904	74.013	28.441	17.963	183.192	99.856	90.677	70.543	388.864
28	45.96285	68.206	53.313	331.778	13.151	21.974	32.352	291.012	51.209	67.369	51.778	309.275
29	87.37509	95.253	55.675	175.135	64.702	121.493	48.029	189.938	40.860	10.101	5.918	285.249
30	32.42299	74.319	72.542	301.326	51.597	105.115	43.115	188.286	4.835	124.290	65.890	442.224
31	3.376374	84.178	35.273	468.865	42.820	130.604	35.538	486.537	45.004	113.791	41.048	20.161
32	24.96319	118.491	41.361	378.309	20.515	56.712	16.773	23.054	17.220	105.007	64.916	477.775

Tabla 3. Resultados de las 3 pruebas en paciente con pie diabético no controlado.

PACIENTE 1 TIEMPO / s	PRUEBA 1				PRUEBA 2				PRUEBA 3			
	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
1	3.22938	61.939	39.042	408.185	88.689	104.298	25.507	88.678	32.512	47.494	27.471	347.683
2	0.469	21.024	48.025	488.532	12.294	67.295	16.192	294.989	12.204	78.479	24.401	137.666
3	86.432	53.976	51.493	435.041	48.382	51.938	27.462	113.264	12.656	13.066	73.499	262.041
4	88.967	16.072	31.526	363.691	59.864	113.640	24.340	51.870	23.070	25.489	25.413	572.332
5	90.578	32.135	64.290	226.983	90.923	69.897	19.698	203.460	7.810	8.757	34.829	551.322
6	92.316	43.234	66.520	153.541	15.952	4.546	25.858	41.724	25.373	61.784	68.192	183.219
7	93.892	46.662	46.486	282.415	26.614	96.153	0.556	120.293	9.788	62.241	69.245	37.877
8	96.214	26.826	34.736	338.422	43.280	29.854	14.797	20.785	2.695	68.945	31.580	554.604
9	97.621	47.015	30.340	514.191	40.095	73.288	15.172	280.364	39.990	78.130	28.520	378.353
10	98.973	56.316	70.388	358.347	79.985	99.431	1.577	274.491	2.701	78.119	25.639	164.980
11	99.314	20.458	43.898	184.365	29.783	66.026	0.763	273.476	19.477	47.944	41.603	430.857
12	100.371	19.315	37.553	443.625	21.267	4.454	3.762	101.299	16.612	67.191	30.881	225.852
13	101.986	24.724	48.955	395.922	61.714	114.650	3.697	20.815	2.924	62.059	46.229	439.012
14	102.354	82.284	72.260	225.664	87.965	51.971	16.752	245.997	36.616	12.327	4.585	1.281
15	103.689	5.776	60.769	156.258	29.428	105.041	3.806	184.805	12.832	25.537	19.498	413.767
16	104.234	48.856	50.312	308.347	37.039	1.255	14.902	48.437	94.216	4.871	15.708	495.841
17	105.365	41.701	70.518	411.570	60.659	21.125	23.069	53.048	59.290	8.879	23.471	341.504
18	106.765	128.976	66.834	538.962	84.363	142.424	59.982	408.070	91.616	85.018	71.306	429.285
19	106.782	62.109	67.701	152.050	100.746	115.979	41.393	273.775	63.197	0.883	69.529	169.539
20	106.803	102.894	57.531	248.551	83.208	113.737	11.466	346.897	54.475	0.487	24.984	562.493
21	106.857	137.867	32.988	448.171	44.983	67.015	61.886	408.505	63.657	20.820	20.968	442.247
22	106.903	61.297	67.224	371.826	50.180	31.963	29.023	441.121	47.490	23.317	67.737	19.040
23	106.946	82.963	30.712	231.999	116.682	59.674	25.345	178.318	1.572	11.010	25.666	394.475
24	106.987	96.662	73.278	521.411	50.587	80.783	1.881	563.853	59.650	126.257	20.841	555.140
25	107.243	76.600	52.078	505.632	92.711	64.410	55.186	549.411	46.646	98.900	21.430	174.242
26	108.987	79.677	43.321	459.673	65.608	43.785	62.607	4.145	27.409	87.500	24.616	41.548
27	109.276	89.487	61.121	294.421	33.210	57.438	53.250	171.505	55.994	50.662	41.836	143.640
28	110.654	93.538	41.726	150.941	38.573	125.578	27.874	527.813	27.865	127.749	44.240	557.074
29	113.789	94.646	56.715	565.680	64.449	26.998	43.302	72.156	73.146	44.801	37.545	404.837
30	116.871	107.197	40.074	462.623	116.718	75.927	7.161	499.661	93.711	109.215	39.168	246.120

Tabla 4. Resultados de las 3 pruebas en paciente con úlcera en 4to metatarso.

PACIENTE 1 TIEMPO / s	PRUEBA 1				PRUEBA 2				PRUEBA 3			
	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
1	74.51499	28.136	1.829	311.092	74.878	32.036	60.605	365.049	102.877	69.619	68.121	84.182
2	0.372264	67.399	33.186	74.470	5.021	80.258	14.203	264.819	31.457	58.178	44.446	578.860
3	1.049937	39.401	2.760	207.789	43.374	30.829	15.668	298.041	34.475	49.760	30.980	329.729
4	114.0322	58.736	13.110	40.827	30.441	45.934	25.900	92.381	6.533	57.535	23.269	97.617
5	112.4393	40.746	47.487	406.646	8.354	67.644	6.296	7.161	13.621	36.860	30.485	312.142
6	43.51351	104.762	12.072	408.400	17.460	51.962	26.612	326.308	29.690	32.611	28.583	238.851
7	18.46899	74.589	25.506	165.577	13.629	27.820	12.470	344.578	6.460	55.932	17.070	51.300
8	65.6631	123.015	27.937	34.103	21.783	18.159	2.889	274.997	34.392	46.684	58.431	449.689
9	33.30363	126.289	9.077	163.421	56.280	96.029	14.210	67.234	28.301	15.131	29.894	137.313
10	116.0679	51.014	33.170	194.872	15.072	51.942	25.036	186.329	16.826	73.683	6.229	38.417
11	58.13286	155.189	62.147	427.503	81.922	36.188	15.041	154.581	16.467	56.906	14.706	209.922
12	32.63094	23.790	19.572	11.367	42.071	65.321	18.698	219.441	17.185	49.048	49.875	22.217
13	109.6531	47.533	55.455	489.692	8.848	76.664	29.014	258.176	9.143	68.256	4.032	295.523
14	27.28216	146.124	24.055	219.013	46.210	66.220	0.481	188.561	27.885	37.186	52.867	54.435
15	75.96887	92.220	20.756	40.303	112.447	22.110	11.447	104.920	39.996	33.813	69.136	60.023
16	120.8888	140.317	65.386	59.112	24.955	55.807	22.220	243.443	76.393	86.772	16.617	351.113
17	104.0277	59.942	7.164	336.288	35.079	94.722	24.970	170.577	55.248	48.229	63.951	290.553
18	135.8791	78.381	66.991	115.515	113.201	40.737	17.387	139.555	72.083	24.124	42.120	508.230
19	29.46703	17.324	57.552	360.702	20.581	84.020	41.795	522.202	26.558	20.455	74.352	441.850
20	115.2185	111.062	65.336	267.434	46.750	5.347	50.940	445.470	47.559	36.743	36.709	270.298
21	137.9806	152.464	53.096	182.194	103.203	47.900	43.440	358.847	93.021	109.215	69.925	41.475
22	100.3739	101.065	3.664	343.820	30.346	42.867	26.781	501.042	56.856	67.284	23.604	412.924
23	60.68171	111.285	10.902	318.576	2.011	111.487	0.269	356.619	11.864	65.550	6.327	105.886
24	134.6379	94.062	45.969	147.203	40.879	59.194	30.251	333.780	83.209	70.407	31.620	328.794
25	10.1871	110.458	3.453	188.744	1.804	154.229	1.285	26.374	63.055	29.091	68.650	389.492
26	11.58023	131.396	34.713	353.707	77.531	97.253	19.435	319.404	98.473	104.034	18.397	574.249
27	55.79642	45.845	57.854	361.187	118.368	85.396	66.293	273.403	50.465	29.446	4.755	168.485
28	26.81019	38.586	5.449	375.860	57.363	81.201	66.174	107.176	38.405	80.486	22.912	10.411
29	124.6792	155.233	32.473	15.443	32.100	113.663	37.598	512.512	45.216	77.801	0.804	199.593
30	32.25979	41.618	65.870	379.375	76.783	42.582	4.112	154.658	78.724	7.537	53.449	499.381

Tabla 5. Resultados de las 3 pruebas en paciente con úlcera en 4to metatarso

PACIENTE 1	PRUEBA 1				PRUEBA 2				PRUEBA 3			
	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
1	43.0597	49.465	69.805	120.549	60.635	50.930	23.944	536.184	27.853	14.376	40.158	525.457
2	78.35378	41.400	37.274	219.196	24.858	49.578	28.954	96.021	9.003	61.876	3.336	13.154
3	108.4536	12.823	61.639	141.891	12.405	27.699	24.312	229.710	36.232	76.956	66.894	109.578
4	83.29529	26.977	50.234	414.354	68.622	101.396	29.902	100.682	6.185	64.663	50.931	145.158
5	42.11458	41.108	42.906	450.648	15.403	33.608	0.492	259.187	10.546	69.530	62.174	88.089
6	16.25436	42.437	60.686	105.063	5.758	94.630	5.430	226.953	33.397	21.850	20.014	583.008
7	3.404958	36.084	66.427	199.924	4.110	102.052	24.294	37.251	25.748	75.783	22.143	223.631
8	35.79318	11.513	72.593	396.459	6.799	22.282	11.474	2.977	27.547	53.505	3.347	302.237
9	96.06277	35.592	70.427	586.662	44.679	112.747	18.200	276.951	29.017	70.084	65.600	182.957
10	77.40293	13.746	36.987	596.816	24.400	54.482	15.090	290.529	29.989	62.750	64.756	414.832
11	59.5944	17.592	66.379	109.375	75.777	60.678	10.811	279.116	17.213	50.259	8.318	348.118
12	53.69434	20.879	71.843	549.226	18.042	48.677	25.552	105.415	26.401	84.698	22.486	106.667
13	74.98132	50.551	64.035	274.653	116.942	39.501	16.663	314.247	10.388	64.585	34.638	74.666
14	63.31342	104.266	32.452	599.045	94.825	8.985	25.511	99.347	36.093	73.166	70.642	171.421
15	89.88908	77.465	68.586	472.501	106.766	91.588	2.848	166.607	19.607	52.002	10.651	116.848
16	93.89845	135.068	60.226	475.156	8.460	25.141	9.695	22.681	15.776	96.807	4.923	419.772
17	112.203	114.568	69.107	248.823	73.058	10.985	12.577	37.911	35.695	50.448	56.795	121.509
18	6.449861	64.700	74.503	535.817	94.721	131.682	41.448	516.390	79.538	78.374	66.428	260.897
19	24.80072	109.428	54.819	519.052	3.346	144.751	18.718	31.218	65.394	20.089	15.577	249.326
20	1.148921	108.888	67.832	180.749	74.077	50.418	29.072	488.947	83.879	81.756	11.126	558.150
21	123.7916	132.324	68.368	182.310	103.372	16.021	22.207	411.790	10.107	73.894	34.947	483.265
22	45.95688	85.074	72.255	174.439	27.368	108.915	68.845	215.630	15.186	117.902	25.978	80.082
23	69.91903	105.499	55.975	208.262	25.722	49.035	45.410	292.258	79.755	99.396	74.869	476.417
24	10.35314	83.071	74.615	192.276	16.856	85.533	51.559	177.934	81.627	87.739	72.985	22.794
25	129.6088	62.119	32.209	261.095	8.789	95.576	68.075	346.582	33.518	5.638	20.324	14.181
26	75.16681	61.713	31.339	595.213	59.706	69.467	68.670	446.169	3.836	103.450	3.443	260.051
27	51.85606	94.939	67.305	290.800	93.562	28.346	24.974	464.309	18.515	75.070	24.495	30.227
28	81.02336	78.916	63.399	159.993	41.178	115.053	2.308	352.679	62.447	23.466	33.627	454.925
29	59.81113	105.253	61.420	105.601	27.528	52.388	42.437	72.149	95.192	1.060	49.319	574.488
30	84.04862	105.757	65.179	457.525	4.936	103.397	2.809	363.691	27.123	110.169	35.038	117.092

