



NO. 15 2017

# [NC]

NOTICIO

**EL CITTA**  
en el contexto de la manufactura avanzada

**LABORATORIOS Y TALLERES**  
de manufactura óptica

**APLICACIONES LÁSER**  
laboratorio

# DI REC TO RIO

**DIRECTOR GENERAL**  
Dr. Elder de la Rosa Cruz  
[dirgral@cio.mx](mailto:dirgral@cio.mx)

**DIRECTOR DE INVESTIGACIÓN**  
Dr. Gabriel Ramos Ortiz  
[dirinv@cio.mx](mailto:dirinv@cio.mx)

**DIRECTOR DE FORMACIÓN ACADÉMICA**  
Dr. Luis Armando Díaz Torres  
[dirac@cio.mx](mailto:dirac@cio.mx)

**DIRECTOR DE TECNOLOGÍA E INNOVACIÓN**  
Dr. Gonzalo Páez Padilla  
[dvydt@cio.mx](mailto:dvydt@cio.mx)

**DIRECTOR ADMINISTRATIVO**  
Lic. Silvia Elizabeth Mendoza Camarena  
[diradmon@cio.mx](mailto:diradmon@cio.mx)

## PERSONAL · NOTICIO

**Editor Administrativo**  
Elder de La Rosa.

**Editores Científicos**  
Vicente Aboites, Mauricio Flores, Alfredo Campos.

**Reportajes y Entrevistas**  
Eleonor León.

**Diseño Editorial**  
Lucero Alvarado.

**Colaboraciones**  
Martín Ortiz, Daniel May, Juan Manuel Bujdud, Cuauhtémoc Nieto,  
Luis Manuel Arredondo, José de la Luz Hurtado, Bernardino Barrientos,  
Enrique Castro, Carlos Pérez, David Monzón, Fernando Martell,  
Enrique Noe Arias, Óscar Gutiérrez.

Loma del Bosque 115 Col. Lomas del Campestre  
C.P. 37150 León, Guanajuato, México  
Tel. (52) 477-441-42-00  
[www.cio.mx](http://www.cio.mx)

# EDITO-

ELDER DE LA ROSA

Estimados lectores, es una satisfacción presentarles el número de cierre de 2017 de nuestro NotiCIO, que refleja de manera robusta nuestra fortaleza humana y de infraestructura en temas que atienden las necesidades de manufactura y sistemas de calidad.

En ciencia, tecnología e innovación, particularmente en la óptica y la fotónica, los cambios son vertiginosos. Para competir a nivel global y mantener un liderazgo nacional como institución, sabemos que es básico aprender a sumar capacidades y conocimientos. En los últimos cinco años, fortalecimos nuestro posicionamiento gracias al trabajo colaborativo, interdisciplinario y complementario, para desarrollar trabajo en equipo alrededor de proyectos estratégicos que abonaron al quehacer científico-tecnológico de México, y con ello a la economía del país.

Esta edición contiene un panorama detallado sobre nuestros casos exitosos con empresas líderes en el mercado, en cuanto la evaluación y perfeccionamiento de producciones en línea; así como una muestra de los laboratorios, equipamiento y personal especializado que dan solución a problemáticas del sector industrial: desde servicios de colorimetría y metrología, hasta desarrollos con fibras ópticas, láseres y terahertz; así como las fabricaciones de componentes ópticas y nuestro liderazgo en uno de los consorcios más importantes para el sector automotriz (CITTAA).

Nuestros colaboradores han construido una importante recapitulación sobre el presente y futuro del sector industrial y nos muestran en sus artículos cómo es el que nuestro Centro embona y se suma a las nuevas tecnologías y tendencias, tal es el caso de la Industria 4.0, para conducirnos por una economía basada en el conocimiento gracias a las disciplinas que hemos adoptado, pero principalmente al robustecimiento de la plantilla de investigadores que integra al CIO.

Nuestro accionar, no es un caso aislado. Respondemos a las políticas públicas que desde CONACYT se han venido promoviendo a fin de consolidar un sistema de ciencia y tecnología que fortalezca al país. Es un trabajo que apenas comienza, pero gracias a la transversalidad de la óptica y fotónica sabemos de la gran oportunidad al incidir como nunca en el desarrollo económico nacional y de hacer de esta área del conocimiento, una industria por sí misma.

Espero que tanto ustedes como el cuerpo editorial de la revista, disfruten de nuestro número final. Aprovecho para enviarles un cálido saludo, así como mis más sinceros deseos para que ustedes y sus familias pasen unas lindas fiestas de fin de año y que el 2018 esté lleno de éxitos.

**Dr. Elder de la Rosa Cruz**  
**Director General**  
**Centro de Investigaciones en Óptica, A.C.**

# -RIAL

## NOTICIO

En el CIO realizamos investigación básica, tecnológica y aplicada que incrementa nuestro conocimiento y nos permite resolver problemas tecnológicos y aplicados vinculados con la óptica. En particular en las áreas de: pruebas no destructivas, holografía y materiales fotosensibles, visión computacional e inteligencia artificial, óptica médica, instrumentación, infrarrojo, materiales fotónicos inorgánicos y orgánicos, nanomateriales, láseres y aplicaciones, espectroscopía, fibras ópticas, sensores, opto-electrónica, cristales fotónicos, comunicaciones y dinámica de sistemas complejos. Este trabajo se realiza por investigadores del CIO o en colaboración con empresas e instituciones académicas nacionales y extranjeras. NotiCIO es una publicación trimestral que tiene como objetivo dar a conocer a una audiencia amplia los logros científicos y tecnológicos del CIO para ayudar a que éstos sean comprendidos y apreciados por su valor para los ciudadanos, para nuestro país y para el mundo. El CIO pertenece al Sistema de Centros Públicos de Investigación Conacyt del Gobierno Federal. Mayor información sobre el CIO puede obtenerse en el sitio [www.cio.mx](http://www.cio.mx)



CIOmx



Centro de Investigaciones  
en Óptica A.C.



@CIOmx

## EDITORIAL

**4** Dr. Elder de la Rosa.

- |           |  |           |  |
|-----------|--|-----------|--|
| <b>11</b> | Soluciones láser para la industria:<br>Capacidades manufactureras del CIO                              | <b>51</b> | Mediciones dimensionales de alta exactitud<br>utilizando luz láser   |
| <b>17</b> | El CITTA en el contexto de la<br>manufactura avanzada  | <b>56</b> | Medición del índice de refracción de<br>líquidos usando fibra óptica |
| <b>22</b> | Control de Calidad en la Industria<br>Manufacturera Laboratorio de Fotometría<br>y Radiometría del CIO | <b>61</b> | Automatización robótica y visión artificial<br>en la industria 4.0   |
| <b>26</b> | Colorimetría industrial  | <b>69</b> | Laboratorios acreditados del CIO,<br>metrología                      |
| <b>32</b> | Componentes esféricas ¿Qué son?<br>¿Por qué son tan importantes?<br>¿Cómo se fabrican?                 | <b>72</b> | Manufactura óptica lentes y espejos<br>de forma libre                |
| <b>40</b> | Laboratorios y talleres de<br>manufactura óptica   | <b>80</b> | Vinculación CIO con Industrias<br>SCALINI S.A. de C.V.               |
| <b>44</b> | Colaboración con la empresa MABE   | <b>85</b> | Lista de publicaciones recientes                                     |
| <b>48</b> | Tecnología terahertz en el sector<br>cuero-calzado   |           |  |





# SOLUCIONES LÁSER

## PARA LA INDUSTRIA: CAPACIDADES MANUFACTURERAS DEL CIO

MARTÍN ORTÍZ

**El Laboratorio de Aplicaciones Láser**, nació como parte del proyecto para la creación de la Unidad Aguascalientes del Centro de Investigaciones en Óptica (CIO). En éste se realizan actividades de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, formación de recursos humanos y divulgación de la ciencia en temas relacionados con la interacción de la luz láser con la materia. Como parte de las mismas, se apoya a las empresas que requieran el uso de un láser o un sistema láser para aplicaciones específicas como medición, corte, marcado, grabado, etc. o tengan la necesidad de capacitar a su personal en el uso de estos sistemas así como en la seguridad para el manejo de los mismos.

El laboratorio tiene tres responsabilidades principales, encaminadas a la atención de los usua-

rios finales: industria, academia y público en general. La primera es la actividad didáctica (divulgación), que está dada por el carácter institucional. La segunda se refiere a la investigación científica para el desarrollo de nuevas aplicaciones que involucren el láser. Y la tercera se refiere a los servicios industriales mediante el desarrollo de nuevos dispositivos láser para su aplicación en procesos industriales como marcado, corte y limpieza, ver Figuras 2 y 3.

Cuenta con equipos y sistemas láser para la realización de pruebas de concepto para determinar la factibilidad al proponer una solución a un problema específico. Como consecuencia el cliente recibe una muestra o medición física para que pueda determinar si la solución propuesta cumple con el requerimiento esperado.

Algunos de estos equipos son láseres de CO<sub>2</sub>; láser de fibra, láseres de He-Ne, láser de Argón y diodos láser. También contamos con equipos y materiales requeridos para la manipulación del haz láser como cabezales galvanométricos, mesa de movimiento X-Y, divisores y expansores de haz, lentes F-theta, lentes de enfoque, fuentes de poder, moduladores, etc., El laboratorio también cuenta con un microscopio y un software para visualización de imágenes de los materiales procesados.

La aplicación específica depende del tipo de material. Por ejemplo: I) metales: marcado

(grabado, oxidación, eliminación de recubrimiento, limpieza), barrenado, corte, soldadura. II) Plásticos: marcado (cambio de color, grabado, realce), corte, soldadura, barrenado, conversión (recocido, ablandamiento, curado, pulido). III) Vidrio: marcado, barrenado, grabado 3D. IV) Cerámicas y compuestos: marcado, corte y barrenado.

Desde que el laboratorio comenzó a operar se tienen casos de éxito. Algunos ejemplos son los siguientes: I) Dispositivo para la detección de "taper face", (con una solicitud de patente). II) Detector láser para desviaciones angula-

res pequeñas, PA/a/2001/008265 y una patente otorgada para otro desarrollo: III) Dispositivo láser para medición de aperturas muy pequeñas en piezas mecánicas, GT/a/2003/000016". Otros proyectos que se han desarrollado son: contador de anillos, grabador laser para lentes de policarbonato, del cual se realizó también la transferencia de tecnología (Figura 1a); grabador láser para piezas de museo; dispositivo laser para marcado de piel "wet-blue" y dispositivo láser para marcado de cuero con pelo y salado (Figura 1b) entre otros.

Desarrollos recientes están relacionados con la interacción de láser en infrarrojo para la generación de óxidos metálicos, modificación de la estructura cristalina en muestras de carbón, TiO<sub>2</sub>, algunos metales y óxidos metálicos en polvo para aplicaciones de fotocatalisis.

No todas las soluciones que se pudieran presentar para un problema son obvias, por lo general se trabaja en la realización de pruebas de concepto para poder entregar una propuesta que cumpla con las expectativas y requisitos tanto del material como del proceso. ■



a)



b)

Figura 1. a) Sistema Láser ya modificado y desarrollado por la empresa Augen, b) Dispositivo para marcado de cuero con pelo y salado.