Tabla 6. Resultados de las 3 pruebas en paciente con úlcera en calcáneo

PACIENTE 1	PRUEBA 1				PRUEBA 2				PRUEBA 3			
	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4	SENSOR 1	SENSOR 2	SENSOR 3	SENSOR 4
1	43.0597	49.465	69.805	120.549	60.635	50.930	23.944	536.184	27.853	14.376	40.158	525.457
2	78.35378	41.400	37.274	219.196	24.858	49.578	28.954	96.021	9.003	61.876	3.336	13.154
3	108.4536	12.823	61.639	141.891	12.405	27.699	24.312	229.710	36.232	76.956	66.894	109.578
4	83.29529	26.977	50.234	414.354	68.622	101.396	29.902	100.682	6.185	64.663	50.931	145.158
5	42.11458	41.108	42.906	450.648	15.403	33.608	0.492	259.187	10.546	69.530	62.174	88.089
6	16.25436	42.437	60.686	105.063	5.758	94.630	5.430	226.953	33.397	21.850	20.014	583.008
7	3.404958	36.084	66.427	199.924	4.110	102.052	24.294	37.251	25.748	75.783	22.143	223.631
8	35.79318	11.513	72.593	396.459	6.799	22.282	11.474	2.977	27.547	53.505	3.347	302.237
9	96.06277	35.592	70.427	586.662	44.679	112.747	18.200	276.951	29.017	70.084	65.600	182.957
10	77.40293	13.746	36.987	596.816	24.400	54.482	15.090	290.529	29.989	62.750	64.756	414.832
11	59.5944	17.592	66.379	109.375	75.777	60.678	10.811	279.116	17.213	50.259	8.318	348.118
12	53.69434	20.879	71.843	549.226	18.042	48.677	25.552	105.415	26.401	84.698	22.486	106.667
13	74.98132	50.551	64.035	274.653	116.942	39.501	16.663	314.247	10.388	64.585	34.638	74.666
14	63.31342	104.266	32.452	599.045	94.825	8.985	25.511	99.347	36.093	73.166	70.642	171.421
15	89.88908	77.465	68.586	472.501	106.766	91.588	2.848	166.607	19.607	52.002	10.651	116.848
16	93.89845	135.068	60.226	475.156	8.460	25.141	9.695	22.681	15.776	96.807	4.923	419.772
17	112.203	114.568	69.107	248.823	73.058	10.985	12.577	37.911	35.695	50.448	56.795	121.509
18	6.449861	64.700	74.503	535.817	94.721	131.682	41.448	516.390	79.538	78.374	66.428	260.897
19	24.80072	109.428	54.819	519.052	3.346	144.751	18.718	31.218	65.394	20.089	15.577	249.326
20	1.148921	108.888	67.832	180.749	74.077	50.418	29.072	488.947	83.879	81.756	11.126	558.150
21	123.7916	132.324	68.368	182.310	103.372	16.021	22.207	411.790	10.107	73.894	34.947	483.265
22	45.95688	85.074	72.255	174.439	27.368	108.915	68.845	215.630	15.186	117.902	25.978	80.082
23	69.91903	105.499	55.975	208.262	25.722	49.035	45.410	292.258	79.755	99.396	74.869	476.417
24	10.35314	83.071	74.615	192.276	16.856	85.533	51.559	177.934	81.627	87.739	72.985	22.794
25	129.6088	62.119	32.209	261.095	8.789	95.576	68.075	346.582	33.518	5.638	20.324	14.181
26	75.16681	61.713	31.339	595.213	59.706	69.467	68.670	446.169	3.836	103.450	3.443	260.051
27	51.85606	94.939	67.305	290.800	93.562	28.346	24.974	464.309	18.515	75.070	24.495	30.227
28	81.02336	78.916	63.399	159.993	41.178	115.053	2.308	352.679	62.447	23.466	33.627	454.925
29	59.81113	105.253	61.420	105.601	27.528	52.388	42.437	72.149	95.192	1.060	49.319	574.488
30	84.04862	105.757	65.179	457.525	4.936	103.397	2.809	363.691	27.123	110.169	35.038	117.092

CONCLUSIONES

Durante las pruebas realizadas pudimos observar comportamientos distintos en los sensores, es decir cambios de presiones significantes. Cada valor obtenido dependía del tipo de prueba, de la persona y el tipo de padecimiento, lo que nos permite determinar efectivamente que no se puede dar el mismo tratamiento a diferente persona. Es necesario realizar una evaluación en los ciclos y obtener los distintos momentos de la marcha llevados a cabo, así como es importante dar un seguimiento y estar pendiente a un cambio de presión que pueda surgir para que así con esto se puedan prevenir y solucionar posibles úlceras.

BIBLIOGRAFÍA

1. INEGI
2. Vázquez Castellanos, José Luis, & Panduro Cerda, Arturo (2001). Diabetes mellitus tipo 2: un problema epidemiológico y de emergencia en México. *Investigación en Salud*, III(99), 18-26.
3. Buenaventura, E.C.(2019). Complicaciones según la escala de Wagner.Merrit, en pacientes con complicaciones vasculares periféricas. Universidad de Guayaquil, 37-48.
4. Ogurtsova, K., da Rocha Fernandes, J. D., Huang, Y., Linnenkamp, U., Guariguata, L., Cho, N. H., ... & Makaroff, L. E. (2019). IDF Diabetes Atlas: Global estimates for the prevalence of diabetes for 2015 and 2040. *Diabetes research and clinical practice*, 128, 40-50.
5. Francisco Javier Aragón Sánchez, P.P. (2000). Evaluación y exploración clínica del pie diabético. *Dialnet*. 20-25
6. Geografía, I.N. (2019). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición. Informe operativo y de procesamiento. 2018. 20-35
- 7.

SISTEMA DE CARACTERIZACIÓN Y MEDICIÓN DE GASES DE EFECTO INVERNADERO: CO₂

Oscar Méndez Zepeda¹, Argelia Ríos Posada², Narcizo Muñoz Aguirre³, Leonardo San Luis Silvestre⁴, José Héctor Picazo Herrera⁵, Cesar Artemio Rosas-Reyna⁶

^{1,2}Benemérita Universidad Autónoma de Puebla-Preparatoria Emiliano Zapata, ^{3,4,5,6}Instituto Politécnico Nacional-Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco
oscar.mendezze@correo.buap.mx

RESUMEN

El efecto invernadero es importante para la vida en la Tierra y ocurre de manera natural, regulando la temperatura. Si este no existiera, la temperatura sería menor a -18 °C; sin embargo, el aumento de este efecto se considera negativo, lo cual, ha sucedido principalmente debido al incremento de las emisiones antropogénicas, provenientes de deforestaciones, quema de combustibles fósiles, actividades industriales, por mencionar algunas. En este trabajo se utilizó la tecnología como un medio de persuasión ambiental para concientizar a la población en la importancia de la reducción de los gases de efecto invernadero. El sistema consta principalmente de una interfaz gráfica y una tarjeta de adquisición de datos. La interfaz gráfica se diseñó en Python, la cual, además de mostrar las mediciones de CO₂, temperatura y humedad en una gráfica, también se emplea para la caracterización de las mediciones de sensores de CO₂, así como las condiciones de temperatura y humedad en las que operan los sensores, estas caracterizaciones se emplearán para el diseño de sistemas portátiles de monitoreo de gases de efecto invernadero y así contribuir a una concientización de la población en la disminución de dichos gases. La interfaz utiliza el protocolo de comunicación RS-232, para la adquisición de datos de medición de CO₂, humedad y temperatura. La tarjeta de adquisición de datos que se diseñó consta de un sensor de CO₂ con una señal de salida analógica, con un rango de medición de 0 a 5,000 ppm, un sensor de humedad y temperatura SHT10 que operan en rangos de operación de 0 a 100% y de -40 °C a 123.8 °C, respectivamente, las señales de los sensores son procesadas digitalmente empleando un microcontrolador PIC16F88. Se realizaron mediciones en dos puntos de la CDMX, en Escuela Superior de Computación (ESCOM) y en Sección de Estudios de Posgrado e Investigación, Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Unidad Azcapotzalco (SEPI ESIME UA), en ambos casos las lecturas se encuentran dentro de los rangos reportados por la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA), las mediciones promedio encontradas en SEPI ESIME UA fueron de 450 ppm de CO₂ en contraste con las encontradas en ESCOM con un valor promedio de 350 ppm, esto se debe a que en esta última zona existe una menor afluencia de vehículos.

INTRODUCCIÓN

Los gases contaminantes debido a su origen pueden clasificarse en naturales y antropogénicos, estos últimos se desprenden de actividades industriales, comerciales y otra parte se debe al uso de vehículos para el transporte público o privado. A pesar de que el porcentaje de los gases contaminantes es muy bajo en comparación con otros componentes de la atmósfera (nitrógeno 78%, oxígeno 21% y los gases de efecto invernadero 1%), es su permanencia en el medio ambiente y las concentraciones, lo que afecta de manera importante el cambio climático teniendo como escenario futuro la acidificación de mares y océanos [1]. Esto debido a que, en los últimos 150 años, la concentración de CO₂ en la atmósfera ha aumentado de 280 ppm a 400 ppm [2]. Por lo cual, es vital concientizar a la población en la importancia de la reducción de dichos gases, por lo que en este trabajo se propone utilizar a la tecnología como un medio para fomentar la importancia de reducir dichas emisiones. Se propone el diseño de un sistema electrónico basado en un microcontrolador de Microchip PIC16F88, que mida las concentraciones de CO₂ en tiempo real, así como lecturas de humedad y temperatura utilizando los sensores Gravity Analog Infrared CO₂ Sensor y el sensor SHT10 de temperatura y humedad, este sistema emplea una interfaz gráfica editada en Python donde se visualizan dichas condiciones ambientales. El sistema diseñado se empleó en la medición de la concentración de CO₂ en tres puntos de la ciudad de México, y se compararon con las realizadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México (SIMAT) perteneciente

a la Secretaría del Medio Ambiente, también se compararon con las realizadas por la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA) perteneciente a la Universidad Autónoma de México (UNAM).

TEORÍA

Los gases de efecto invernadero, presentan concentraciones bajas en la atmosfera, pero atrapan la radiación teniendo como consecuencia el incremento en la temperatura del planeta [3]. Las estimaciones mundiales de emisión de CO₂ se centran en el consumo y quema de combustibles fósiles, aunque la gran parte de emisiones de gases efecto invernadero proviene del sector de energía, el aumento del parque vehicular también representa un aporte significativo, ya que solo en México en 2018 el transporte fue la fuente más contaminante después del sector de energía, emitiendo alrededor de 175 millones de toneladas de CO₂ [4], esto con 47,815, 451 vehículos de motor registrados en 2018 [5]. Razones por las cuales es necesario concientizar a la gente en la reducción de gases de efecto invernadero, para lo que se necesitan sistemas de monitoreo confiables.

El sistema propuesto en este trabajo utiliza un sensor infrarrojo no dispersivo (NDIR, por sus siglas en inglés) para detectar los cambios en las concentraciones de CO₂, que mide la concentración de gas electroópticamente debido a la absorción de una determinada longitud de onda en el infrarrojo, una de las desventajas [6] de este principio de operación es la medición de rangos altos en la concentración de CO₂, sin embargo, este sensor trabaja en un rango de 0 a 5,000 ppm evitando dicha desventaja de esa técnica, ya que el rango de interés no sobrepasa las 600 ppm. El sensor tiene un voltaje de salida analógico en un rango de 0.4 a 5.5 V cd, para digitalizar las lecturas del sensor se utiliza el conversor analógico-digital de 10 bits del microcontrolador del PIC16F88, con una resolución de 1.955 mV/bit. El microcontrolador utiliza el protocolo de comunicación RS-232, para el intercambio de datos binarios entre la tarjeta de adquisición de datos basada en el microcontrolador PIC16F88 y un equipo de cómputo, donde se grafican los datos en una interfaz gráfica editada en Python.

PARTE EXPERIMENTAL

Para la caracterización del sistema electrónico se diseñó una celda hermética de contención del gas patrón (CO₂), la cual tiene un volumen de 1 L. Dicha celda se fabricó en material de acero inoxidable para evitar la acumulación de óxido en su interior, además de que el material es inerte al CO₂. Las dimensiones de la cámara son de 7.7 cm de diámetro interior y un largo de 21 cm, la cual se muestra en la figura 1, la celda consta de dos tapas, de las cuales una tiene la entrada del gas patrón, un manómetro, y la entrada de la bomba de vacío, la otra tapa sirve de soporte para la tarjeta electrónica de adquisición de datos, la disposición de las tapas permite que el flujo de entrada del gas se dirija directamente en los sensores de CO₂, humedad y temperatura.



Figura 1. Celda para caracterización de la tarjeta de adquisición de datos.

Una vez montado el sistema se realizaron pruebas de hermeticidad generando un vacío parcial al interior de la celda, con el fin de eliminar la humedad en su interior además de asegurarse que no existan fugas, las cuales pudieran alterar las mediciones del sistema. Para lo cual se utilizó un equipo

de vacío INTERCOVAMEX TE12, dicho equipo se generó una presión aproximada de 2.5 Torr al interior de la celda, lo cual garantiza que al momento de ingresar la muestra patrón, esta no se vea alterada por la atmósfera que circunda la cámara; el montaje de la prueba de hermeticidad se



Figura 2. a) Montaje de la prueba de hermeticidad. b) Equipo de control de la bomba de vacío.

muestra en la figura 2.

Las lecturas del sistema se realizaron en la interfaz gráfica editada en Python que se muestra en la figura 3, los datos presentados en la gráfica se despliegan cada segundo, sin embargo, para lecturas en campo se puede modificar para intervalos más largos de medición.

RESULTADOS

Se realizaron mediciones en tres puntos de la Ciudad de México (figura 4), dos pertenecientes al Instituto Politécnico Nacional (Sección de Estudios de Posgrado e Investigación - ESIME Zacatenco y ESCOM - Escuela Superior de Cómputo - IPN) y la tercera en la zona poniente.

En la gráfica obtenida en el ESCOM, se muestran variaciones que van desde 100 ppm hasta 450 ppm, mostrando un intervalo casi constante de 200 ppm cuando la afluencia vehicular era reducida.

En la gráfica obtenida en el ESIME, las variaciones fueron de 200 ppm a 400 ppm, mostrando algunos intervalos de 200 ppm, aunque más cortos en comparación con los datos obtenidos en el ESCOM. Lo cual coincide con el incremento de la actividad vehicular.



Figura 3. Interfaz gráfica editada en Python para visualizar las lecturas de humedad, temperatura y la concentración en ppm de CO₂.

Por otro lado, en la gráfica obtenida en la zona poniente de la Ciudad de México se muestran lecturas con rangos más elevados, de 375 ppm a 500 ppm, donde los intervalos más bajos muestran lecturas de 400 ppm, es decir, el doble de los intervalos estables de las lecturas obtenidas en las dos localidades del IPN, lo cual se debe al mayor flujo vehicular.



Figura 4. Lecturas de las concentraciones de CO₂ en ESCOM, ESIME y la zona poniente de la Ciudad de México.

CONCLUSIONES

Con el sistema de medición se pudo comprobar que la zona con flujo vehicular constante (zona poniente) presenta un rango de 375 ppm a 500 ppm de CO₂ con intervalos estables de 400 ppm al momento de disminuir el flujo vehicular, mientras que las zonas de menor afluencia vehicular (ESCOM y ESIME) las lecturas presentan un rango de 100 ppm a 450 ppm de CO₂ con intervalos estables de 200 ppm de CO₂ cuando la afluencia vehicular disminuye.

Finalmente, se realizó una comparación entre las lecturas del sistema propuesto en el presente trabajo y las lecturas proporcionadas por el Sistema de Monitoreo Atmosférico (SIMAT) y la Red Universitaria de Observatorios Atmosféricos (RUOA), y se encontró una desviación del 15% en comparación con el SIMAT y una desviación del 5% en comparación con la RUOA.

BIBLIOGRAFÍA

1. SEMARNAT. Atmósfera. 2018. Recuperado el 30 de noviembre del 2020 de: https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/pdf/Cap5_atmosfera.pdf
2. <https://ciep.mx/cambio-climatico-y-acuerdo-de-paris-implicaciones/>
3. <https://core.ac.uk/download/pdf/33720417.pdf>
4. <https://www.greenpeace.org/mexico/blog/9386/huella-de-carbono/>
5. <https://www.inegi.org.mx/temas/vehiculos/>
6. Trieu-Vuong Dinh, In-Young Choi, Youn-Suk Son, Jo-Chun Kim, A review on non-dispersive infrared gas sensors: Improvement of sensor detection limit and interference correction, Sensors and Actuators B: Chemical, Volume 231, 2016, Pages 529-538, ISSN 0925-4005.

ESTUDIO DE LA CINÉTICA DE PRECIPITACIÓN DE LA ALEACIÓN Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) HOMOGENEIZADA A 1100°C Y ENVEJECIDA ISOTÉRMICAMENTE

Lesli J. Lozada-Hernández¹, Héctor J. Dorantes-Rosales¹, Carlos Ferreira-Palma², Víctor M. López-Hirata¹, Diego I. Rivas-López¹ y Joel Moreno-Palmerin³

¹ Instituto Politécnico Nacional, DIMM-ESIQIE, UPALM Ed. 7, Col. Zacatenco, CP. 07738, CDMX, México, ² Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Veracruz, Veracruz. ³ Universidad de Guanajuato. Metalurgia y Geología, Minas Depto. leslijlozher@gmail.com, hectordorantes@yahoo.com, carferreira@uv.mx, vmlopezh@ipn.mx, drivas.lopez.76@gmail.com, jmoreno@ugto.mx

RESUMEN

En aleaciones endurecibles por precipitación, el control microestructural ocurre por tratamientos térmicos apropiados, diseñados para obtener una distribución óptima de precipitados de una fase intermetálica coherente con una matriz dúctil¹. Un ejemplo, son las superaleaciones base níquel con presencia de precipitados ordenados γ' (tipo Ni₃Al) coherentes con la matriz, proporcionando excelentes propiedades mecánicas y estabilidad térmica a temperaturas elevadas^{2,3}. Análogamente, una superaleación base hierro para aplicaciones a altas temperaturas podría esperarse usando partículas de segunda fase con propiedades similares. Los parámetros de red de α -Fe(0.28665nm) y β -NiAl(0.28864nm) son similares². A altas temperaturas, los precipitados coherentes sufren engrosamiento, incrementando sus tamaños promedio y promoviendo una pérdida de coherencia, degradando las propiedades mecánicas de la aleación, relacionada con la cinética de engrosamiento de precipitados⁴. Así, la resistencia al engrosamiento de precipitados es clave para mantener la alta resistencia a altas temperaturas en estas aleaciones⁵. En este trabajo, se estudió la cinética de precipitación de la fase β' ((Fe,Ni)Al) en una matriz de fase α rica en Fe-Cr, en una aleación fabricada mediante fusión convencional en un mini-horno de arco eléctrico con composición Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr(%at.), homogeneizada a 1100°C por 7 días y envejecida a 850, 900 y 950°C por diferentes tiempos. La caracterización se realizó mediante microscopía electrónica de barrido de alta resolución y microscopía electrónica de transmisión. Como resultados, se encontró una distribución de tamaño de precipitados bimodal, precipitados grandes y pequeños. El análisis de resultados mostró un proceso de engrosamiento controlado por el mecanismo de difusión con dependencia lineal cercana a $t^{0.3}$. El engrosamiento de precipitados pequeños provocó un aumento en tamaño y una disminución en cantidad, lo cual promueve un aumento en la distancia libre media entre precipitados; sin embargo, los precipitados grandes, no presentaron un crecimiento y mostraron la formación de partículas de Fe en su interior. Asimismo, se encontró que la cinética de crecimiento aumenta con respecto a la temperatura de envejecido, siendo mayor a 950°C. La energía de activación fue mayor que para la reportada en la aleación Fe-10%Ni-15%Al⁶, por lo que la adición de Cr promueve una mayor resistencia al engrosamiento de precipitados. En el envejecido a 850°C, los precipitados pequeños tienen un cambio morfológico de esferas a cuboides a esferas, y a las temperaturas de 900 y 950°C, el cambio morfológico es de esferas a cuboides. El cambio a una morfología cuboidal se atribuye a las interacciones elásticas entre precipitado y matriz, mientras que la morfología esférica, a la formación de una red de dislocaciones en la intercara precipitado-matriz para mantener una coherencia parcial con orientación en las direcciones $\langle 100 \rangle$ y $\langle 110 \rangle$ de la matriz.

INTRODUCCIÓN

El endurecimiento por precipitación, es un método para controlar el óptimo endurecimiento por dispersión en muchas aleaciones metálicas⁷. El grado de fortalecimiento de las aleaciones endurecibles por precipitación depende de la fracción volumen, tamaño, morfología y distribución espacial de los precipitados de la segunda fase^{6,4,8}. A altas temperaturas los precipitados coherentes sufren un engrosamiento incrementando sus tamaños y perdiendo coherencia, y así provocan una degradación de las propiedades mecánicas de la aleación⁸. La resistencia al engrosamiento de precipitados es factor para mantener la resistencia a altas temperaturas en estas aleaciones⁵. Las superaleaciones base níquel dependen de la presencia de precipitados ordenados γ' (tipo Ni₃Al, estructura L1₂) coherentes con la matriz. Esta microestructura proporciona excelentes propiedades mecánicas y estabilidad térmica a temperaturas elevadas^{2,3}. Una superaleación base hierro para

aplicaciones a altas temperaturas podría esperarse haciendo uso de partículas de segunda fase. Los parámetros de red de α -Fe (0.28665 nm) y β -NiAl (0.28864 nm) son muy similares^{2,9,10}. Estas aleaciones podrían ser de interés para aplicaciones a alta temperatura como una alternativa de las superaleaciones base Níquel⁹. Las aleaciones del sistema Fe-Ni-Al pueden ser endurecidas por la presencia de precipitados ordenados del tipo B2 (CsCl) correspondientes a la fase β' , que son coherentes y coplanares con la matriz^{1,4,5,3,10,11}. Estas aleaciones, por su excelente resistencia mecánica a temperaturas altas, se utilizan en componentes de reactores nucleares, partes de engranajes del tren de aterrizaje de aviones o aplicaciones petroquímicas que requieran resistencia a la fractura por corrosión bajo esfuerzos¹². Para mejorar la resistencia a la oxidación, se ha añadido Cr a estas aleaciones Fe-Ni-Al¹⁰. Por su alto punto de fusión, excelente resistencia a la oxidación y resistencia a altas temperaturas, las aleaciones de Fe-Cr-Ni-Al han encontrado aplicaciones en ambientes de oxidación a alta temperatura, tales como hornos de calentamiento, reactores nucleares, refinerías de petróleo, sistemas de escape automotriz, entre otros^{2,5}.

El objetivo del presente trabajo fue analizar la evolución y cinética de crecimiento de precipitados coherentes en la aleación con composición nominal de Fe-10Ni-15Al-22Cr (%at.) así como, el efecto en sus propiedades mecánicas. Se llevó a cabo la fundición de aleaciones en un minihorno de arco eléctrico, posteriormente, fueron sometidas a tratamientos térmicos de homogeneizado y envejecidos artificiales a tres temperaturas distintas y a diferentes tiempos de permanencia. Las características microestructurales obtenidas de los tratamientos realizados se evaluaron mediante microscopía electrónica de barrido convencional y de alta resolución; las características estructurales se evaluaron con microscopía electrónica de transmisión y las propiedades mecánicas mediante microdureza Vickers. Los resultados obtenidos permitieron establecer los fenómenos de engrosamiento dominantes, la cinética de crecimiento y la energía de activación.

DESARROLLO EXPERIMENTAL

Las aleaciones de composición nominal Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) se fabricaron a partir de elementos con mínimo 99.5% de pureza en un minihorno de arco eléctrico Edmund Buehler MAM-1 bajo una atmósfera inerte de Argón. Las aleaciones fueron denominadas como B1, B2 y B3, de cada una se obtuvieron 3 muestras con una cortadora de precisión marca Pace Technologies con disco de carburo de silicio de tamaños de 1cmx0.5cmx0.5cm. Las muestras se encapsularon al vacío en tubos de cuarzo, y fueron homogeneizadas en un horno marca CARBOLITE modelo CWF 1200 a 1100°C durante 7 días, seguido de un enfriamiento al aire. Las aleaciones B1, B2 y B3 fueron envejecidas para inducir la precipitación de fases a las temperaturas de 850, 900 y 950°C, respectivamente, por diferentes tiempos de hasta 500h y enfriadas rápidamente en agua con hielos.

Para la caracterización microestructural, se utilizó un microscopio electrónico de barrido (MEB) convencional y de alta resolución (MEB-AR), marca JEOL modelos JSM 6300 y JSM-6701F, respectivamente. Se determinó el valor de Microdureza Vickers por cada condición de tratamiento térmico con un durómetro marca FutureTech FM-7. Las superficies a caracterizar de las muestras sometidas a tratamientos térmicos, se prepararon para su posterior caracterización microestructural por MEB y para la determinación de dureza, por medio de desbaste con lijas de carburo de silicio grados 220, 360, 400, 600, 1000, 1200, 1500 y 2000. Después, fueron pulidas a espejo con alúmina 0.05 μm y sílica coloidal de 0.02 μm , y finalmente atacadas con 15 ml de ácido clorhídrico, 5 ml de ácido acético y 5 ml de ácido nítrico. La prueba de microdureza Vickers se realizó de acuerdo con la norma ASTM E 92-17¹³, utilizando una carga de 200 gfm y 12s de penetración.

Después de obtener micrografías a las diferentes condiciones de temperatura y tiempo de tratamiento térmico de envejecido, se empleó un analizador de imágenes, midiendo un mínimo de 200 precipitados por condición, para determinar el tamaño, distribución, fracción y la distancia libre media entre precipitados. Asimismo, poder determinar el mecanismo de engrosamiento de los precipitados, la energía de activación y su cinética de crecimiento.

Finalmente, se realizó la caracterización de las muestras mediante microscopía electrónica de transmisión, en un microscopio JEOL 2000FX. Para ello, la aleación B2 envejecida a 900°C por 50h

se cortó en laminillas de 1mm de espesor y se desbastó hasta tener un espesor de 300 μ m. Se obtuvieron muestras de 3mm de diámetro mediante un sacabocados. Al final, las muestras fueron electropulidas en un equipo de doble chorro (twin jet) marca EA Fischione. El proceso de electropulido se realizó en baño con CO₂ sólido para mantener a -60°C una solución de 10% ácido perclórico, 10% glicerol y 80% metanol.

RESULTADOS

Análisis químico

El resultado en porcentaje peso y atómico, de la composición química promedio de al menos tres microanálisis globales para las aleaciones sin tratamiento térmico, obtenido de un área de 0.1mm² mediante MEB-EDS, se muestra en la tabla 1. Las composiciones reales en %atómico son cercanas a la nominal propuesta previa a su fusión, con una diferencia máxima de 0.77 %at.

Tabla 1. Resultados de análisis químico elemental semicuantitativo por MEB-EDS.