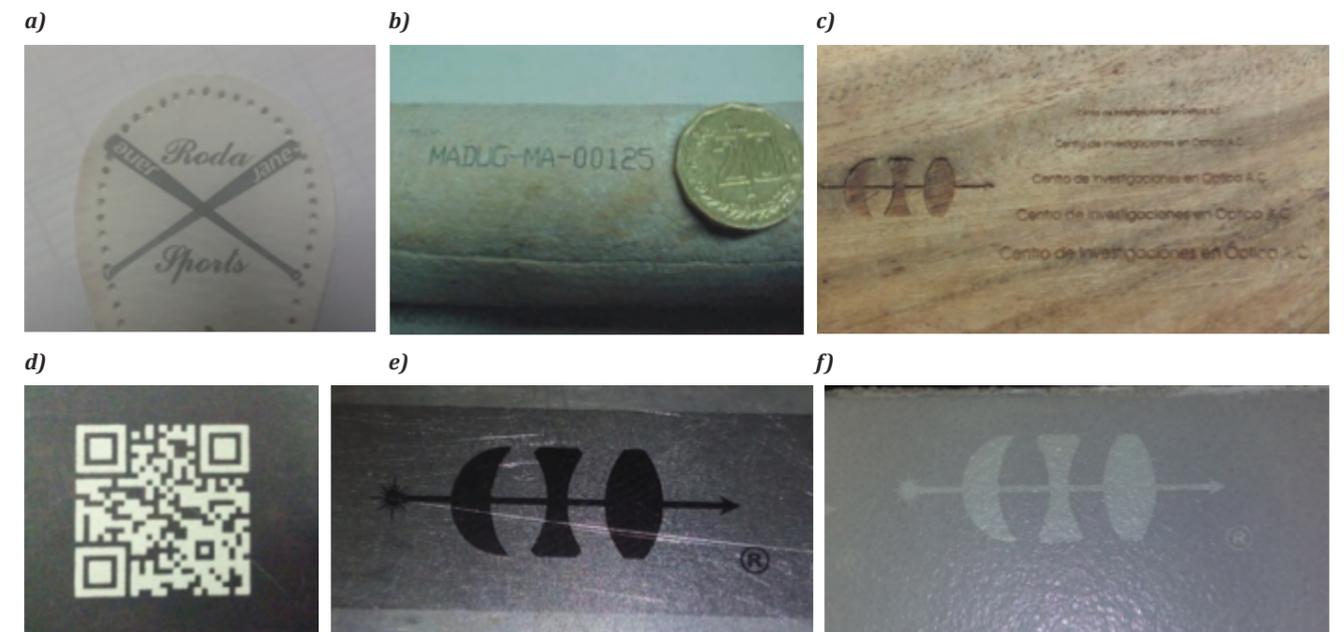
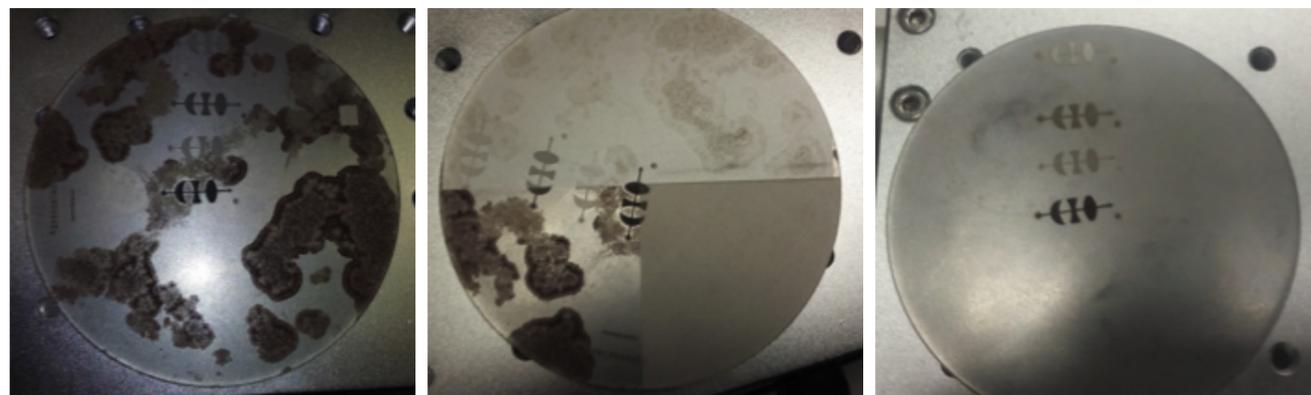
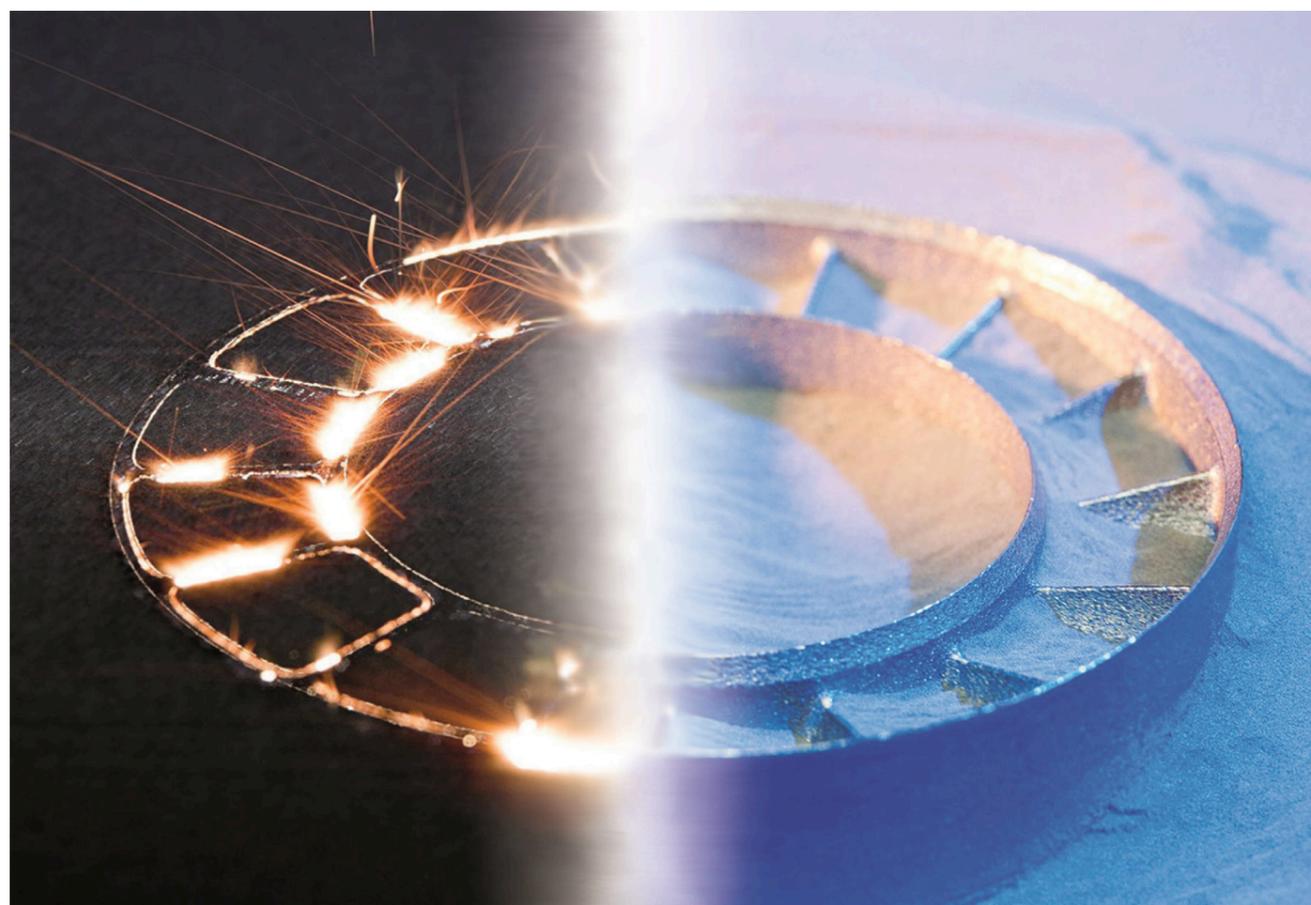


Figura 2. Marcado láser en diferentes materiales, a) Piel, b) Hueso, c) Madera, d) Aluminio anodizado negro, e) Acero Inoxidable, f) Cerámica



a) b) c)

Figura 3. Aplicaciones de limpieza a) Lámina negra con óxido, b) Lámina negra varios grados de limpieza, c) Lámina negra limpia.



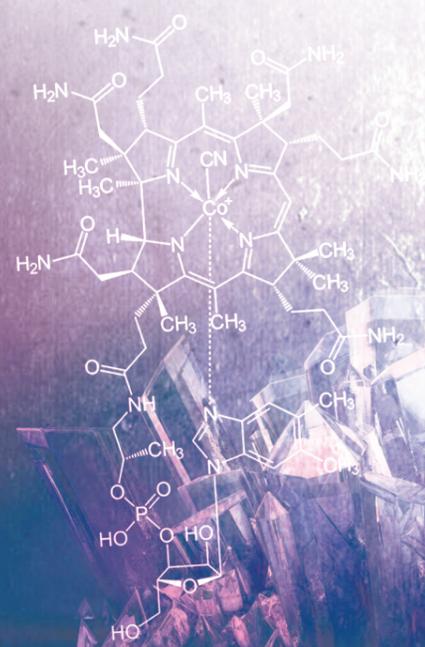
# XV encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia

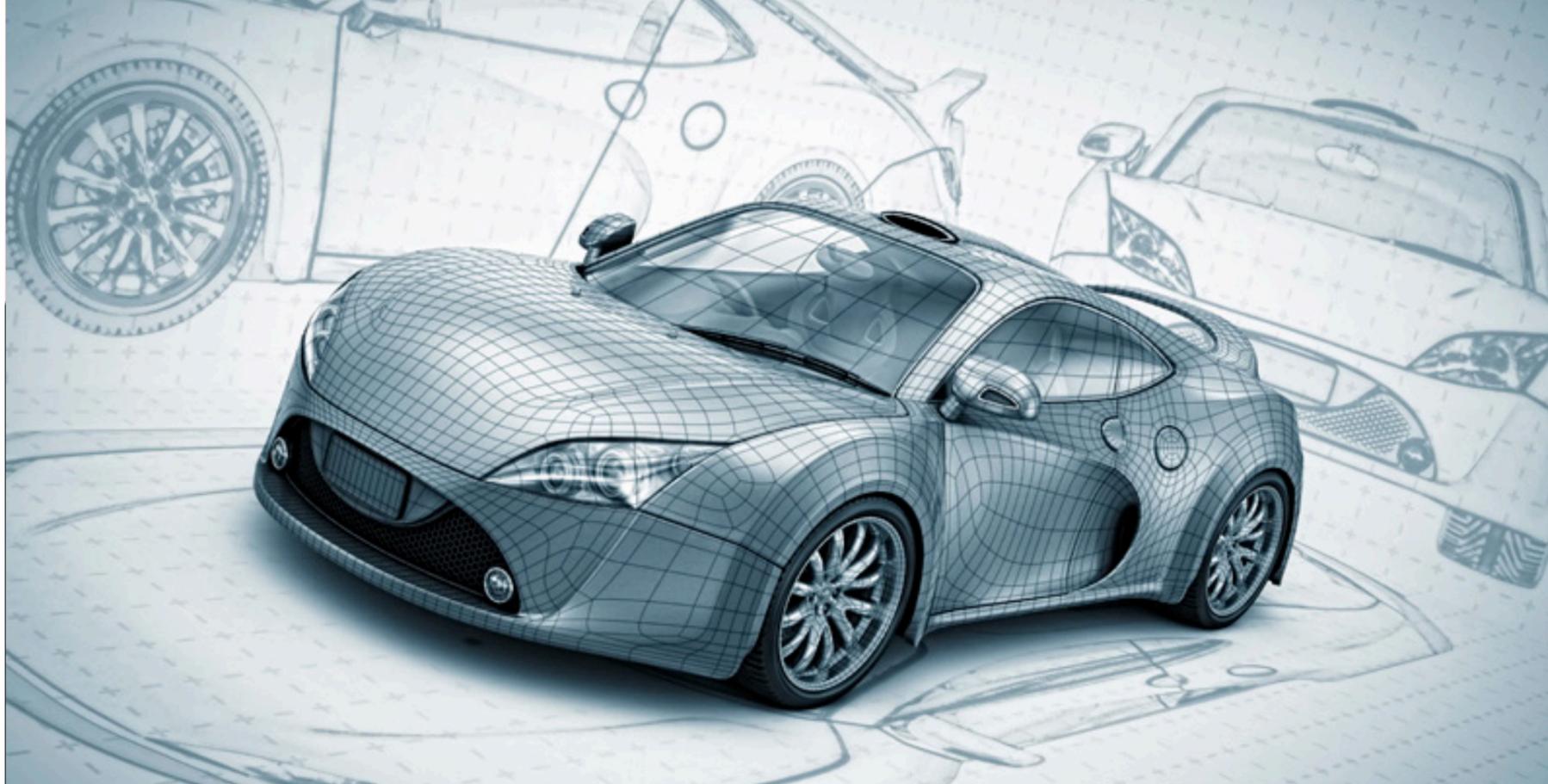
23-25 MAYO 2018 León, Guanajuato



 Mujer en la Ciencia

Dorothy Crowfoot Hodgkin  
Química Británica





# EL CITTAA

## EN EL CONTEXTO DE LA MANUFACTURA AVANZADA

DANIEL MAY

**Conforme nos adentramos en el siglo XXI** la industria ha tenido que encarar mercados que cambian muy rápido y en algunos casos de forma impredecible. Lo anterior ha sido impulsado por el incremento en la competencia y la globalización del mercado. Para mantener su competitividad, las empresas deben implementar sistemas de manufactura que operen con alta productividad pero que a la vez, permitan tener una rápida respuesta a las presiones del mercado y los cambios en las necesidades del consumidor. Lo anterior se ha logrado incorporando diferentes tecnologías en los procesos de manufactura, dando como resultado la Manufactura Avanzada.

La Manufactura Avanzada incluye entonces métodos versátiles de producción para utilizar las capacidades de fabricación al máximo y de una forma eficiente y efectiva, así como tener la capacidad de adaptarse a las constantes variaciones en los requerimientos de fabricación y la producción en masa sin tener que realizar una inversión tan grande. La Manufactura Avanzada integra un amplio conjunto de tecnologías habilitadoras, procesos y prácticas que las empresas de diferentes sectores industriales pueden adoptar para mejorar su productividad y competitividad.