Aleación									
Botón	Análisis	% peso				% atómico			
		Al	Cr	Fe	Ni	Al	Cr	Fe	Ni
B1 (850°C)	Promedio	7.50	22.75	58.19	11.55	14.23	22.38	53.32	10.07
B2 (900°C)	Promedio	7.68	22.79	58.51	11.03	14.53	22.38	53.50	9.59
B3 (950°C)	Promedio	7.57	22.87	58.15	11.41	14.35	22.49	53.22	9.93

Identificación elemental mediante MEB-AR

La identificación elemental se realizó en la aleación B2 homogeneizada a 1100°C y envejecida a 900°C por 500 h. La micrografía obtenida por MEB-AR de la figura 1 muestra una distribución bimodal con un precipitado grande de alrededor de 4 μ m y precipitados pequeños de aproximadamente 1 μ m, embebidos en una matriz ferrítica. La tabla 2 muestra la composición en % atómico de los elementos presentes tanto en los precipitados como en la matriz, y se indican las regiones donde se obtuvieron tales análisis en la figura 1. Es posible observar que los precipitados grandes tienen un contenido de Ni y Al ligeramente mayor a los precipitados pequeños, por otra parte, los precipitados pequeños tienen una cantidad de Cr y Fe un poco mayor a diferencia de los grandes; a su vez, la matriz de esta aleación tiene muy poca cantidad de Al y Ni y es más rica en Cr y Fe que los precipitados.

Tabla 2. Resultados del análisis puntual de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.)

Aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C*7 días y envejecida a 900°C*500h										
Línea del elemento	Precipitado Grande			Precipitados pequeños				Matriz		
	Pto 1	Pto 2	Prom	Pto 3	Pto4	Pto 5	Prom	Área	Área	Prom
Al K	32.38	36.68	34.50	29.32	30.73	30.75	30.3	8.48	7.92	8.20
Cr K	6.74	3.39	5.10	9.60	8.48	8.87	9.00	25.60	26.08	25.80
Fe K	22.01	16.00	19.00	27.33	25.26	24.91	25.80	59.40	61.42	60.40
Ni K	38.87	43.92	41.40	33.75	35.53	35.47	34.90	6.52	4.58	5.60

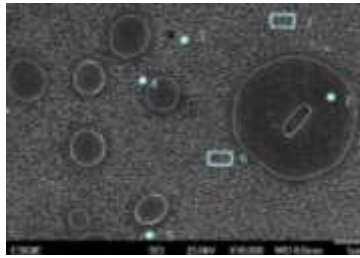


Figura 1. Regiones donde se realizaron los análisis puntuales en matriz y precipitado.

La muestra B2 envejecida a 900°C por 500h, fue utilizada para realizar un mapeo elemental. La figura 2 muestra la distribución de cada uno de los elementos (Al, Cr, Fe y Ni) en la matriz y los precipitados, lo cual confirma que la presencia de Ni y Al es mayor en los precipitados, y así, la naturaleza química de los precipitados β' (Fe, Ni) Al^{5,7,9} en una matriz Fe-Cr.

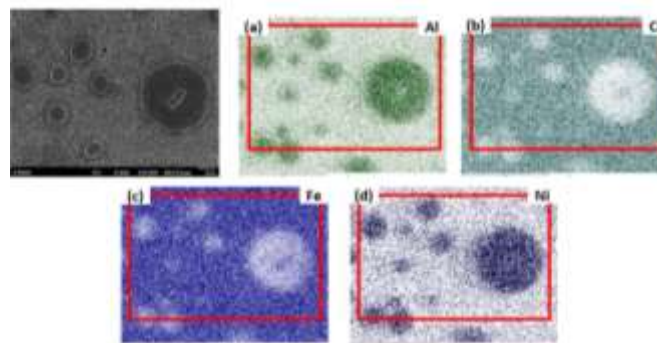


Figura 2. Resultado del mapeo de rayos X realizado a la muestra envejecida a 900°C por 500h de la aleación B2 de composición 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr; (a) Al, (b) Cr, (c) Fe y (d) Ni.

Resultados de microscopía electrónica de barrido de alta resolución en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at) homogeneizada a 1100°C y envejecida a 850, 900 y 950°C por diferentes tiempos

La aleación B con composición química cercana a Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C y envejecida a 850, 900 y 950°C por diferentes tiempos (1, 25, 250 y 500h), presentaron una distribución bimodal de precipitados, mostrando precipitados grandes y pequeños. La formación de los precipitados grandes ocurrió a 1100°C, lo cual involucra que un alto contenido en Cr desplaza la línea de solvus promoviendo la formación de precipitados de tamaños entre 1300-1500 nm. Precipitados de menor tamaño fueron inducidos por los tratamientos de envejecido. En las figuras 3, 4 y 5 se muestran micrografías de la evolución microestructura de la aleación B1, B2 y B3.

En la figura 3 se observa el cambio microestructural durante el envejecido a las tres temperaturas 850, 900 y 950°C a 10Kx. Para el envejecido a 850°C en la aleación B1, es evidente que el tiempo de envejecido promueve un crecimiento y disminución en la cantidad de precipitados pequeños, lo cual no se observa en los precipitados grandes. Asimismo, se observa la formación de una zona libre de precipitados alrededor de los precipitados grandes (durante 1h de envejecido). La evolución microestructural de la aleación B2 a 900°C es similar a la aleación B1, con una distribución bimodal de precipitados, donde los precipitados grandes presentan partículas de la fase α en su interior. El cambio de tamaño a 900°C solo ocurre para los precipitados pequeños, los cuales crecen y disminuyen en cantidad después de 500h. Al incrementar la temperatura de envejecido a 950°C en la aleación B3, es evidente el crecimiento de los precipitados pequeños, así como las partículas en el interior de los precipitados grandes. Se observa la distribución bimodal con la presencia clara de una región libre de precipitados alrededor de los precipitados grandes después de 25h.

En la figura 4 se pueden ver regiones donde es posible observar precipitados grandes a 20Kx a 850, 900 y 950°C en los tiempos de tratamiento de 1, 25, 250 y 500 h. A 850°C, se observa la presencia

de pequeñas partículas o precipitados con un contraste similar al de la matriz. Aparentemente, las partículas oscuras dentro de los precipitados grandes corresponden a partículas de la fase α rica en Fe, las cuales precipitan a 850°C. Estas partículas incrementan su tamaño con el tiempo de envejecido, así como disminuyen en cantidad, presentando una distribución al azar con 1h de tratamiento, después de 25h, las partículas presentan intercaras alineadas entre sí, y con una alineación preferencial y similar a las direcciones de los precipitados pequeños, es decir en las direcciones $\langle 100 \rangle$. Dicho alineamiento de las partículas dentro de los precipitados grandes se mantiene con 250 y 500h. A 900°C, las partículas dentro de los precipitados grandes también se engrosan y disminuyen en cantidad con una alineación preferencial. Para el envejecido a 950°C, se observa el crecimiento y orientación preferencial de las partículas en el interior de los precipitados grandes, con un cambio morfológico de esféricos a cuboidales y placas alargadas.

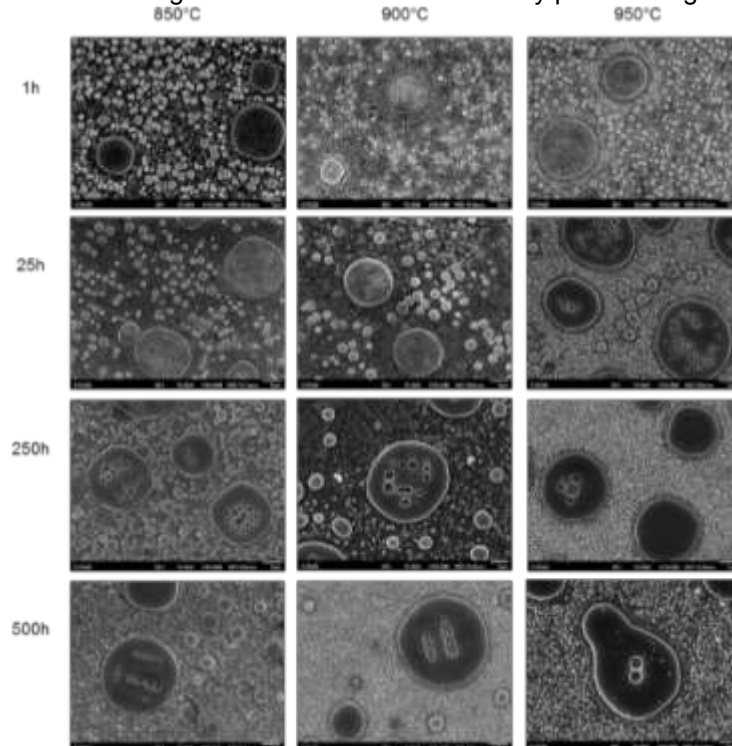


Figura 3. Evolución de la precipitación de la fase β' de la aleación homogeneizada a 1100°C por 7 días y envejecida a 850, 900 y 950°C durante 1, 25, 250 y 500h a 10kX aumentos.

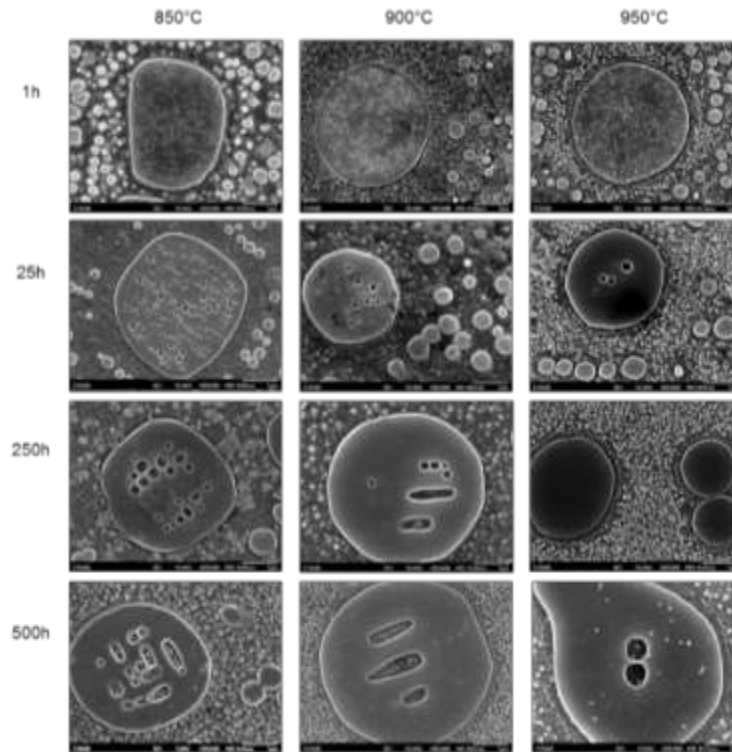


Figura 4. Evolución de la precipitación de la fase β' de la aleación homogeneizada a 1100°C por 7 días y envejecida a 850, 900 y 950°C durante 1, 25, 250 y 500h a 20kX aumentos.

En cuanto a la evolución microestructural en los precipitados pequeños, estos se pueden ver en la figura 5 a 20kX, donde a 850°C en la aleación B1, estos están distribuidos al azar o sin alguna orientación con 1h de tratamiento con una morfología entre esférico y cuboidal. En el tiempo de envejecido de 25h, la morfología dominante de los precipitados pequeños es cuboidal con intercaras planas y esquinas redondeadas, donde dichas intercaras se alinean entre sí y preferencialmente con respecto a la matriz⁴⁻⁶. Esta alineación se vuelve a perder a 250 y 500h de envejecido, presentando una morfología esférica donde la cantidad de precipitados es mucho menor que en los primeros tiempos del tratamiento térmico. El cambio morfológico de los precipitados pequeños a 850°C fue de esferas a cuboides y finalmente a esferas. Para una temperatura de envejecido de 900°C en la aleación B2, la morfología inicial de los precipitados pequeños es cuboidal durante 1 y 25h. Posteriormente, la morfología se mantiene esférica hasta las 500h de tratamiento térmico. El cambio morfológico de la aleación B2 a 900°C fue de cuboidales a esféricas. Al aumentar la temperatura de envejecido a 950°C en la aleación B3 el cambio morfológico de los precipitados pequeños es de cuboidales a esféricos.

A partir de estos resultados hacen suponer que los precipitados grandes formados a 1100°C contienen un exceso de Fe, el cual, en lugar de difundir hacia el exterior hacia la matriz, este tiende a precipitar en su interior, comportándose como un sistema con matriz de NiAl y precipitados de Fe, similar que en aleaciones con altos contenidos de Ni-Al⁹.