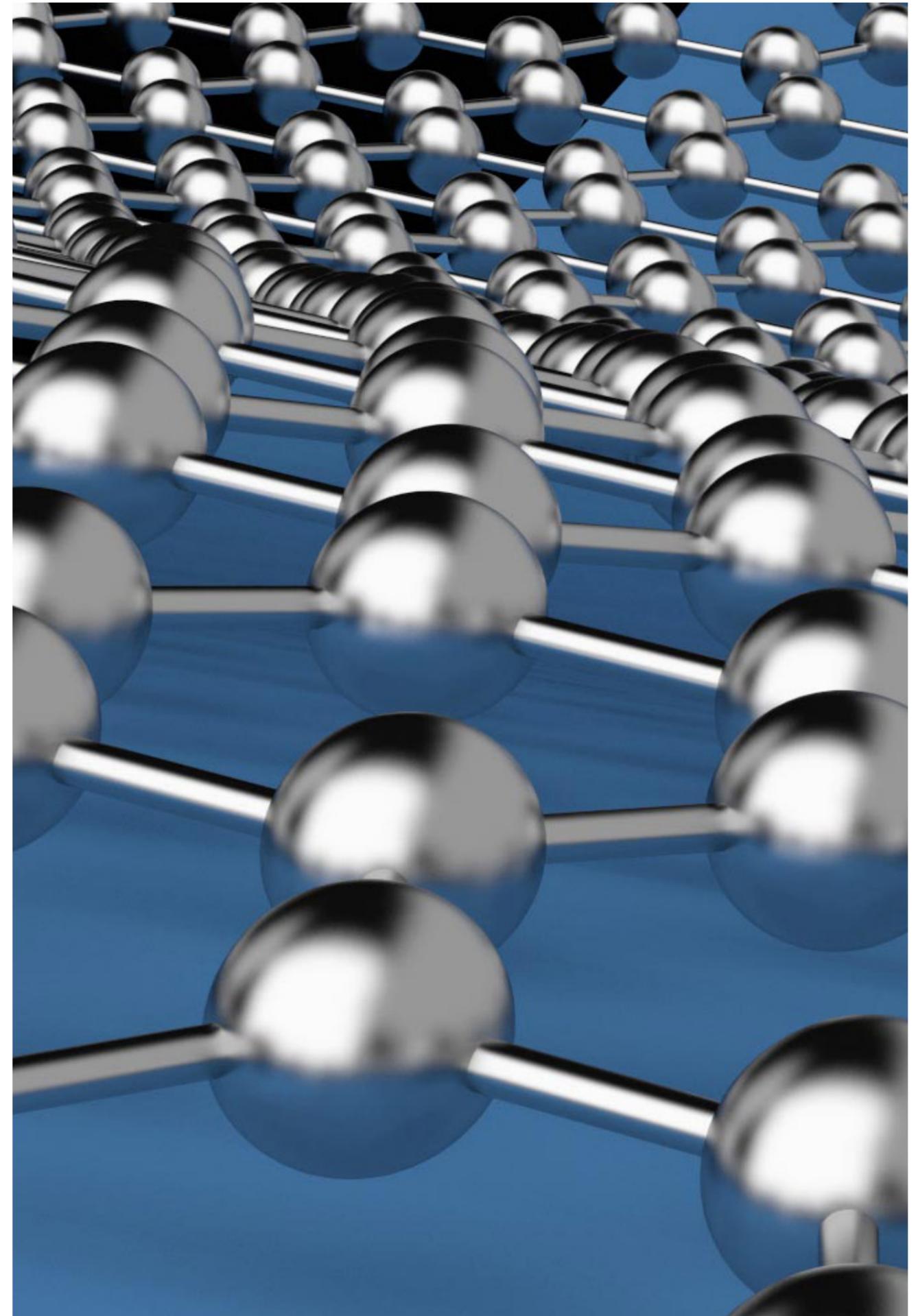
Algunos ejemplos de procesos y tecnologías en manufactura avanzada incluyen, por mencionar los más importantes:

- *Manufactura aditiva/Impresión 3D: Alternativa digital a la tradicional manufactura sustractiva en la que no solamente se reduce el desperdicio de material, sino que permite el diseño de prototipos rápidos así como la reparación de componentes costosos y en sitio.*
- *Materiales avanzados: Se refiere al uso de materiales novedosos, por ejemplo como fibras de carbón y grafeno, que permiten obtener materiales más fuertes, ligeros y más resistentes. En particular para la industria automotriz esta es una de las tendencias tecnológicas en el diseño de nuevos vehículos.*
- *Industria 4.0: La 4ª ola de la revolución industrial*

*que conecta automatización y robótica, computo en la nube, y la integración de sistemas/software para crear fábricas inteligentes.*

- *Nanotecnología: Ingeniería y tecnología desarrollada en nanoescala para desarrollar productos con propiedades específicas, como son drogas con blancos específicos y mejora de materiales con aplicaciones diversas.*

El Centro de Innovación y Transferencia Tecnológica del Estado de Aguascalientes para el Sector Automotriz (CITTAA) es un consorcio integrado por 12 Centros Públicos de Investigación (CPI's) los cuales unen sus recursos humanos y de infraestructura, para brindar servicios especializados, capacitación y desarrollos tecnológicos a empresas del sector automotriz, au-

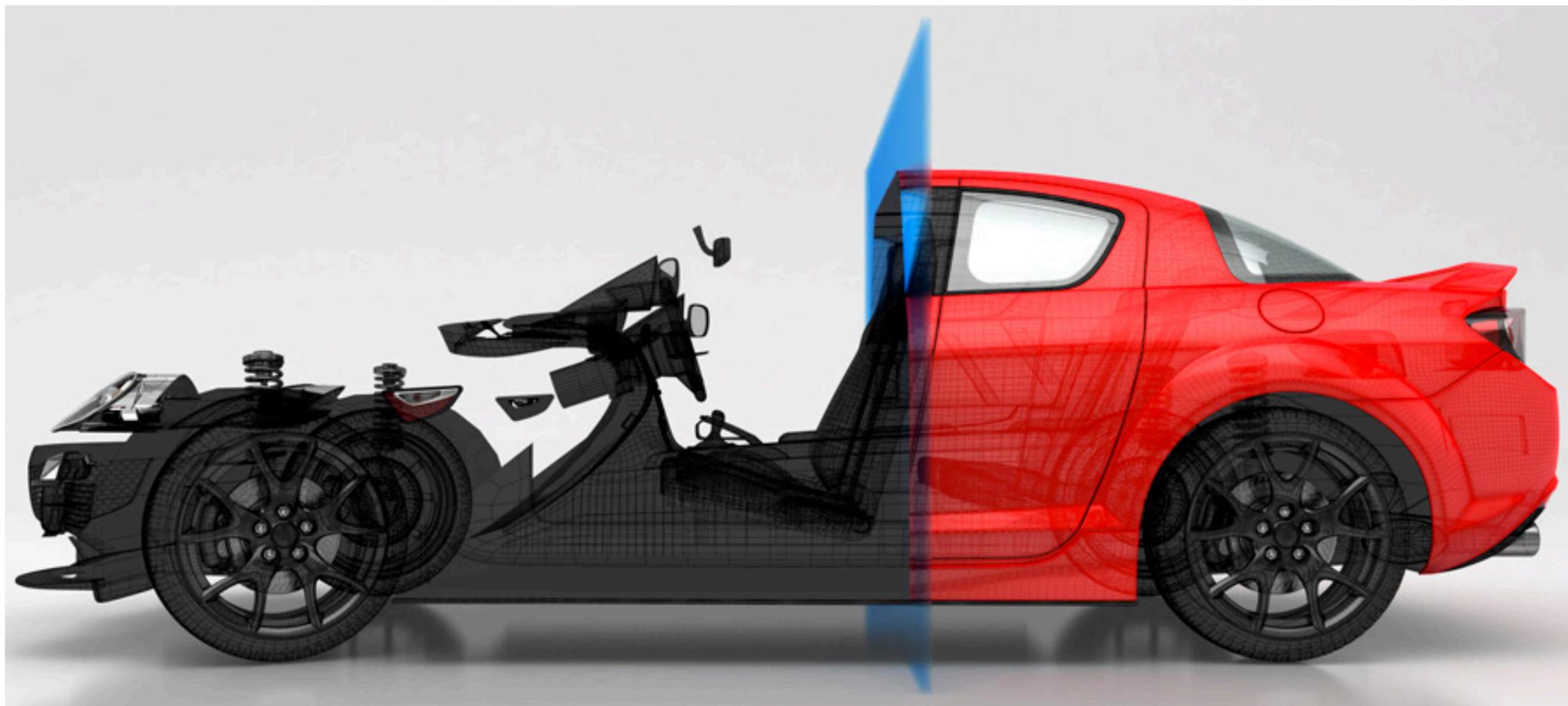


topartes, eléctrica, materiales, entre otros. Las instalaciones del CITTAА están ubicadas en la Ciudad de Aguascalientes, donde se está presentando un gran desarrollo en la industria de los sectores mencionados.

Considerando las necesidades que enfrentan diversas empresas del país para incorporar procesos de manufactura avanzada, el CITTAА se presenta como un aliado al incorporar a través de sus

socios capacidades en las áreas de desarrollo de maquinaria especializada, sistemas para el control de calidad, automatización y control, desarrollo de materiales, tecnologías de información, etc. Además se cuenta con laboratorios acreditados donde se pueden realizar servicios de metrología en diferentes magnitudes como: fuerza, dimensional, color, temperatura, masa, eléctrica, entre otras.

Es importante destacar que próximamente las instalaciones sede en Aguascalientes contarán con áreas para atender necesidades en pruebas de materiales, electrónica, visión, control y robótica. Con base en lo anterior, el CITTAА representa una ventana de oportunidad para empresas de diferentes niveles que buscan mejorar su competitividad y poder mantenerse y/o integrarse en la cadena de proveeduría de diferentes sectores. ■



# CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA MANUFACTURERA LABORATORIO DE FOTOMETRÍA Y RADIOMETRÍA DEL CIO

JUAN MANUEL BUJDUD

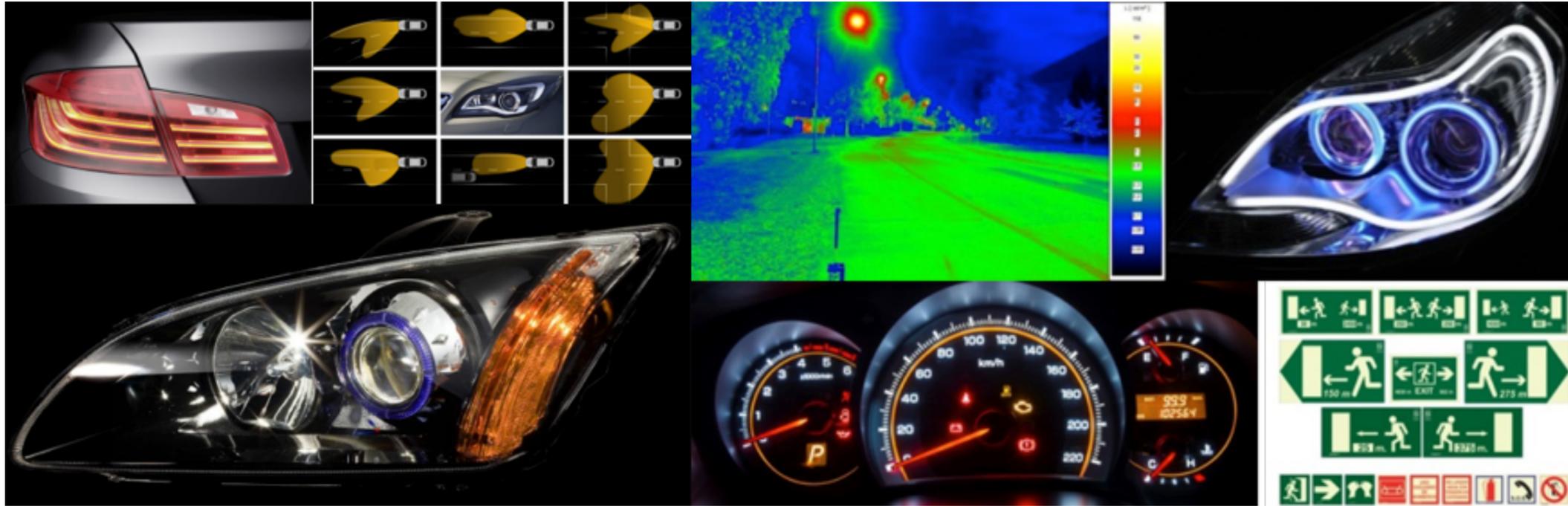
**El Laboratorio de Fotometría y Radiometría (LFyR)** del Centro de Investigaciones en Óptica, (CIO) Unidad Aguascalientes, se creó en el año 2016 para fortalecer la infraestructura del Centro y así proveer a sectores industriales, tales como automotriz y autopartes, aeroespacial, iluminación, señalización vial, textiles, agroindustria, cuero-calzado, electrónica, robótica, entre otros, con tecnología y servicios especializados que permitan atender sus necesidades, e impulsar su desarrollo y capacidad de innovación

El LFyR actualmente cuenta con dos laboratorios y un túnel fotométrico de 40 metros de longitud. El equipamiento del LFyR está constituido por: dos goniofotómetros, un sistema fotométrico con esfera integradora de 1 metro de diámetro, una cámara fotométrica (colorímetro de imagen) de alta sensibilidad, tres retrorreflectómetros portátiles, radiómetro UV-Vis, medidor de irradiancia espectral y espectrómetros UV-Vis.



Dentro de las capacidades técnicas de medición del LFyR, está el desarrollo e implementación de nuevas metodologías de medición, así como, la oferta de una cartera de servicios de medición especializados, de consultoría, asesoría y capacitación, mismos que pueden ser diseñados de acuerdo a las necesidades del sector productivo. Lo anterior, contribuye al desarrollo de recursos humanos en la materia, favoreciendo la mejora de la calidad de los procesos, servicios y productos de la industria manufacturera. Por otra parte, mediante estas capacidades se está potenciando el desarrollo científico que realiza el personal del CIO, además de estar abonando a la divulgación y difusión de la ciencia en estas áreas del conocimiento.

Las principales actividades que se han venido realizando en el LFyR son servicios de medición a diferentes empresas para el control de calidad y/o la caracterización fotométrica y colorimétrica de sus productos, tales como: materiales retrorreflectantes, caracterización fotométrica de fuentes de luz LED y luminarias de vialidades, señalamientos de seguridad y materiales fotoluminiscentes, luminarias automotrices como luces de stop, cuartos, intermitentes, calaveras y faros de niebla; así mismo, se han impartido cursos de capacitación a la medida. Por otra parte, hacia el interior del CIO, se han estado caracterizando nuevos materiales (fósforos) para el desarrollo de fuentes de iluminación de luz LED blanca y materiales fotoluminis-



centes; además de esto, se han visto beneficiados los programas de posgrado del Centro mediante el uso de los equipos de este laboratorio. Como ocurre con todos los resultados del CIO, se busca una sensibilización sobre la ciencia y tecnología en la sociedad, por lo que se realizan visitas académicas e industriales. La oferta de servicios que tiene el LFyR a la fecha es:

- *Caracterización colorimétrica, fotométrica y radiométrica de lámparas y luminarias para iluminación (LED, incandescentes, fluorescentes, UV, etc.)*

- *Mediciones de luminancia y color en: paneles de instrumentos y guías de luz, electrodomésticos, se-*

*ñalamientos viales, materiales fotoluminiscentes, pantallas publicitarias, etc.*

- *Evaluación de sistemas de iluminación en espacios de trabajo y de servicios, vialidades, invernaderos, etc.*

- *Caracterización colorimétrica y fotométrica de luminarias automotrices (faros, luces de stop, intermitentes, reversa, trasera, niebla, etc.)*

- *Caracterización de materiales retrorreflejantes como señalamientos viales, textiles, pinturas, retrorreflectores automotrices, etc.* ■



# COLORIMETRÍA INDUSTRIAL

CUAUHTÉMOC NIETO



**El color es una sensación “subjetiva”** experimentada por un observador, es la reacción a un estímulo físico. Para que exista color debe haber tres elementos: una fuente de iluminación, un objeto coloreado y un observador. La colorimetría es la ciencia que estudia la evaluación y cuantificación del color, en el humano se refiere a la percepción física del color (evaluación visual), mientras que instrumentalmente nos referimos a la cuantificación o medición de color utilizando un instrumento de medición llamado espectrocolorímetro (evaluación instrumental).

Al ser el color una sensación subjetiva y su interpretación estar en función de la iluminación, material, formas, acabado y presentación de un

producto, lo que realmente evaluamos es la apariencia de color, de ahí las frases como: “lo veo rojo subido”, “tiene un color muy vivo”, “se me figura como el de ayer pero con menos fuerza”; frases coloquiales muy comunes en las industrias donde la característica “color” es un control de calidad. Precisamente para eliminar estas frases coloquiales, la colorimetría ha definido los atributos del color: Tono/Tonalidad (rojo, verde, amarillo, etc.), Saturación/Crominancia (cromaticidad) y Claridad/Valor (qué tan claro u oscuro es un tono).

La CIE (Comisión Internationale de l’Eclairage) nombre francés de la Comisión Internacional de la Iluminación, desde 1931 ha desarrollado diferentes sistemas para la cuantificación y especi-

ficación de estímulos cromáticos en función de: valores triestímulos (X, Y y Z), un observador estándar y diferentes fuentes de iluminación. El principal y en el cual se basa toda la colorimetría instrumental es el llamado Diagrama de Cromaticidad que se muestra en la figura siguiente:

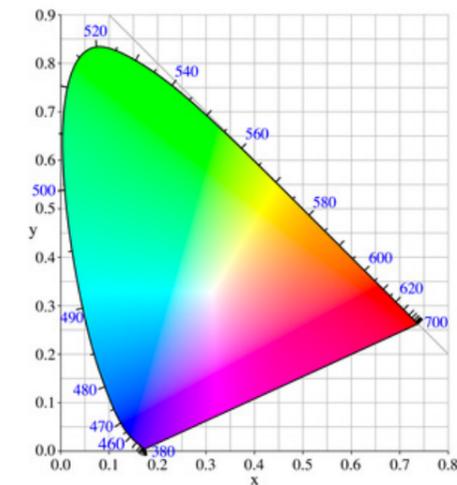


Figura 1. Diagrama de Cromaticidad x, y.

En él se representa el color en coordenadas x, y de un objeto con independencia de su Claridad. Posteriormente la CIE desarrolló el sistema CIEL\*a\*b\* que representa los atributos del color de forma tridimensional: Tono, Saturación y Claridad como se muestra en la figura:

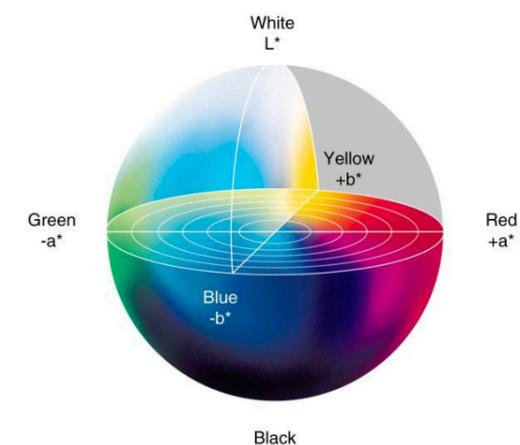


Figura 2. Diagramas CIEL\*a\*b\*.

La colorimetría instrumental se ha utilizado en la industria textil, de la piel, plástico, papel, artes gráficas, pintura, tintas, metal, construcción, muebles de oficina, alimentos, etc., desde hace muchos años como una herramienta para estandarizar sus tonos, es decir; mediante coordenadas de color CIEL\*a\*b\* establecer parámetros de calidad que aseguren la repetibilidad de los tonos por un lado y por el otro, definir tolerancias de color (PASA/NO PASA); por eso la evaluación instrumental de color va de la mano de una evaluación visual ya que lo que se desea es que, las diferencias numéricas al comparar las coordenadas de color de una muestra contra un master sean 0 (es lo ideal) y conforme se alejan del 0, definir hasta dónde no son perceptibles visualmente; en ese momento se establece una tolerancia de color PASA/NO PASA. En la actualidad existen ecuaciones como CMC ( $\Delta E_{CMC}$ ) que normalizan las diferencias de color numéricas y las diferencias perceptibles visualmente, estableciendo un valor de  $\Delta E_{CMC} = 1$  como

la frontera entre ve, o no ve diferencias de color el ojo humano. La Colorimetría Industrial y la definición de tolerancias se basa principalmente en estos dos conceptos: Mínima diferencia perceptible (control interno en producción/calidad) y Máxima diferencia aceptable (hasta dónde el cliente ACEPTA/RECHAZA). El Laboratorio de Espectrocolorimetría del CIO después de haber recorrido largos años hoy por hoy apoya a la industria de diferentes sectores en estos temas de colorimetría, principalmente capacitando al personal en el uso de instrumentos de color y definición de tolerancias PASA/NO PASA, como árbitro entre cliente-proveedor, desarrollo de proveedores, como laboratorio soporte para el inicio de nuevos desarrollos, etc. Este apoyo ha sido mayormente en los sectores industriales de textil, confección, alimentos, artes gráficas, plásticos, muebles de oficina, metal-mecánica, automotriz, etc., en alguno de ellos, gracias a este apoyo del CIO, han podido concretar contratos con empresas del extranjero. ■



# CLUB DE CIENCIAS DEL CIO



JUEGA + DESCUBRE + CREA



# COMPONENTES ASFÉRICAS

## ¿QUÉ SON?

## ¿POR QUÉ SON TAN IMPORTANTES?

## ¿CÓMO SE FABRICAN?

LUIS MANUEL ARREDONDO

**En el mundo de la óptica es muy común** hablar de componentes ópticas (lentes y espejos) que presentan perfiles o contornos que no siguen la forma de la esfera. La parábola, la elipse y la hipérbola son ejemplos de estos perfiles o superficies que conocemos como asferas.

¿Pero por qué utilizar superficies esféricas?, porque se trata de superficies que revisten una importancia muy relevante al ser utilizadas para reducir o eliminar uno de los defectos más importantes que afectan a las componentes ópticas: la aberración esférica.



La aberración esférica la podemos visualizar de la siguiente forma: cuando un rayo de luz pasa entre el centro y orilla de una lente, incide en un punto conocido como foco; si otro rayo de luz pasa por un punto cercano a la orilla de la misma lente, incidirá en otro punto ligeramente separado del foco; generándose de esta forma varios focos, esto lo conocemos como aberración esférica y se puede reducir o eliminar utilizando lentes curvas no esféricas, como se puede ver en la Figura 1 (a) y (b). Este tipo de aberración se presenta tanto en lentes como en espejos, Figura 1(c) y 1(d).

Cuando se envió el telescopio Hubble al espacio las primeras imágenes que captó mostraron que el espejo principal o primario tenía aberración esférica dado que estaba reflectando imágenes desenfocadas. Para solucionar este problema, se tuvo que agregar una componente que eliminara o redujera la aberración, esta componente fue la lente asférica denominada COSTAR.

La Figura 2, muestra como veríamos el efecto de la aberración esférica en el borde del cabello de una modelo.

Otra forma de reducir la aberración esférica es con varias lentes esférica de diferentes vidrios (diferente índice de refracción), como se observa en la Figura 3. Este tipo de arreglos presenta muchas superficies que tendrá que atravesar el rayo de luz, en cada una de ellas se presentará una reflexión y se perderá iluminación por lo que al final se verá una imagen oscura. Una lente asférica puede hacer el mismo trabajo de varias lentes con la ventaja de que presentará una menor pérdida de luz dando una imagen con mejor iluminación.

Además de la reducción o eliminación de la aberración esférica, una componente asférica presentan más ventajas, entre otras: la reducción del

número de lentes, mejor iluminación, menor peso y costo de producción; sin embargo su fabricación puede llegar a requerir de equipo de manufactura e instrumentos de medición especiales así como el desarrollo de nuevas habilidades de parte del personal que las fabrica.

#### ¿Cómo se fabrica una componente asférica?

Existen varias técnicas para fabricar lentes asféricas, siendo algunas de ellas:

- Pétalo de rosa
- Cámara de vacío parcial
- Proceso controlado numéricamente y con herramienta tipo bonete
- Proceso magneto-reológico

#### Pétalo de rosa

Utiliza una herramienta pulidora de forma caprichosa conocida como Pétalo de Rosa como la que se muestra en la Figura 4. Al presentar la herramienta zonas de no contacto con la superficie, se pule de forma no uniforme, generándose así una superficie asférica.

#### Cámara de vacío parcial

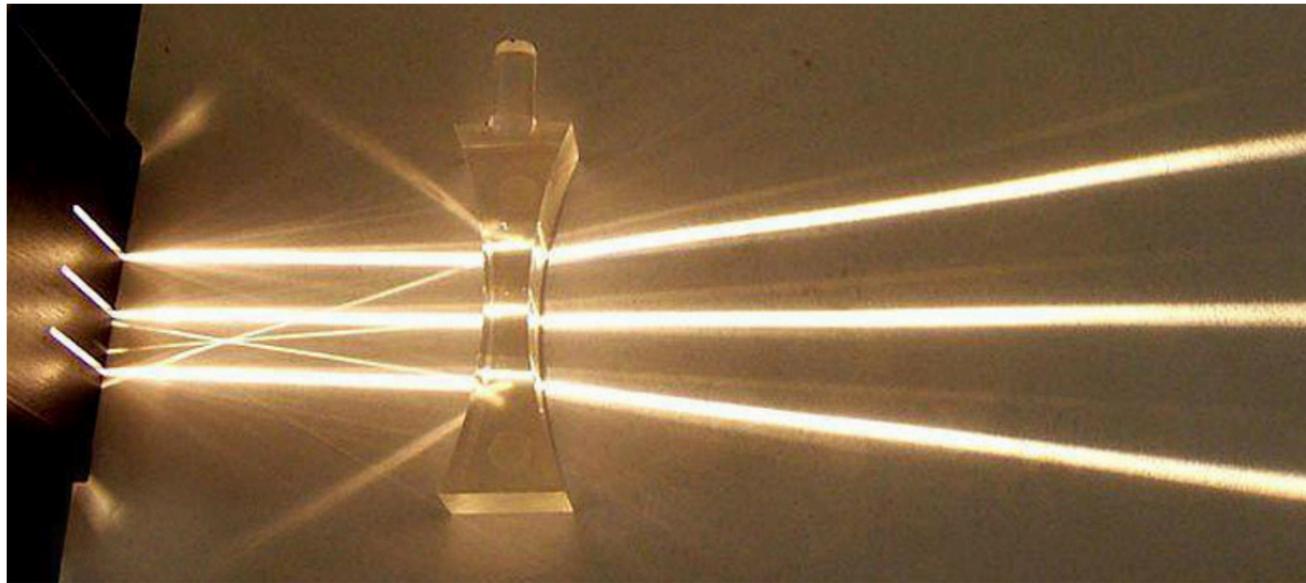
En este proceso se deforma la placa de vidrio por medio de vacío parcial para posteriormente iniciar el proceso de pulido. Concluido el proceso de pulido se libera la placa obteniéndose una superficie deformada, o una asfera, Figura 5.

Este método fue utilizado por Bernhard Schmidt para la fabricación de las placas correctoras que se utilizan, hoy en día, en los telescopios refractores.