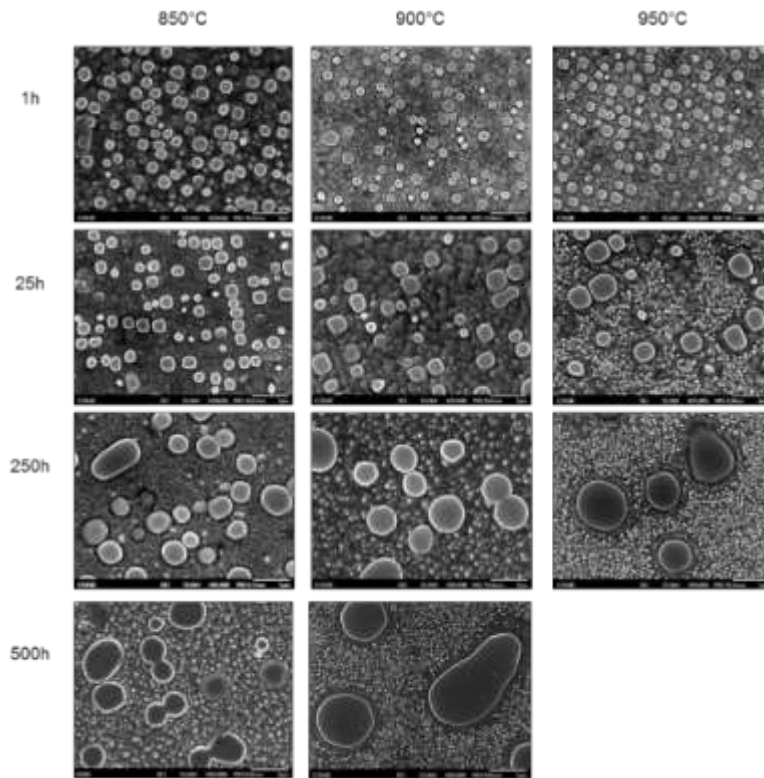


Figura 5. Regiones donde se encuentran precipitados pequeños de la fase β' de la aleación con composición nominal 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr en %at. homogeneizada a 1100°C por 7 días y envejecida a 850, 900 y 950°C durante 1, 25, 250 y 500 h a 20kX aumentos.

Las imágenes digitalizadas obtenidas mediante MEB-AR de las aleaciones B1, B2 y B3 para cada condición fueron usadas con un analizador de imágenes. Se obtuvieron valores del área de los precipitados en nm^2 , fracciones de precipitados, radio promedio, distribuciones de tamaño, cinéticas, mecanismos de crecimiento, energía de activación, entre otros. En el caso de los precipitados pequeños se midieron al menos 300 precipitados por condición. La densidad de probabilidad de la distribución de tamaños ($\rho^2 f(\rho)$) se determinó al contar los precipitados con radio equivalente r en intervalos consecutivos siendo $(r, r+\Delta r)$ alrededor del tamaño promedio r , usando la ecuación (1)^{3,7}:

$$\rho^2 f(\rho) = \frac{N_i(r, r + \Delta r) \bar{r}}{\sum N_i(r, r + \Delta r) \Delta r} \quad (1)$$

Dónde \bar{r} es el radio promedio de la partícula y $N_i(r, r+\Delta r)$ el número de partículas en un intervalo dado. Con la finalidad de poder comparar las distribuciones de tamaño, se adicionó la distribución propuesta por la teoría LSW, haciendo uso de la ecuación siguiente^{3,7}:

$$h(\rho) = \frac{81}{2^{5/3}} \frac{\rho^2}{(3/2 - \rho)^{11/3}} \frac{1}{(3 + \rho)^{7/3}} \exp\left(-\frac{\rho}{3/2 - \rho}\right) \quad (2)$$

La figura 6, muestra las distribuciones de tamaño de precipitados pequeños de las aleaciones con composición nominal 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) envejecidas a 850, 900 y 950°C por 1, 25, 250 y 500h. Los resultados muestran un crecimiento del radio promedio de precipitados de 141 a 390 nm, 118 a 579 nm y de 117 a 398 nm, a 850, 900 y 950°C, respectivamente.

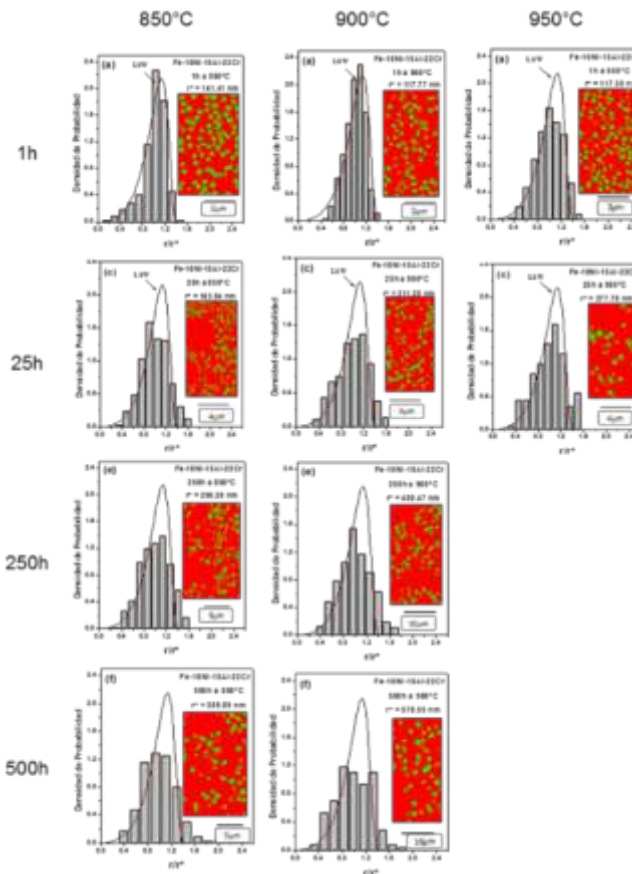


Figura 6. Distribución de tamaño de precipitados de la aleación con composición nominal 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) envejecida a 800, 900 y 950°C durante 1, 25, 250 y 500h.

En general, todas las distribuciones de tamaño de precipitados obtenidas son cercanas a la predicha por la teoría LSW, en las etapas iniciales hasta 25h. A tiempos de envejecido de 250-500h, las distribuciones tienen menor intensidad con un ligero ensanchamiento.

De acuerdo con la ecuación (3)², y las gráficas de $\ln r$ vs $\ln t$, se determinó el mecanismo dominante del crecimiento de precipitados por medio de la pendiente (n).

$$R_{avg}(t)^n = R_0^n + Kt \quad (3)$$

Dónde $R_{avg}(t)$ es el tamaño promedio del precipitado dependiente del tiempo, R_0 el tamaño promedio del precipitado al inicio del engrosamiento, K la constante de velocidad de engrosamiento y n el exponente de engrosamiento.

El mecanismo de crecimiento se evidencia en la figura 7 para los precipitados pequeños. El exponente de engrosamiento es de 0.28, 0.26 y 0.29, a 850, 900 y 950°C, respectivamente (figura 7 (a)-(c)). Estos valores son cercanos de lo predicho por la teoría de engrosamiento LSW (ley temporal de $t^{1/3}$), y sus modificaciones para sistemas en estado sólido^{6,8}. Este resultado confirma que el proceso de engrosamiento es controlado por el mecanismo de difusión.

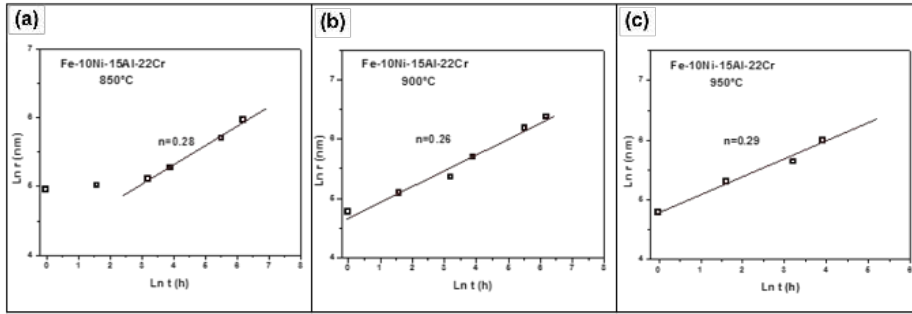


Figura 7. Mecanismo de crecimiento para los precipitados pequeños de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.): (a) 850°C, (b) 900°C y (c) 950°C.

La cinética de crecimiento se obtuvo a partir de la pendiente de las gráficas r^3 vs t , mostradas en la figura 8. Las cinéticas de crecimiento fueron 1.12×10^5 , 3.92×10^5 y 1.21×10^6 nm^3/h , para las temperaturas de 850, 900 y 950°C, respectivamente. Es evidente que el incremento en la temperatura de envejecido promueve un aumento en la cinética de crecimiento de los precipitados pequeños, debido a una mayor difusión atómica.

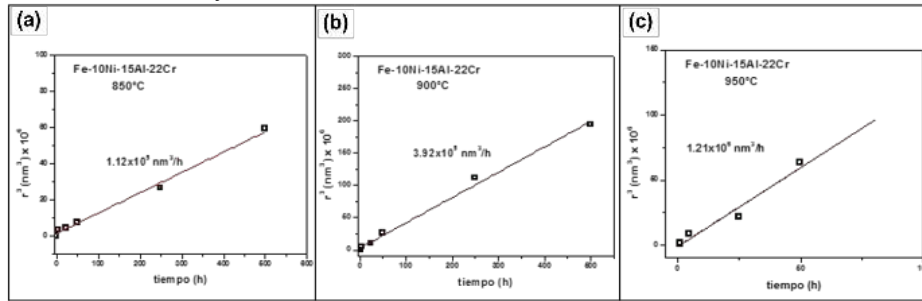


Figura 8. Cinética de crecimiento de la aleación: (a) 850°C, (b) 900°C y (c) 950°C.

Para obtener el valor de la energía de activación, se utilizó una ecuación tipo Arrhenius¹⁴ graficando $\text{Ln } K$ vs $1/T$, como se muestra en la figura 9. La energía de activación de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.), obtenida a partir de la medición de los precipitados pequeños fue $Q = -272$ kJ/mol.

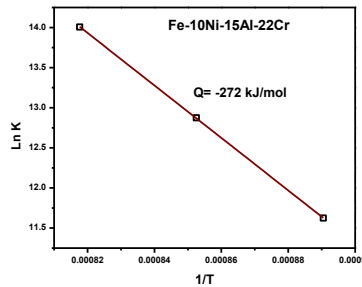


Figura 9. Energía de activación de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr.

Las micrografías obtenidas de MEB-AR también permitieron medir la distancia libre media entre precipitados λ que es indicada en la ecuación siguiente¹⁵:

$$\lambda = [4(-f) r] / 3f \tag{4}$$

Dónde f es fracción volumen de precipitados y r el radio de la partícula.

Finalmente, la figura 10 muestra la tendencia de la distancia libre media entre precipitados pequeños. Es evidente que el espaciamiento entre precipitados pequeños es mayor conforme se incrementa la temperatura y el tiempo de tratamiento térmico.

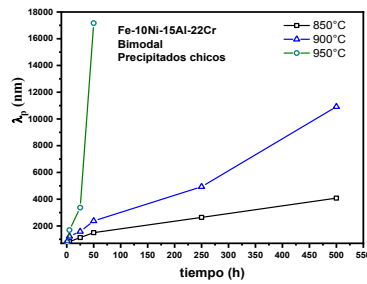


Figura 10. Espaciamiento entre precipitados pequeños a las tres temperaturas de envejecido.

Resultados de microscopía electrónica de transmisión

La figura 11 muestra micrografías de microscopía electrónica de transmisión, de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) homogeneizada a 1100°C, y envejecida a 900°C por 50h. Se observa en campo oscuro la distribución bimodal con precipitados pequeños y grandes, con partículas de fase α en su interior (figura 11 (a)), observadas también por MEB-AR. Las figuras 11 (b) y (c) en campo claro y oscuro, muestran precipitados pequeños rodeados por dislocaciones. Las flechas indican las direcciones de la matriz <100> y <010>, las intercaras de los precipitados pequeños no tienen orientación preferencial en esta condición, a diferencia de las partículas en el interior.

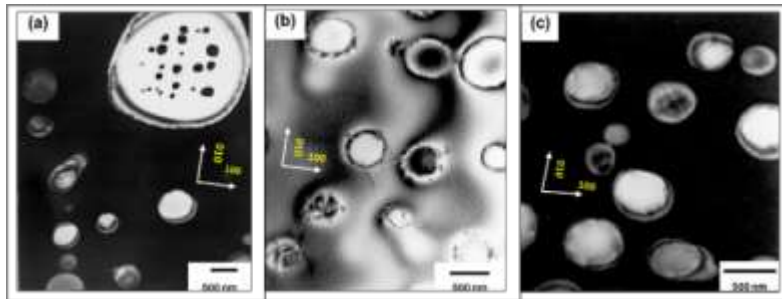


Figura 11. Micrografías de MET de la aleación 53%Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr en %at. envejecida 50h a 900°C, (a) Campo oscuro a 15 kX, (b) Campo claro a 20 kX, (c) de campo oscuro.

Resultados de microdureza Vickers

En la figura 12 se puede ver el comportamiento de la microdureza Vickers, se observa una disminución en dureza con el tiempo de envejecido y una diferencia mínima a las diferentes temperaturas.

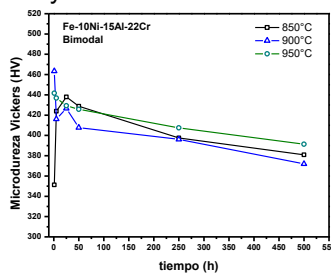


Figura 12. Microdureza Vickers a las tres temperaturas de envejecido (850, 900 y 950°C).

CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos del estudio del engrosamiento de precipitados en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr (%at.) mediante tratamientos térmicos controlados se concluye que:

1. La fase β' ((Fe,Ni)Al) precipita en una matriz de fase α rica en Fe-Cr.
2. La adición de Cr modifica la línea de solvus, demostrando que los tratamientos térmicos de homogeneizado a 1100°C y envejecido entre 850–950°C promueve una distribución de tamaño de precipitados bimodal en la aleación Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr.