#### Proceso controlado numéricamente y con herramienta tipo bonete

Este proceso se lleva a cabo en una máquina de





control numérico, (IPR400) y utilizando una herramienta pulidora neumática (bonete). La asfera se obtiene controlando la velocidad de avance de la herramienta pulidora a lo largo del diámetro de la componente. En las zonas donde la herramienta pase a mayor velocidad se deforma menos y se genera una protuberancia, y por donde la herramienta pasa a menor velocidad, se deforma y se hace un valle. Figura 6. De esta forma se obtiene la forma asférica de la superficie.

### Proceso con abrasivo magneto-reológico

Esta técnica de manufactura óptica, utiliza un abrasivo magneto-reológico que al pasar por un tambor cilíndrico electromagnético adquiere su curvatura y además se vuelve rígido, de manera que pule la superficie de la lente. La forma que adopte la superficie dependerá de cómo se controle la velocidad de oscilación de la lente, Figura 7.

Cualquiera de las técnicas mencionadas continúa hoy en día en proceso de innovación y mejora, dada las exigencias en tiempos de entrega y de calidad, cada vez más rigurosas, demandadas por la comunidad científica e industrial. 🚩

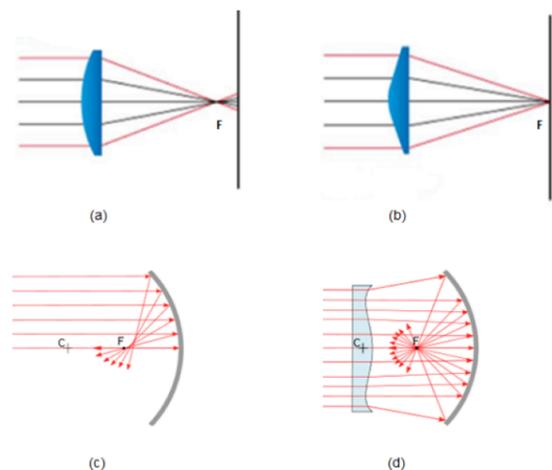


Figura 1. a) Lente con aberración esférica, b) Lente sin aberración esférica, (c) Espejo con aberración esférica, (d) Espejo con placa correctora que corrige la aberración esférica.



Figura 2. Imagen de modelo: (a) Con aberración esférica, (b) Sin aberración esférica.

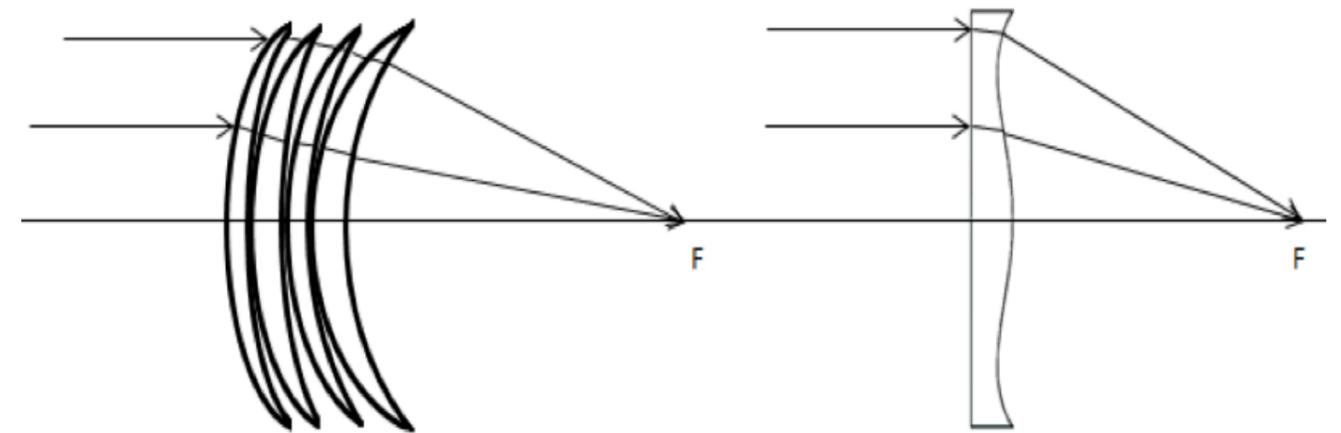


Figura 3. Alternativa para la reducción de aberración esférica, (a) 4 lentes con diferente índice de refracción, (b) Lente con superficie asférica. Fundamental Optical Design, M. Kidger, SPIE Press.



Figura 4. Herramienta pulidora tipo pétalo de rosa. (DAC Vision).

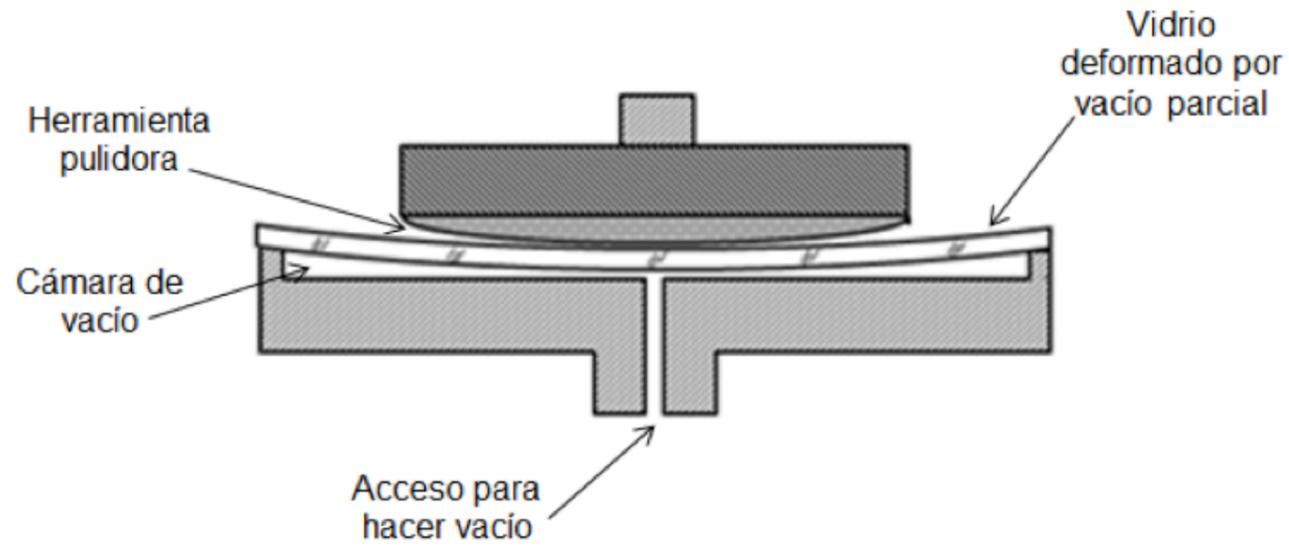


Figura 5. Proceso de pulido por medio de vacío parcial.  
L.M. Arredondo-Vega, CIO 1986.

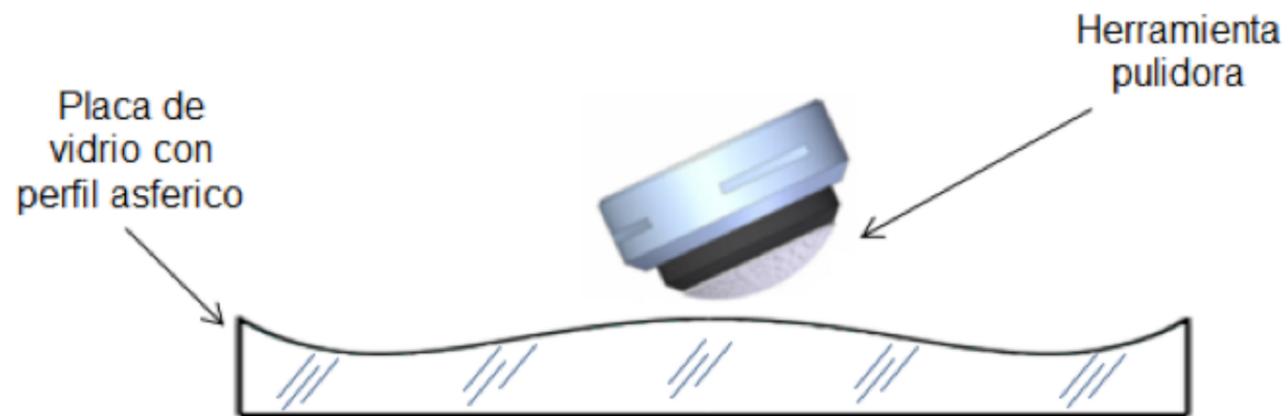


Figura 6. Proceso de pulido controlado numéricamente.  
Zeeko Ltd

A promotional graphic for the 'CINE CLUB' event. The background is dark blue with a film strip motif. At the top, there's a stylized illustration of a camera and film reels. The central focus is the 'CINE CLUB' logo, which includes a red armchair, a blue drink with a straw, and a yellow popcorn bucket. Below the logo, a film strip contains the text 'SPIE. OSA' and 'CINE CLUB'. To the right, there are logos for 'CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A.C.' and 'CONACYT'. A dotted line circles the text below the logo.

El Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) te invita a su Cine club "Paraxial" donde proyectaremos películas relacionadas con ciencia y al finalizar tendremos un breve debate al respecto.

Informes y sugerencias: [osa\\_chapeter@cio.mx](mailto:osa_chapeter@cio.mx) [comunicacion@cio.mx](mailto:comunicacion@cio.mx)

[www.cio.mx](http://www.cio.mx)



JOSÉ DE LA LUZ HURTADO

**En el CIO se desarrollan procesos** y procedimientos para la manufactura de componentes ópticas de alta precisión, así como recubrimientos de películas delgadas de alta eficiencia tanto en la luz visible como en el infrarrojo y el ultravioleta.

Durante los últimos años, el CIO ha trabajado en proyectos que involucran la manufactura de lentes que requieren de un manejo especial, como es el caso del Fluoruro de Calcio ( $\text{CaF}_2$ ), que por sus características particulares, como lo es la gran facilidad a fracturarse con leves cambios

de temperatura o el hecho de que es levemente higroscópico (le afecta el agua) pocos países las procesan. Sin embargo en el CIO se han desarrollado los métodos de fabricación que han permitido cumplir con la satisfacción de nuestros clientes. Las lentes que se han pulido, Figura 1, forman parte del espectrógrafo "MEGARA" que se encuentra en operación en Instituto de Astrofísica de las Islas Canarias, España, y es uno de los principales componentes del telescopio óptico más grande del mundo.

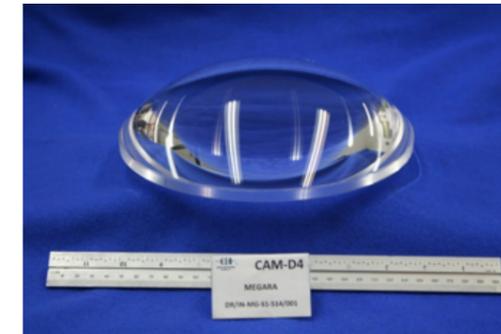


Figura 1. Lentes de fluoruro de calcio de 270 mm de diámetro.

Para cumplir con las tolerancias y tiempos de entrega fue necesario la modificación de varias máquinas de pulido, entre otras, las pulidoras de alta velocidad LOH, y por el tamaño de las áreas a procesar, se tuvieron que desarrollar y adaptar técnicas particulares de medición, una de ellas conocida como "Stitching", que consiste en unir y analizar varias imágenes de la topografía de la superficie pulida.

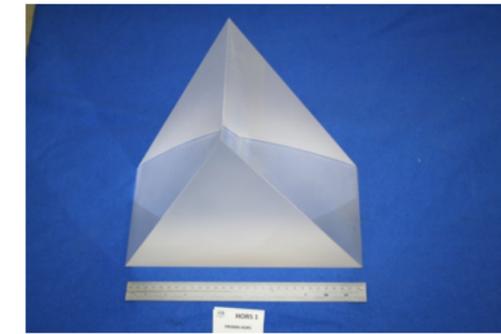
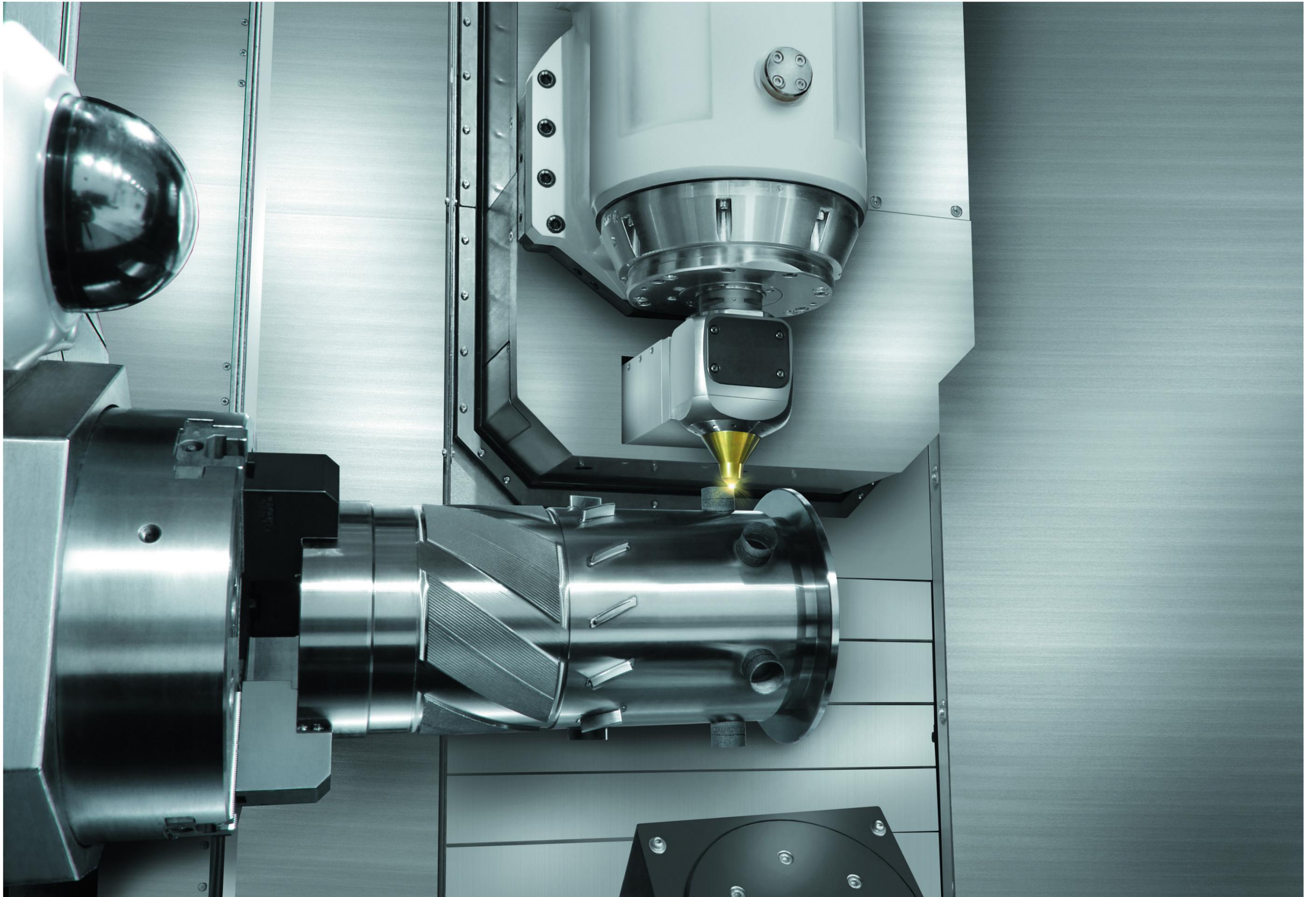


Figura 2. Prismas del proyecto "HORS".

Igualmente, se está estudiando y analizando el procedimiento para el pulido de superficies esféricas en ópticas de 10 cm de diámetro en la máquina con cabezal robótico IRP 400 de la compañía ZEEKO. Paralelamente a este trabajo se está desarrollando un proceso híbrido, denominado "Grolishing", que consiste en llevar a cabo un proceso de generado/esmerilado fino para pasar, sin mover la lente de la máquina, al proceso final de pulido. Este proceso incrementará la versatilidad de la máquina, permitiendo obtener superficies com-

plejas partiendo de superficies convencionales como son las esféricas y las planas, en menor tiempo. De esta manera podremos competir en el campo de la manufactura de lentes esféricas y de forma libre que optimicen el desempeño de los sistemas ópticos, así como reducir el número de lentes de dichos sistemas.

El desarrollo de estos proyectos ha venido a proyectar al CIO como una potencia a nivel mundial en manufactura óptica y aplicación de películas delgadas de lentes de alta precisión y de gran tamaño. ■



# COLABORACIÓN CON LA EMPRESA MABE

BERNARDINO BARRIENTOS



**De acuerdo a datos** de la Secretaría de Economía, la industria de la manufactura de electrodomésticos (aparatos eléctricos del hogar) en México representa alrededor de 11 000 millones de dólares anuales generando un poco más de 140 000 empleos. Casi el 85% de la producción de esta industria se exporta: principalmente a Estados Unidos (89.5%), Canadá (3%) y Colombia (1.5%). México es el primer exportador tanto de refrigeradores como de calentadores de agua y el segundo exportador de equipos de aire acondicionado; esto en conjunto con otros datos coloca a México como el quinto exportador global de electrodomésticos, por detrás de China, Alemania, Tailandia e Italia. Entre las principales empresas en el ramo en México, podemos mencionar a Mabe (México), Whirl-

pool (Estados Unidos), Samsung (Corea del Sur) y Electrolux (Suecia). Estas empresas se localizan en los estados de Nuevo León, Querétaro, Chihuahua, Guanajuato, San Luis Potosí, Estado de México, Coahuila y Tamaulipas.

El CIO ha aprovechado la cercanía y potencial de dicha industria y durante los últimos 10 años ha forjado una estrecha colaboración con la empresa Mabe, en la forma de desarrollo de proyectos de carácter tecnológico.

En los primeros proyectos llevados a cabo con Mabe en el periodo 2007-2012, el interés de esta empresa generalmente se centraba en el desarrollo de pruebas relacionadas con la eficiencia operacional de sus productos, las cuales se efectuaban en las instalaciones del CIO. En los últimos años, en tres

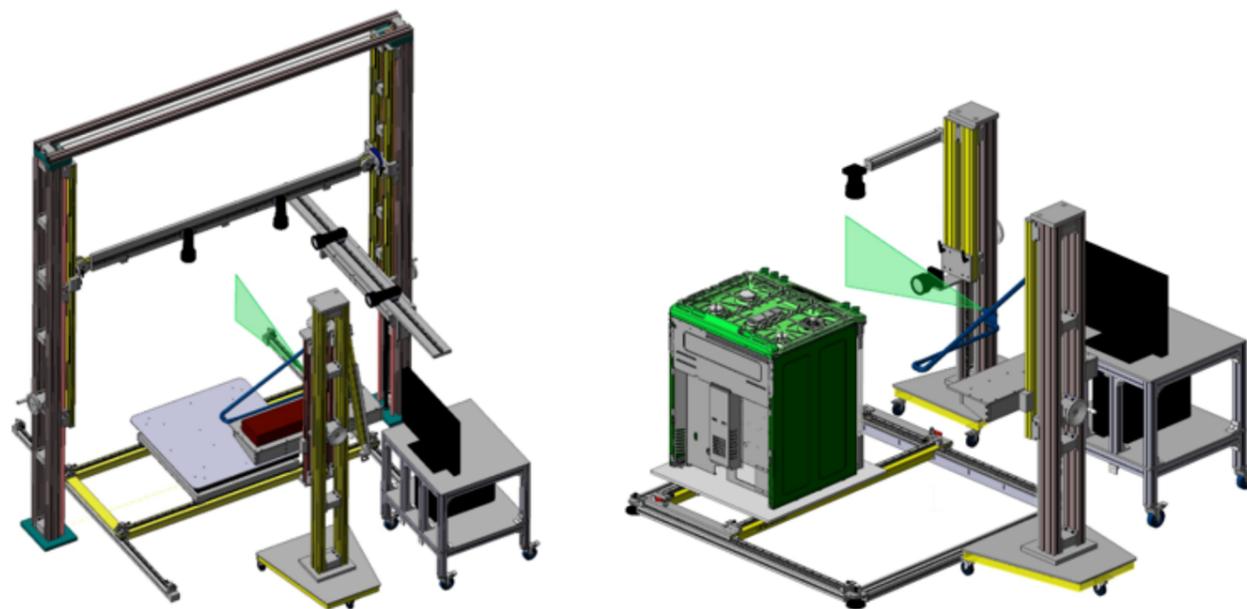
proyectos que se han tenido con ellos, dicho interés evolucionó a lo siguiente: los equipos de medición a utilizar serían diseñados para ser instalados en las propias instalaciones de la empresa. Esto significó un cambio sustancial en las actividades y objetivos de los proyectos: además de tener capacidad para cubrir sus necesidades de medición, se diseñarían y construirían herramientas tecnológicas que fueran robustas y simples de operar.

Una de esas herramientas tecnológicas se diseñó para medir caudal o gasto volumétrico del flujo de aire caliente en el tambor de secadoras eléctricas. Dicha información resulta valiosa a la hora de evaluar el desempeño energético del elec-

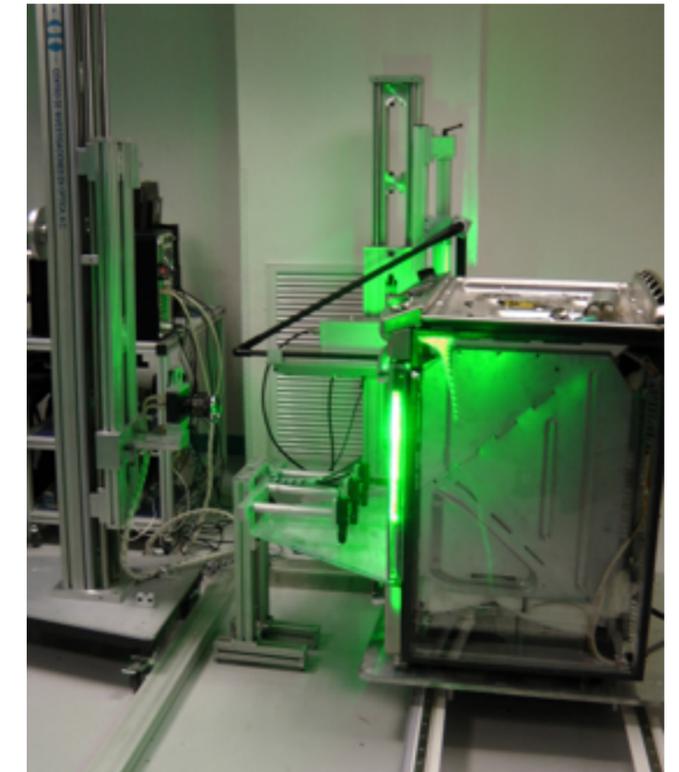
trodoméstico. En ese mismo tenor, se construyó un segundo equipo con la capacidad para medir velocidad en flujos de aire con temperaturas relativamente altas, del orden de 500 °C.

Finalmente, una tercera herramienta se construyó para contar con la capacidad para medir la temperatura de flujos transparentes, tales como aire y agua.

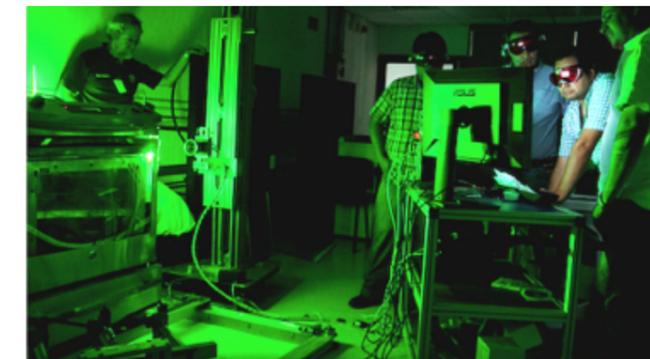
Estas tres herramientas tecnológicas actualmente son utilizadas por Mabe en forma rutinaria, principalmente para la evaluación tanto del funcionamiento como de la calidad de sus nuevos productos, los cuales deben ofrecer las mejores prestaciones en un mercado altamente competitivo. ▀



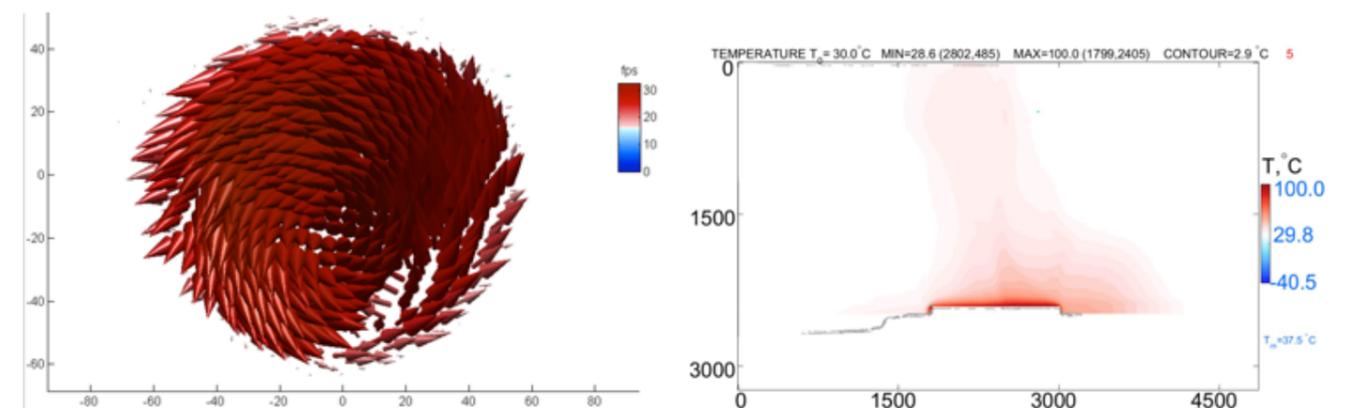
Diseños conceptuales de equipos para medir gasto volumétrico (imagen izquierda) y velocidad (imagen derecha).



Herramientas tecnológicas instaladas en Mabe, para gasto volumétrico (izquierda) y velocidad (derecha).



Prueba de medición de velocidad.



Algunos resultados experimentales de gasto y temperatura.

# TECNOLOGÍA TERAHERTZ EN EL SECTOR CUERO-CALZADO

ENRIQUE CASTRO

**La investigación básica es fundamental** para ser capaces de proveer soluciones innovadoras, pero debemos tener en mente que la capacidad de salir de nuestras oficinas y convertir todas esas ideas en soluciones que aporten valor y beneficios sociales es la verdadera razón para que la sociedad Mexicana ya sea por medio de programas gubernamentales o por la vía privada invierta en nosotros, si no aportamos soluciones estamos condenados a desaparecer como comunidad.