3. El proceso de engrosamiento está controlado por el mecanismo de difusión con una dependencia lineal cercana a $t^{0.3}$.
4. El valor de energía de activación para la aleación fue de 272 kJ/mol.
5. Las cinéticas de crecimiento aumentan con respecto a la temperatura, obteniendo para la aleación Fe-10%Ni-15%Al-22%Cr 1.12×10^5 , 3.92×10^5 y 1.21×10^6 nm³/h; para los envejecidos a 850, 900 y 950°C, respectivamente.
6. La fracción área de precipitados disminuye con la temperatura.
7. El engrosamiento de precipitados para todas las condiciones promueve un aumento en tamaño y una disminución en cantidad, lo cual promueve un aumento en la distancia libre media entre precipitados.
8. El cambio de la morfología de los precipitados pequeños en esta aleación a las diferentes temperaturas es esféricas → cuboidales → esféricas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Y. Kuno, Y. Nakane, T. Kozakai, M. Doi, J. Yamanaka, C. Yamamoto, S. Naito. (2010). Phase Separation of B2 Precipitates in an Fe-Ni-Al Alloy. *Materials Science Forum*, Vol. 638-642, pp. 2274-2278.
2. F. Yin, C. Wu, Z. Li, M. Zhao, and Y. Liu (2013). Phase Equilibrium of the Fe-Cr-Ni-Al Quaternary System at 900°C. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 34 (3), 181-187.
3. I. Chumak, K. Richter and H. Ipser. (2008). Isothermal Sections in the (Fe, Ni)-Rich Part of the Fe-Ni-Al Phase Diagram. *Journal of Phase Equilibria and Diffusion*, Vol. 29 (4), 300-304.
4. H. J. Dorantes-Rosales, N. Cayetano-Castro, J. de J. Cruz-Rivera, V. M. López-Hirata, J. L. González Velázquez y J. Moreno-Palmerín. (2009). Cinética de Engrosamiento de Precipitados Coherentes en aleaciones base Hierro. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, S1(2), 637-645.
5. O. Soriano-Vargas, M.L. Saucedo-Muñoz, V.M. López-Hirata and A. M. Paniagua-Mercado. (2010). Coarsening of β' Precipitates in an Isothermally-Aged Fe75-Ni10-Al15 Alloy. *Materials Transactions*, Vol. 51 (3), 442-446.
6. N. Cayetano-Castro, H.J. Dorantes-Rosales, V.M. López-Hirata, J.J. Cruz-Rivera, J. Moreno-Palmerin y J.L. González-Velázquez. (2008). Cinética de engrosamiento de precipitados coherentes en la aleación Fe-10 % Ni-15 % Al. *Revista de Metalurgia*, Vol. 44 (2), 162-169.
7. D.R. Askeland, P.P. Fulay, W. J. Wright. (2011). Endurecimiento por dispersión mediante transformaciones de fase y tratamiento térmico. En *Ciencia e ingeniería de materiales* (sexta ed.). Páginas. 129, 130, 458, 459, 460, 463, 464, 480-481. CENGAGE Learning.
8. V. Vaityanathan, L.Q. Chen. (2002). Coarsening of ordered intermetallic precipitates with coherency stress. *Acta Materialia*, Vol. 50, 4061-4073.
9. C. Stallybrass, G. Sauthoff. (2004). Ferritic Fe-Al-Ni-Cr alloys with coherent precipitates for high-temperature applications. Elsevier. *Materials Science & Engineering, A* 387-389, 985-990.
10. N.Q. Vo, C.H. Liebscher, M.J.S. Rawlings, M. Asta, D.C. Dunand.(2014). Creep properties and microstructure of a precipitation-strengthened ferritic Fe-Al-Ni-Cr alloy. Elsevier. *Acta Materialia*, Vol.71, 89-99
11. M. A. Muñoz-Morris, N. Calderon, D.G. Morris. (2008). Coarsening kinetics of metastable nanoprecipitates in a Fe-Ni-Al alloy. *J Mater Sci*, Vol. 43, 3674-3682.
12. L. Eleno, K. Frisk, A. Schneider. (2006). Assessment of the Fe-Ni-Al system. Elsevier. *Intermetallics*, Vol. 14, 1276-1290.
13. ASTM E 92-17. Standard Test Methods for Vickers Hardness and Knoop Hardness of Metallic Materials.
14. W. F. Hosford. (2005). *Hardening Mechanisms in Metals*. Mechanical Behavior of Materials. (2nd edition). University of Michigan. Páginas: 184, 188. Cambridge University Press.
15. G. Kostorz (2001) *Phase Transformations in Materials*. New York. Páginas: 311, 312, 314, 334, 335, 336, 370-377. Wiley- VCH.

EFFECTO DE LA ADICIÓN DE NANOPARTÍCULAS DE ORO SOBRE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y DE BARRERA EN PELÍCULAS DE ALGINATO DE SODIO

Maria Antonieta Rios Corripio^{1*}, Nuria Yolanda Vargas Galina², Aleida Selene Hernández Cázares², Marlon Rojas López³

¹CONACYT- Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 894953. ²Colegio de Postgraduados Campus Córdoba. Carretera Federal Córdoba-Veracruz Km 348, Manuel León, Amatlán de los Reyes, Veracruz, México. C. P. 894953. ³Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada. Ex-Hacienda San Juan Molino Carretera Estatal Tecuexcomac-Tepetitla km 1.5 Tlaxcala C.P. 90700, México
E-mail: ríos.antonietta@colpos.mx

RESUMEN

Las películas biodegradables se definen como una capa delgada de biopolímero. En los últimos años ha surgido un gran interés por ellas, debido a la iniciativa de eliminar materiales plásticos derivados del petróleo. Uno de los biopolímeros más convenientes para elaborar películas biodegradables es el alginato, ya que es biodegradable y de una fuente renovable. Además, el uso de estas películas puede cumplir funciones de barreras selectivas para la transferencia de gases y humedad en matrices alimentarias y pueden servir como vehículo para una cantidad amplia de compuestos bioactivos. A pesar de estas funciones se busca mejorar las propiedades mecánicas y de barrera, algunos estudios han indicado que estas propiedades se pueden mejorar con la adición de nanomateriales. En específico, las nanopartículas de oro (AuNps) se usan para reforzar las películas de polímeros debido a su gran área interfacial; la cual cambia la movilidad molecular, el comportamiento de relajación y consecuentemente las propiedades térmicas, mecánicas y de barrera del material. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de nanopartículas de oro sobre las propiedades mecánicas (fuerza tensil y fuerza a la ruptura) y de barrera (transferencia al vapor de agua) en películas de alginato de sodio. Las nanopartículas de oro se sintetizaron por el método de reducción química y las películas se prepararon con alginato (1% p/v) a diferentes concentraciones de nanopartículas (1%, 5% y 10%) por el método de casting. Las propiedades mecánicas se analizaron siguiendo el método ASTM. (2010a). D882–97 usando un analizador de textura (Shimadzu EZ-S 500N, Japón). La transferencia al vapor de agua (TVA) se determinó mediante el método ASTM. (2010b). E96M-16. La Espectroscopia Infrarroja FTIR se utilizó para la evaluación de la estructura química de la película con y sin AuNps. Los datos obtenidos se analizaron mediante un análisis de varianza ($p < 0.05$) de un solo factor. Los resultados evidenciaron que a medida que aumento la concentración de AuNps se mejoraban las propiedades mecánicas y de barrera. El análisis FTIR sugiere una interacción entre los componentes de la película conforme se aumenta la concentración de las AuNps, se observan cambios estructurales, lo cual puede contribuir a controlar las propiedades mecánicas y de barrera de este tipo de películas nanocompuestas. Se concluye que la concentración de AuNps tiene un efecto importante en las propiedades mecánicas y de barrera de las películas por lo que este tipo de películas podrían usarse como alternativa a los plásticos convencionales.

INTRODUCCIÓN

El envase juega un papel importante en la conservación, distribución y comercialización de los productos alimenticios. Algunas de sus funciones son proteger el producto de daños mecánicos, actividades físicas, químicas y microbiológicas. Una película biodegradable es una capa delgada de biopolímero preformada, hecha de material comestible y empleada en la superficie de un alimento (McHugh, 2000). Algunos estudios han reconocido la importancia de evaluar la matriz preformada con el fin de cuantificar diversos parámetros como propiedades mecánicas, físicas, químicas, ópticas y antimicrobianas, ya que esta envoltura tiene la capacidad de disminuir la interacción entre el alimento y el medio que le rodea creando una atmósfera modificada (MA), lo que representa una reducción en la pérdida o ganancia de humedad o aromas, oxidaciones, contaminaciones microbianas y restringiendo la transferencia de gases (O_2 , CO_2) (Miller y Krochta, 1997). Una película comestible se obtiene a partir de materiales naturales de fuentes renovables a base de polisacáridos

(alginato, pectina, almidones, celulosa, lactosa, sacarosa) y / o proteínas (suero, caseína, colágeno o proteína hidrolizada). Los alginatos son la principal macromolécula extraída de las algas pardas, éstos son obtenidos de las sales sódicas, cálcicas y potásicas del ácido algínico. Presenta uniones con ácido poliurónico conteniendo bloques de ácido poli- β -Dmanopiranosilurónico y/o bloques ácido poli- α -L-gulosa piranosilurónico (Cagri et al., 2004), cuentan con una importancia especial para diferentes industrias (alimentaria, textil, farmacéutica, cosmética, entre otras), atribuida a su capacidad para formar geles fuertes en presencia de cationes calcio (Ca^{+2}). El alginato de sodio es la forma más comercializada de alginato y sus aplicaciones en la industria alimentaria hoy en día están generando avances en el desarrollo de nuevos e innovadores biomateriales. En la obtención de películas juega un papel importante como biopolímero ya que es fácil de manejar, económico y nos permite obtener películas transparentes, biodegradables y con buenas propiedades de barrera. Estas películas sirven como vehículo para la incorporación de diferentes ingredientes con actividad funcional como antimicrobianos, antioxidantes, vitaminas, prebióticos y probióticos con el objetivo de mejorar propiedades específicas como cambiar las condiciones del alimento, extender la vida de anaquel, mejorar la seguridad microbiológica o las propiedades sensoriales, además de monitorear y ofrecer información acerca de la calidad durante el transporte y el almacenamiento (Puligundla *et al.*, 2012), que las convierten en películas activas. La evaluación de las propiedades mecánicas es importante porque envases frágiles son inapropiados para el correcto almacenamiento de alimentos. La literatura menciona que la adición de nanopartículas de oro obtenidas por reducción química a estas películas aumenta la fuerza tensil; sin embargo, hacen falta más estudios sobre este efecto. La adición de estos nanomateriales convierte a estas películas en un sistema innovador para aumentar la vida útil de alimentos. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la adición de nanopartículas de oro sobre las propiedades mecánicas (fuerza tensil y fuerza a la ruptura) y de barrera (transferencia al vapor de agua) en películas de alginato de sodio.

PARTE EXPERIMENTAL

Materiales

Se utilizaron los siguientes reactivos alginato de sodio (Sigma, St. Louis MO, USA), glicerol como plastificante (Aditivos, Monarca, México), cloruro de calcio (Meyer, México), ácido tetracloroáurico (HauCl_4) se adquirió de Sigma Aldrich® (Toluca, México), citrato de sodio como reductor (Meyer, México).

Síntesis de AuNps

Para la síntesis de nanopartículas de oro se utilizó el método de citrato reducción (Hermanson 2008). Consiste en una serie de reacciones de oxidación-reducción con ácido tetracloroaurico (HauCl_4) y citrato de sodio como agente reductor en presencia de calor. Las AuNps obtenidas fueron almacenadas a 4°C hasta su uso.

Preparación de las películas adicionadas con AuNps

La preparación de las películas se realizó mediante el método de casting. La solución formadora de película se elaboró disolviendo alginato al 1% p/v en agua destilada previamente a 70°C dejando la solución en agitación constante por 30 min, posteriormente se añadió glicerol al 1.5% p/v y se mantuvo en agitación por 30 min. Las AuNps se añadieron a la solución a diferentes concentraciones (1%, 5% y 10% p/v). Esta solución se enfrió hasta temperatura ambiente y se realizó una desgasificación utilizando una bomba de vacío durante 20 min. Para la formación de las películas, se colocaron 35 mL de la solución formadora de película en cajas Petri y se colocaron en un deshidratador (Excalibur 4900, España) a 41°C durante 16 h al finalizar, se añadieron 3 mL de cloruro de calcio al 1%, las películas se dejan secar y finalmente se almacenan a HR 33% y 25°C hasta su análisis.

Propiedades de barrera

Permeabilidad al vapor de agua (PVA)

La PVA se determinó usando la modificación del "método de copa" descrita en la técnica gravimétrica de ASTM. (2010b). E96M-16. Para ello se utilizaron pesa filtros de 3 cm de diámetro (PYREX®) en los cuales se colocaron 3 g de CaCl_2 y posteriormente se colocó la película en la parte superior la

cual se sujetó con parafilm. Las muestras se colocaron dentro de un desecador que contenía una solución saturada de $MgCl_2$ (33% de HR) a $25^\circ C$. El agua transferida a través de la película se determinó a partir de la ponderación de 0.1 mg más cercano usando una balanza analítica. La muestra de la película se pesó cada 24 h por 5 d. La PVA se determinó de acuerdo con la siguiente ecuación (1).

$$PVA = (VTVA * L) / (p^{w1} - p^{w2}) \quad \text{Ec. 1}$$

Donde:

VTVA es la velocidad de transmisión del vapor de agua en la película, L es el espesor de la película, p^{w1} es la presión parcial de vapor de agua dentro del recipiente y p^{w2} es la presión parcial de la solución saturada de sal dentro de la celda de permeación.