El implementar nuevas técnicas científicas para su explotación industrial es ciertamente un reto importante. En el Grupo de Ciencia y Aplicaciones de terahertz hemos trabajado con diversas industrias para usar la radiación de terahertz como una herramienta para el control de calidad.

Básicamente la radiación de terahertz tiene dos propiedades que la hacen útil para la inspección industrial.

- 1. Casi todos los materiales no metálicos y que no se encuentren húmedos, son al menos parcialmente transparentes en esta región*
- 2. El agua presenta tanto un índice de refracción como un coeficiente de absorción muy altos.*

El hecho de que el agua sea muy absorbente en esta banda hace a los terahertz una excelente herramienta de medición de la presencia de agua. Utilizando algoritmos de optimización para analizar las señales nos es posible determinar de manera simultánea el grado de hidratación y el espesor de las muestras sin necesidad de contacto físico, lo que es una gran ventaja en el caso de líneas de pro-

ducción donde el contacto entre los instrumentos de medición y los objetos en producción significa un riesgo de daño o de paro de la línea de producción cuando los objetos se atorán.

En el caso de los cueros tanto el contenido de agua como el espesor son parámetros de suma importancia y que cada vez más son requeridos por las industrias que adquieren el cuero para transformarlo en otros productos. El sistema de prueba que se instaló en la empresa Curtidos y Acabados Kodiak fue probado en condiciones de uso real en la línea de producción. El equipo adquiere señales de manera continua y las procesa, dando al operador de la línea de producción datos de espesor y humedad de cada una de las piezas de cuero que salen en tiempo real.

El proyecto fue sin duda exitoso, el siguiente paso es la creación de un prototipo que sea más robusto en términos de su operación de largo plazo en un ambiente como el de una planta de curtido. ■





## MEDICIONES DIMENSIONALES DE ALTA EXACTITUD UTILIZANDO LUZ LÁSER

CARLOS PÉREZ

**El Laboratorio de Pruebas Ópticas** asociado a las áreas de Manufactura de componentes ópticos de precisión, como lentes, espejos de primera superficie, prismas, etc., cuenta con un Interferómetro óptico para realizar mediciones dimensionales en las superficies que han de ser pulidas; es un Interferómetro tipo Fizeau de marca comercial WYKO. Un interferómetro es un instrumento de medición que utiliza luz láser para realizar interferencia o “combinación” de dos ondas de luz, una onda de referencia y otra onda de prueba; como resultado de dicha interferencia se producen patrones de líneas claro-oscuros llamados Interferogramas, los cuales son procesados digitalmente para obtener la información de la forma de la superficie bajo evaluación.

En los planos ópticos, discos de vidrio de caras plano-paralelas, utilizados en la Industria Metal-Mecánica para la verificación de algunos instrumentos de medición, tales como Vernieres o Maquinas de Medición por Coordenadas CMM, las desviaciones máximas permitidas de planicidad son del orden de 0.1 micrómetros, es decir, una décima parte de una milonésima de metro, y las desviaciones permitidas de paralelismo son de 0.2 micrómetros. Para medir estas desviaciones tan pequeñas el Interferómetro utiliza luz láser de una longitud de

onda de 0.633 micrómetros, luz roja característica de los láseres de Helio-Neón, para comparar la forma de la superficie contra un plano de referencia, también de vidrio, cuarzo de alta pureza, que está corregido hasta 0.02 micrómetros, y el cual se puede considerar como un plano mecánicamente perfecto. El cuarzo óptico, cuyo coeficiente de expansión térmica es casi cero, tiene la propiedad de ser altamente estable térmicamente.

El laboratorio cuenta con la autorización, para emitir Certificados de Calibración, de la Entidad Mexicana de Acreditación, emax, en la calibración de Planos ópticos y en la calibración de Paralelas ópticas. Nuestra superficie de referencia tiene trazabilidad Internacional al Patrón de planicidad del Reino Unido por el National Physics Laboratory, mejor conocido, en el ambiente de la Metrología, por sus iniciales NPL. ■



Figura 1. Interferograma correspondiente a la evaluación de una superficie plana

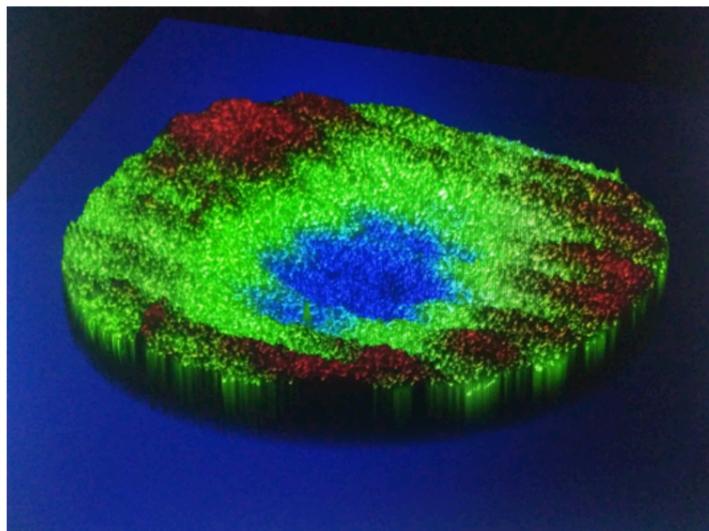


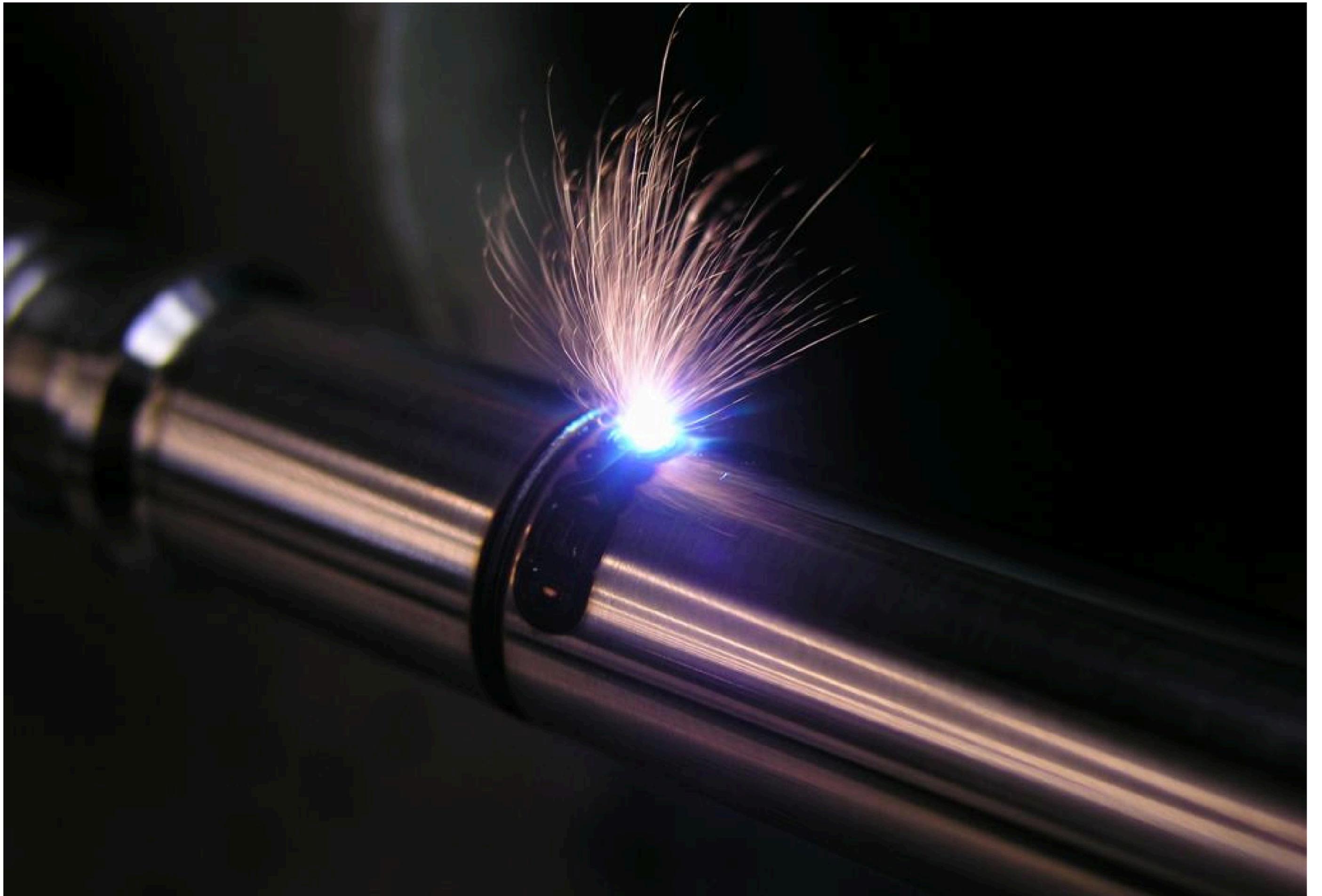
Figura 2. Topografía de una superficie plana calibrada con luz láser. La desviación Pico-Valle es de 0.02 micrómetros (diferencia de altura entre la zona azul y las zonas rojas).

# CLUB CIO DE ASTRONOMÍA



ÚLTIMO JUEVES DE CADA MES  
MÁS INFORMACIÓN EN REDES SOCIALES

Loma del Bosque #115, Col. Lomas del Campestre Tel. 4414200 Ext. 129



# MEDICIÓN DEL ÍNDICE DE REFRACCIÓN DE LÍQUIDOS USANDO FIBRA ÓPTICA

DAVID MONZÓN

La interferometría es sin duda la técnica óptica que más impulso ha dado a la modernización de la metrología dimensional. Es además la técnica más usada, en los laboratorios de todo el mundo, para certificar la calidad de las componentes ópticas fabricadas, ya que un interferómetro es capaz de resolver variaciones de decenas de nanómetro en el acabado final de una superficie. Sin embargo, es precisamente esta alta sensibilidad de los interferómetros, que los hace extremadamente vulnerables a las perturbaciones externas, lo que ha provocado que la interferometría haya quedado confinada a los ambientes controlados de los laboratorios de metrología y certificación. La conquista de los ambientes industriales, y en consecuencia la explotación comercial de la interferencia óptica, se logró con el desarrollo de los interferómetros de fibra óptica que aprovechan la alta sensibilidad, inherente al fenómeno físico, y eliminan la inestabilidad mecánica de las monturas de sujeción de los sistemas ópticos convencionales o de bulto. El CIO, que ha sido un pionero y es un referente a nivel nacional en temas relacionados con la metrología óptica basada en la interferometría, mantiene también un lugar sobresaliente en





la investigación y desarrollo de interferómetros de fibra óptica. Esquemas novedosos de sensores de temperatura, esfuerzo, vibración o índice de refracción (parámetro fundamental de la materia que se usa para la identificación de las sustancias, detectar adulteraciones, controlar procesos de producción, medir en tiempo real reacciones químicas o biológicas) se han desarrollado en el CIO utilizando interferómetros de fibra óptica en la configuración de Sagnac, Mach-Zehnder o Fabry-Perot. De entre los interferómetros de fibra óptica, la configuración Fabry-Perot tiene la estructura más simple pues solo se requiere colocar frente a la punta de la fibra óptica una superficie reflejante, como se puede observar en el diagrama de la Figura 1. El extremo de la fibra óptica debe tener un corte plano y perpendicular al eje de la fibra, en estas condiciones el 4% de la intensidad de la luz se refleja en la frontera fibra-aire y da lugar al haz de referencia del interferómetro. El resto de la luz sale de la fibra óptica y se propaga en el aire hasta que es reflejada por la superficie que se encuentra frente a la fibra óptica. Una porción de la luz reflejada puede volver

a entrar al núcleo de la fibra óptica e interferir con el haz de referencia. El espacio entre la fibra y la superficie reflectora se conoce como cavidad, típicamente en un interferómetro Fabry-Perot de fibra óptica la longitud de la cavidad es menor a medio milímetro, que para la mayoría de las aplicaciones es suficiente aunque se han desarrollado varias técnicas para incrementarla. La interferencia ocurre dentro del núcleo de la fibra óptica; hay una diferencia de camino óptico, entre los dos haces que viajan de regreso por la fibra hacia el detector, proporcional a la longitud de la cavidad multiplicado por el índice de refracción del medio confinado en la cavidad. Es decir, el periodo del patrón de interferencia está determinado por la longitud de la cavidad y el índice de refracción del medio. Cuando uno de estos parámetros cambia, el periodo de la interferencia cambia. Actualmente se trabaja en el CIO en la instrumentación de un prototipo de interferómetro Fabry-Perot para medir el índice de refracción de un líquido. Este prototipo básicamente utiliza el patrón de interferencia para calcular el índice de refracción del medio, cuando se conoce

el tamaño de la cavidad. Además de la integración de los elementos que conforman el arreglo experimental, mostrado en la Figura 1, se desarrolló el algoritmo computacional para determinar el índice de refracción a partir del espectro de reflexión óptica. En la fotografía de la Figura 2 se observa el prototipo, que consta de un gabinete en donde se ha instalado la fuente de luz, el divisor de haz de fibra óptica y el fotodetector, en la computadora portátil se despliega el patrón de interferencia óptica y su correspondiente espectro en el dominio

de Fourier a partir del cual se calcula el valor del índice de refracción del líquido. Aunque el prototipo desarrollado se encuentra en etapa de prueba, se ha logrado medir el índice de refracción de diferentes líquidos, y se ha podido medir el espesor del recubrimiento que se aplica a los reflectantes de automóviles para protegerlos de las ralladuras. Este tipo de sensores puede ser de gran utilidad para medir adulteración en sustancias, en la industria de procesamiento y fabricación de bebidas, en la industria química, por mencionar algunos. ■