Propiedades mecánicas

La fuerza tensil y fuerza a la ruptura se determinó utilizando el método ASTM. (2010a). D882–97 usando un analizador de textura (Shimadzu EZ-S 500N, Japón).

Caracterización estructural Espectroscopia Infrarroja

Se utilizó un Espectrofotómetro Infrarrojo con Transformada de Fourier (FTIR) (Bruker, Vertex; Billerica, Massachusetts, EE.UU) con el método de muestreo Reflectancia Total Atenuada (ATR). Los espectros de cada tratamiento se obtuvieron por triplicado y se promediaron. Se utilizaron 64 barridos con una resolución de 4 cm^{-1} en la región espectral de $4000\text{-}400 \text{ cm}^{-1}$. Para el análisis de los espectros se utilizó el programa Origin 6.1 (OriginLab Corporation; Northampton, Massachusetts, EEUU).

Diseño experimental

El diseño de experimento consistió en un diseño completamente al azar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA), a través del software Minitab Statistic Versión 16. Las pruebas de medias se realizaron empleando la prueba de Tukey con un nivel de significancia establecido en $p \leq 0.05$.

RESULTADOS

Síntesis de nanopartículas de oro (AuNps)

Durante la síntesis de las AuNps se observó un cambio de color de amarillo a rojo rubí color característico de AuNps de forma esférica (Figura 1). La formación de nanopartículas se confirmó con la banda de absorción del plasmón en 526 nm que corresponde a nanopartículas de un tamaño entre 10 y 20 nm (Figura 2).



Figura 1. Síntesis química de AuNps

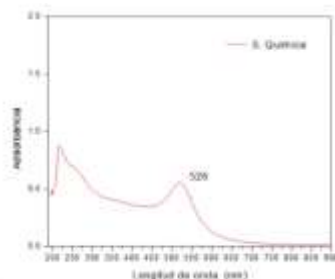


Figura 2. Espectro UV-Visible de AuNps obtenidas por el método de reducción química

Películas de alginato adicionadas con nanopartículas de oro

Las películas activas fueron lisas, no presentaron burbujas, ni porosidad, no se observaron diferencias con el control. En cuanto al color, la película control mantuvo un color transparente, conforme se aumentaba la concentración de las AuNps se apreciaba un color rojo (Figura 3).

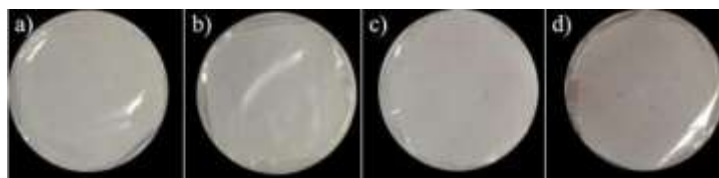


Figura 3. Películas de alginato de sodio adicionadas con AuNps. a) control, b) 1% de AuNps, c) 5% de AuNps y d) 10% de AuNps.

Permeabilidad al vapor de agua (PVA).

La PVA indica la capacidad que tiene el material para permitir el paso del vapor de agua a través de él; por lo tanto, se requiere una permeabilidad al vapor baja para tener una mayor resistencia al paso del vapor de agua y de este modo mantener por mayor tiempo la frescura de los alimentos. En el Cuadro 1 se muestran los resultados obtenidos. Valores de PVA desde 0.24 a 0.21 (gmm/kPahm²), se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos y el control, se observa que conforme aumenta la concentración de AuNps la PVA disminuye, estos resultados sugieren un posible incremento en el número de enlaces que contribuyen en la obtención de una red tridimensional más entrelazada.

Cuadro 1. Valores de permeabilidad al vapor de agua (PVA) en películas de alginato con y sin AuNps

Tratamiento	PVA (gmm/kPahm ²)
Co	0.24±0.05 ^a
AuNps 1 %	0.23 ±0.01 ^b
AuNps 5 %	0.22±0.02 ^c
AuNps 10 %	0.21±0.00 ^d

Los valores reportados para cada película de alginato son sus medias ± desviación estándar ($n = 5$). Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas entre las muestras ($p < 0.005$), de acuerdo a la prueba de Tukey.

Fuerza tensil y fuerza a la ruptura

La incorporación de nanomateriales se ha difundido como una estrategia interesante para mejorar las propiedades físicas, mecánicas y de barrera de películas comestibles. En el Cuadro 2 se presentan los resultados obtenidos para la fuerza tensil y fuerza a la ruptura de películas de alginato con y sin AuNps. Se observa claramente que conforme aumenta la concentración de las AuNps los valores de la fuerza tensil como la de ruptura aumentan, llegando a un valor de 20.2 N/mm² para

fuerza tensil y 19.50 N para fuerza a la ruptura, este aumento se debe posiblemente a la gran área superficial de las nanopartículas que le permiten interactuar fuertemente con la matriz polimérica. Las mejoras en las propiedades en general se alcanzan cuando las cargas puedan dispersarse uniformemente dentro de la matriz polimérica, y su distribución depende de la concentración del refuerzo y de la afinidad química de las cargas por la matriz. Estos resultados sugieren que es posible mejorar las propiedades mecánicas de las películas, haciéndolas más resistentes.

Cuadro 2. Valores de propiedades mecánicas (fuerza tensil y fuerza a la ruptura) en películas de alginato con y sin AuNps.

Tratamiento	Fuerza tensil (N/mm ²)	Fuerza a la ruptura (N)
Co	3.40±1.54 ^b	5.19±2.35 ^{ab}
AuNps 1 %	6.26±0.79 ^b	8.67±5.19 ^{ab}
AuNps 5 %	9.94±2.54 ^b	9.56±0.8 ^{ab}
AuNps 10 %	20.2±4.73 ^a	19.50±9.64 ^a

Caracterización estructural FTIR de películas de alginato de sodio con y sin AuNps

En la Figura 4 se presentan los espectros FTIR de las películas de alginato adicionadas a diferentes concentraciones de AuNps, así como los compuestos utilizados para su formación. Los espectros presentan las señales características de la molécula de alginato, además, la adición de glicerol (como plastificante) a estas películas trajo consigo la presencia de nuevas bandas, predominando en la región de 1200-800 cm⁻¹. Un corrimiento hacia longitudes de onda mayores se observó en las bandas 1593 y 1407 debido a la adición de glicerol a las películas sin nanopartículas de oro. Una vez adicionadas las nanopartículas de oro los espectros mostraron nuevamente un desplazamiento hacia longitudes de onda menores en las bandas características de las nanopartículas en 1589 y 1403 de los enlaces CH₂-O y C=O respectivamente. El aumento observado en las intensidades FTIR absolutas, correspondiente a estas bandas, sugiere una interacción inicial entre las moléculas de alginato, glicerol y nanopartículas conforme aumenta la concentración de nanopartículas de oro. Esto último puede derivar en cambios estructurales, lo cual puede contribuir a controlar las propiedades mecánicas y de barrera de este tipo de películas nano-compuestas.

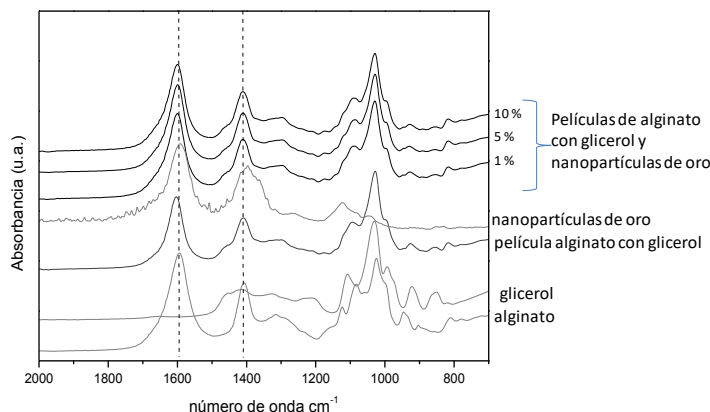


Figura 4. Espectros FTIR de alginato, glicerol, nanopartículas de oro, películas con y sin nanopartículas de oro en la región de 2000-700 cm⁻¹.

CONCLUSIONES

Se concluye que el aumento en la concentración de AuNps en películas de alginato de sodio tiene un efecto importante en las propiedades mecánicas y de barrera, por lo que este tipo de películas activas podrían usarse como alternativa a los plásticos convencionales desarrollando empaques innovadores.

BIBLIOGRAFÍA

1. ASTM. (2010a). D882–97 Standard test method for tensile properties of thin plastic sheeting. Annual Book of American Standard Testing Methods. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D882-18>
2. ASTM. (2010b). E96M-16 Standard test methods for water vapor transmission of materials (ASTM Inter). ASTM International. <http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?E96E96M-16>.
3. Cagri, A., Ustunol, Z., & Ryser, E. T. (2004). Antimicrobial edible films and coatings. *Journal of Food Protection*, 67, 833–848.
4. Hermanson, G. (2008). *Bioconjugate techniques*. Academic Press Inc, San Diego
5. McHugh, T. H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung*, 44, 148-15.
6. Miller, K. S., & Krochta, J. M. (1997). Oxygen and aroma barrier properties of edible films: a review. *Trends in Food Science and Technology*, 8(7), 228-237.
7. Puligundla, P., Jung, J. & Ko, S. (2012). Carbon dioxide sensors for intelligent food packaging applications. *Food Control*, 25(1), 328-333.

ÍNDICE DE AUTORES

- Acosta Lúa Cuauhtémoc 673
 Aguilar Mora Araceli 837
 Aguilar Ojeda Cristy Elizabeth 744
 Aguirre Lara Paulina 695
 Aguirre Valenzuela Isaac 563
 Alanís Arnulfo 917
 Alarcón Alemán Rosa María 226
 Alarcón Barajas Luis Ángel 88
 Alberto Sígala Darío 771
 Alcalá Díaz Infante Fabiola 338
 Alcalá González Perla Mayara 176, 226
 Alcalá González Rubí 176, 190, 226
 Alcántar Mendoza Alan Daniel 549
 Alfaro-Rodríguez José Juan 737
 Almaraz García Jaqueline Dariela 176
 Alonso Rojas Juan Roberto 73
 Alonso-Romero S. 298
 Alvarado-Orozco Juan M. 291
 Alvarado-Portilla Migdalia 681
 Álvarez Hernández Elvira 890
 Andrade Espinosa Guillermo 651, 900, 911
 Anguiano Méndez Margarito Octavio 345
 Anguiano Sanchez Miguel 365
 Arcibar Orozco J. A. 358
 Arias Hernández Lina Ernestina 6
 Arias Hernandez Luz Adriana 208, 858
 Arias Patiño Lucila del Carmen 673
 Arredondo Acosta Linda E. 164
 Arregoitia Quezada Isabel 505
 Arregoitia Quezada María Isabel 305
 Arroyo Correa Gabriel 345, 542
 Arroyo López Carlos 375
 Arzola Torres Dulce María Guadalupe 611
 Avila-Dávila Erika O. 291, 481
 Azuara-Nieto Ebner 681
 Baltazar Rosario 917
 Banda Estrada Andrea 393
 Bañuelos Ramos Juan Pablo 247
 Barajas Rosales Iván Ricardo 518
 Bárcenas Torres José Diego 911
 Beltrán Brito Miguel Ángel 51
 Beltrán Ramírez Flora 486
 Bello Ramírez Martha Irene 793
 Bernal Martínez Arodí 611, 629
 Bonilla Jiménez Luis Antonio 115
 Bonilla Paz Itzia Alejandra, 580, 586, 636
 Botello Aceves Salvador 601
 Bravo Alvarado César Daniel 320
 Bravo Ramírez Laura R. 164
 Bueno Hernández Diana 444, 701
 Bustos Magaña José Fernando 877
 Cabrera Madera Victoria Paola 51
 Calderón Vega Felicitas 208
 Calles Arriaga Carlos Adrián 453
 Camacho López Santiago 203
 Camacho Zuñiga Eduardo Andre 673
 Campos Hernández Alicia 542
 Cano Lara Miroslava 136, 203, 619, 764, 869
 Caraveo Córdova María Guadalupe 663
 Carrera Rodríguez Marcelino 764
 Carrillo Romo Felipe de Jesús 549, 711
 Casillas Miguel Ángel 917
 Castellanos Sandoval Adrián 673
 Castillero Murillo Alfonso 701
 Castillo Cabrera José Ángel 869
 Cázarez Coss y León Claudia Janett 688
 Cea Barcía Glenda Edith 858, 890
 Cerdán María Angélica 425
 Cerrillo Andrade Estefanía 6
 Cervantes Arista Jaime Ignacio 332
 Concha Sánchez Yajaira 345
 Contreras Bárbara José Roberto 432
 Corona Perez Paulina Valeria 365
 Corona Rivera, Elsa J. 629
 Correa Gomes Erasmo 731
 Costilla Salazar Rogelio 890
 Cota Estrada Michelle 313
 Coutino-Gonzalez E. 83
 Coutiño Gonzalez Eduardo de Jesús 88
 Cruz Cortez Ángel 522
 Cruz Pérez Alida Elizabeth 663, 877
 Cruz-Bernal Alejandra 755
 Cruz-Leal M. 83
 Cuan Durón Enrique 6
 Cuevas Rodríguez. Germán 629
 Curlango Rosas Cecilia M. 164
 Chacón Olivares María del Carmen 107
 Chávez Espínola Sergio Andrés 208
 Chávez Luévano Ana Ruth 491
 Chávez Valenzuela Gloria E. 164
 Daza Merino Rosalía 14, 40, 803
 De la Cruz Gutiérrez César Augusto 14
 De la Cruz Jiménez Ximena 444
 De la cruz Nicolas Yasmin 829
 Del Ángel Hernández Briseyda 505
 Del Ángel Meraz Ebelia 663, 877
 Delgadillo Ruiz Eladio 208, 858
 Delgadillo Ruiz Lucía 208
 Delgadillo-Holtfort Isabel 320
 Díaz Adame Sara Citali 858
 Díaz Flores Laura Lorena 663
 Domínguez Cruz René Fernando 453
 Dorantes-Rosales Héctor J. 291, 929
 Durán Belman Israel 385, 531
 Elguero Olivo Luis Jonathan 101
 Escalera Hernández Lorena 522
 Esparza Gutiérrez Yadira Guadalupe 847
 Estevez Delgado Gabino 575, 580, 586, 636
 Estevez Delgado Joaquín 575, 580, 586
 Estrada Flores Miriam 829
 Estrada Monje Anayansi 466
 Fernández Ramirez Arnoldo 563, 571
 Fernandez-Soto D. 298
 Ferreira-Palma Carlos 929
 Flores Mosqueda Karla 701
 Flores Pérez Francisco Yael 262
 Flores Picazo Juan José 190
 Flores Rios Brenda L. 164

- Flores Rojas Aldo Arturo 444
Fosado Ramos Gerardo 375
Frías-Chimal J.E. 298
Funes-Gallanzi M. 644
Galeana Padilla Ulises 136, 142
Galván Chávez Arturo 278
Gallardo Alvarez Dennise Ivonne 385, 531, 619
García Alamilla Ricardo 305, 505
García Alvarado Miguel Ángel 695
García Andrade Roxana 563, 571
García Azpeitia Lilia 338
García Castañeda Cathleen Daiana 651, 900
García Castrejón Juan Carlos 51
García Espinosa Daniel Alberto 755
García Galván Keops Xeki 432
García González Leandro 351
García Guzmán José Miguel 136, 142
García Hernández David 5773
García Lechuga Luis 121
García Moreno Ivan Emmanuel 226
García Murillo Antonieta 549, 711
García Pedro 505
García Ramirez Ana Karen 771
García Rojas Saul Ottoniel 176
García Vázquez Juan P. 164
García-Guzmán José Miguel 619
Garibay Tapia Alonzo 636
Garnica González Pedro 513
Garnica Romo Ma. Guadalupe 351
Gastelum-Arellanez Argel 29
Gómez Mendez Gustavo Adolfo 121
Gómez Mohedano G. Y. 128
Gómez Mohedano Gisela Yamín 121
Gonzales Rosales Rosa María 398
González Domínguez Bernardino 14
González García Julio 218
González García María del Rosario 711
González Grovas Luis Roberto 14, 40
González Ponce María del Refugio 142
González Ramírez María L. 164
Graciano Dulce María 51
Granados García Francisco Adolfo 278
Guerra Sánchez Ricardo Jaime 332
Guerrero Martínez Brenda Berenice 149
Guerrero Viramontes J. A. 644
Guerrero Zárate David 877
Guillen Bonilla Alex 809
Guillen Bonilla Héctor 809
Guillen Bonilla José Trinidad 809
Gutiérrez González Paulina 513
Gutiérrez Martínez Alberto 101, 721, 731, 785
Gutiérrez Valencia Oscar Daniel 107
Hernández Briones Benjamín 115
Hernández Cázares Aleida Selene 940
Hernández Guerrero Abel 591, 601
Hernández Mendoza César Manuel 238
Hernández Mosqueda José Guadalupe 107
Hernández Zenteno Yereira 73
Hernández-Becerra P. A. I. 320
Herrera Zúñiga Leonardo David 218
Ibarra Esquer Jorge E. 164
Ibarra-Morales Jessica Marsella 29
Ibarra-Torres Patricia 755
Infante Soria María Fernanda 900
Islas Islas J. M. 128
Islas Islas Juan Manuel 121
Jaime Estrada Jessica María 149
Jiménez Mendoza Daniel 320
Jiménez-Fernández Maribel 681
Juarez Alvarado César 57
Juárez Balderas Mario Alberto 393
Juárez Rios Higinio 764
Lagunes Barradas Virginia 803
Lara-Mireles J.A. 298
Ledesma Silva Gabriel Daniel 473
León Rodríguez Miguel 755
León Vega Néstor 385
Lezama Álvarez Susana 218
Licea Hernández Lilia 803
Lopez Badillo Araceli 601
López Cornejo Monserrat Sofia 513
López Galván Liliette Estefanía 491
López Gómez 785
López Hernandez Juan 262
López Hirata Victor Manuel 852, 929
López López Tizoc 101, 721, 785
López Núñez Adolfo Rafael 408, 737
López Rosales Regina 852
López Salazar Sofia 226
López Sámano María Nirvana 19
López-Hirata Víctor M. 291
Lozada-Hernández Lesli J. 929
Luna Calva Rodrigo 852
Lunagómez Rocha María Antonia 818
Luviano Ortiz José Luis 591, 601
Magdaleno Zavala Juan Antonio 385, 531
Maldonado Sosa Luis Mario 453
Mares Castro Armando 19, 466
Márquez Herrera Ciro 818
Martínez Ávila José Guadalupe 381
Martínez Cabrera Jesús Alberto 737
Martínez Flores Héctor Eduardo 351
Martínez García Amalia 121
Martínez García Edith Esmeralda 176
Martínez Martínez Arístides 375
Martínez Pérez Armando I. 481
Martínez Reyes Armando 563, 571
Martínez Rodríguez Pánfilo Raymundo 408
Martínez Sánchez Dhamar Joselin 226
Martínez Sandoval Eder Uriel 51
Martínez Tovar Hilda Cristina 176
Martínez Vega Jessica Pamela 591
Maya Sánchez Alejandra 651
Maya Sánchez Alejandra 900
Méndez Martínez Zayra Yannet 332
Méndez Zepeda Oscar 925
Mendoza Anguiano Mario 651
Mendoza Guzmán Lorena 744
Mendoza Ramírez Elvia Mariel 917
Miguel-Andrés Israel 755
Moctezuma Velasquez Edgar 505
Monroy Cruz Ernesto 432

- Montoya Maciel Karla Montserrat 417
 Monzalvo Hernández A. 128
 Mora Mora Zaira 351
 Morales Narvaez Eden 88
 Moreno Martínez Jatziri Yunuén 278
 Moreno-Palmerin Joel 929
 Moreno-Ríos Marisa 291, 481
 Muñoz Aguirre Narcizo 925
 Muñoz Moreno Gilberto 183, 737
 Muñoz Rivera R. M. 128
 Navarro Cabello Paola Guadalupe 238
 Núñez Vázquez Tania Lizbeth 190
 Ocaña Díaz David Francisco 571
 Oliva Hernández Maira Paola 473
 Ordoñez Hernández Sayra 518
 Ornelas Amaro Ernesto 486
 Palacios Beas Elia Guadalupe 518
 Palacios Hernández Otoniel 278
 Palacios-Pineda Luis M. 291
 Palomino Resendiz Roberto Luis 518
 Pantoja Castro Mayra Agustina 663, 877
 Paredes Reyes Eliud 744
 Peña Carlón Florencia 911
 Peña Herrera Manuel Alejandro 272
 Pérez Bustos Gerardo Oscar 408
 Pérez Huerta Josué Antonio 190
 Pérez Vidal Hemicenda 818
 Picazo Herrera José Héctor 925
 Pluma Dalyndha Aztatzi 408
 Posadas López Jesús 425
 Puerta Zaragoza Alfredo 365
 Pulido García Carlos Francisco 444
 Puy Y Alquiza Ma. Jesús 814
 Quesada Negrete Luis Enrique 837
 Quintana Rodríguez Elizabeth 486
 Quiroz Ramírez Juan José 29, 332
 Quiroz Rodríguez A. 128
 Ralero de la Mora Manuel Prisciliano 425
 Ramírez Segura Nadia Edith 305
 Ramos Reyes Nelly Sarai 814
 Ramos Santos Tomás 115
 Rangel Cobián Víctor Manuel 809
 Rangel Gómez Diana Leticia 107
 Razón González Juan Pablo 136, 142, 385, 531, 619
 Rea Vázquez Jazmín Alejandra 398
 Reséndiz López German 121, 128
 Reséndiz-Badillo R. 83
 Reyes de la Torre Adriana Isabel 305
 Reyes Luévano J. 644
 Reyes-Ríos Flor C. 291
 Reza San German Carmen M. 829
 Ríos Corripio María Antonieta 940
 Ríos Posada Argelia 925
 Rivas-López Diego I. 929
 Rivera Armenta José Luis 305
 Rivera Barajas José Alberto 731
 Rivera Navarro Gerardo 6
 Rivera Ruedas Ma. Guadalupe 663
 Rocha Rangel Enrique 247, 262, 272
 Rodríguez Betancourt Verónica María 809
 Rodríguez Bravo Humberto 869
 Rodríguez Cortés Christopher Jesús 183
 Rodríguez García José Amparo 247
 Rodríguez Jiménez Guadalupe del Carmen 695
 Rodríguez Ramírez José Alfredo 51
 Rodríguez Santoyo Eunice Guadalupe 591
 Rodríguez Vidal Luz María 238
 Rodríguez-Santos P. 83
 Rojas López Marlon 940
 Rojas Ramírez Sergio 313
 Rojas Valencia Oscar G. 829
 Romero De la Cruz Dayli Guadalupe 818
 Romero Pérez Juana Edith 183
 Ronquillo Mandujano Erika María 40
 Rosales Nieto María de Lourdes 218
 Rosas Baltazar Miguel Eduardo 803
 Rosas-Díaz Felipe 57
 Rosas-Reyna Cesar Artemio 925
 Rostro González Horacio 203, 764
 Ruiz Cervantes Dalila 40
 Sáenz Trujillo Antonio Ulises 721, 731
 Salazar Hernández Ma. Carmen 203
 Saldaña Duran Brahim 14
 San Agustín San Agustín Luis Enrique 121
 San Luis Silvestre Leonardo 925
 San Nicolás Hernández Ana Mariel 432
 Sánchez Calva Norma A. 481
 Sánchez Morales María Eugenia 673, 793, 809
 Sánchez Ortiz Omar Augusto 911
 Sánchez Solchaga Manuel Eduardo 785
 Sandoval Reyes Brenda Anahí 771, 852
 Sandoval Solís María de Lourdes 320
 Santiago Díaz María del Carmen 73
 Santos Retama I. 128
 Saucedo Lucero J.O. 358
 Saucedo Muñoz Maribel Leticia 771, 852
 Saucedo-Lucero José Octavio 29
 Segovia Padilla Rene Emmanuel 190
 Segura Cándido María Teresa 19
 Serrano Luna Omar 14
 Sigala García Darío Alberto 852
 Silva Goujon Miroslava Alejandra 466
 Solorio Leyva Juan Carlos 688
 Soria Ugalde José Miguel 814
 Sosa Zúñiga José Miguel 183, 393
 Soto García Víctor Manuel 809
 Soto Patiño Juan Carlos 491
 Suárez Toriello Víctor Alejandro 332, 358
 Tamez Alvarez Mario 563
 Tejero Andrade José Manuel 695
 Tenorio González Felipe Nerhi 518
 Tirado Torres David 858, 890
 Tlacuati Lozada Martín 73
 Torres Chagolla Marcela 101
 Torres Chimal Francisco Fernando 869
 Torres Figueroa Margarita 688
 Torres Zúñiga Ixbalank 890
 Toto Arellano Noel Ivan 121, 128
 Uribe Agundis Diego 6
 Urquizo Barraza Elisa 6
 Vaca García Claudia Carolina 673

Valdés Vazquez Jesús Fernando 208
Vargas Galina Nuria Yolanda 940
Vargas Luna Francisco Miguel 320
Vásquez Hernández Miguel Roque 731, 785
Vázquez Gómez Octavio 513
Vázquez Guzmán Gerardo 183, 393, 408
Vázquez Rodríguez Guadalupe 858
Vega Cabrera José 345
Vega Santoyo Karen Dayana 417
Velasco Ocejo Hugo Alberto 305
Vera Serna Pedro 518
Vergara Hernández Héctor Javier 513
Vidal Sánchez Yunuen 542
Yañez-Contreras Pedro 755
Zamilpa Flores Alejandra 847
Zilli Tomita H. E. 358
Zitzumbo-Guzmán R. 298

EDITORAS

MARÍA EUGENIA SÁNCHEZ MORALES
GLORIA VERÓNICA VÁZQUEZ GARCÍA
AMALIA MARTÍNEZ GARCÍA
CRISTINA E. SOLANO SOSA
EVA LILIANA RAMOS GUERRERO



ISBN OBRA COMPLETA
TRABAJOS CIENTÍFICOS EN MÉXICO



ISBN TOMO VI
INGENIERÍA