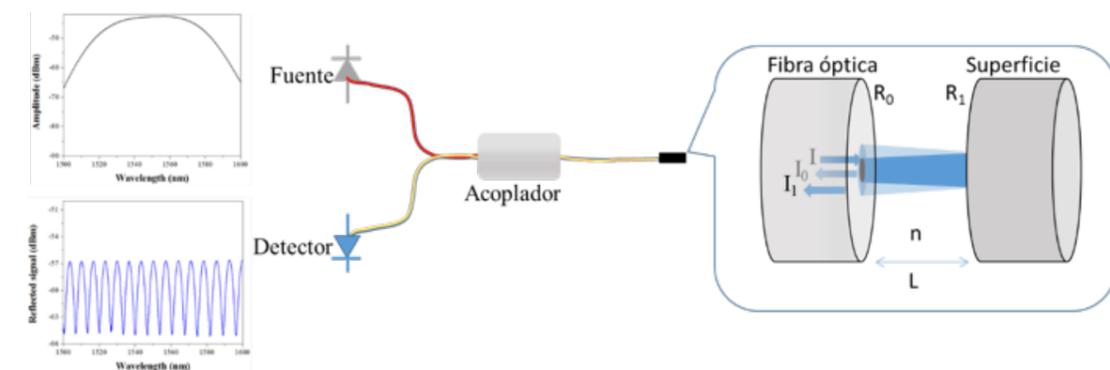


Figura 1. Arreglo experimental

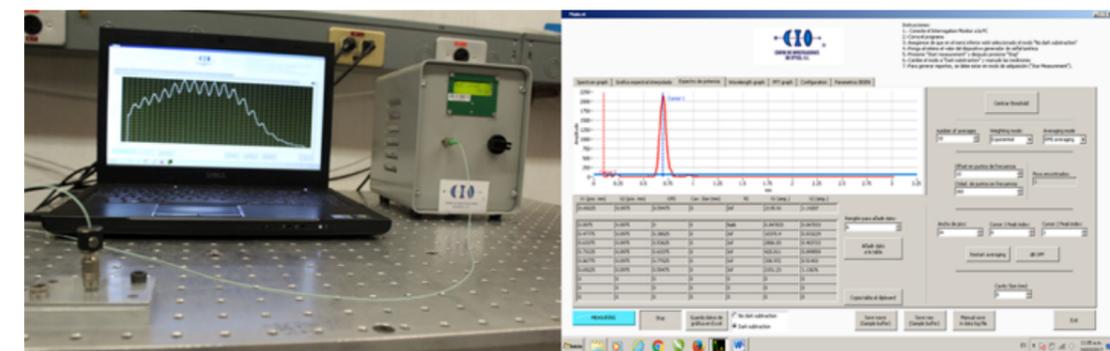
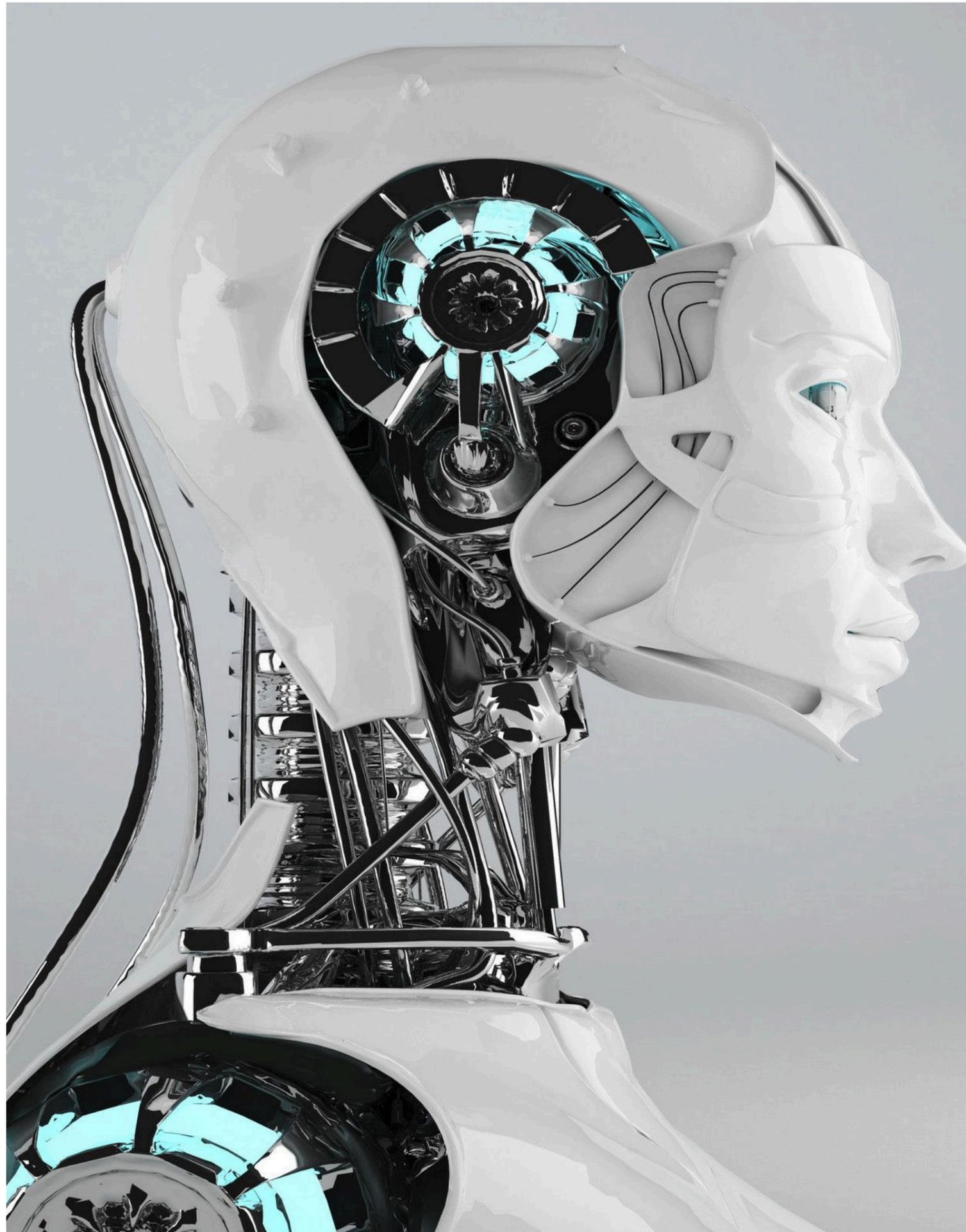


Figura 2. Fotografía del prototipo y de la pantalla del programa.



# AUTOMATIZACIÓN ROBÓTICA Y VISIÓN ARTIFICIAL EN LA INDUSTRIA 4.0

FERNANDO MARTELL

**El término industria 4.0** es cada día más ampliamente utilizado, pero ¿a qué se refiere ese concepto? Una definición concisa es la digitalización de los procesos de producción en las fábricas para hacerlos más productivos y eficientes. Una mayor digitalización y conectividad implica un mayor grado de automatización, lo cual permite a los procesos de manufactura orientarse a una demanda variable y cada vez más personalizada de productos. Pero, ¿cómo ha sido el desarrollo de las tecnologías de la automatización industrial?, ¿cuáles tecnologías emergentes posibilitan y potencializan a la industria 4.0?, y ¿qué retos y oportunidades representa esta tendencia tecnológica para las actividades de desarrollo tecnológico en el CIO? A continuación algunas ideas.



Para entender mejor el concepto de la industria 4.0 o cuarta revolución industrial es conveniente revisar cuáles han sido las tres revoluciones industriales. La primera revolución industrial se basó en la mecanización de los procesos a partir del impulso mecánico obtenido del vapor de combustión; en esta etapa fue posible la implementación de controles muy rudimentarios conectando sensores y actuadores mecánicos. Posteriormente, con la electrificación y la aplicación de motores eléctricos y de sistemas de control basados en relevadores electromecánicos se posibilitó la producción en serie, lo que se considera como la segunda revolución industrial.

A partir del desarrollo de la electrónica y la informática fue posible la automatización y computarización de los sistemas de manufactura, la denominada tercera revolución industrial se inició con el invento en 1969 del primer controlador programable Modicon 084 (MODular DIGital CONtroller). Los controladores lógicos programables (PLCs) en conjunto con sensores y actuadores equipados con acondicionamiento electrónico permitieron implementar sistemas de control más precisos y repetitivos tanto en la industria de manufactura (metalmecánica, automotriz, electrónica, etc.) como en las industrias de procesos (siderúrgica, química petroquímica, cementera, etc.). En las industrias de procesos tam-

bién se desarrollaron los sistemas de control distribuido (DCS) que, gracias al uso tarjetas electrónicas con convertidores Analógico-Digital (ADC) y Digital-Analógico (DAC), permitieron implementar estrategias avanzadas de control regulatorio, es decir, fue posible el control digital de procesos.

La automatización de los procesos de eventos discretos en las industrias de manufactura se ha basado principalmente en el uso de los PLCs, a los cuales se suman otras formas y tecnologías de automatización como los robots industriales y las máquinas de control numérico computarizado o CNCs; estas tecnologías se integran mediante redes de comunicación industrial para automatizar los

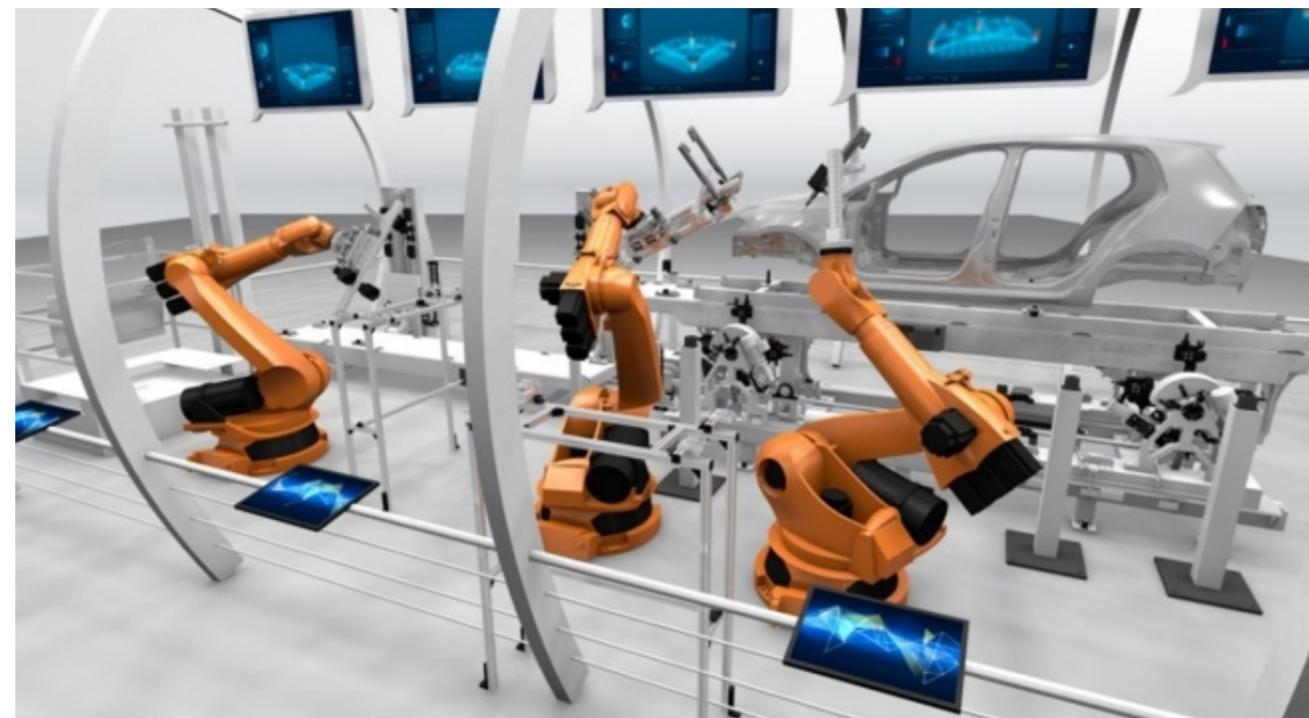
procesos de manufactura haciéndolos más robustos y flexibles. Para conformar celdas de manufactura se agregan sistemas de transporte de materiales, almacenes automáticos y sistemas de inspección con cámaras de video. Las tecnologías computacionales, por otra parte, permiten desarrollar sistemas de soporte a la manufactura. Los sistemas de diseño y manufactura asistida por computadora (CAD/CAM) y otros sistemas de control de la producción y de control de calidad que han evolucionado hacia los actuales sistemas de ejecución de manufactura (MES) y que se enlazan mediante bases de datos a los sistemas de planificación de recursos empresariales (ERP).

Hoy en día una planta industrial que tenga cierto grado de automatización se puede conceptualizar como una red de cómputo compuesta por diversas redes de comunicación industrial, que incluye desde buses de campo hasta redes ethernet industriales. En los niveles de piso de planta están las máquinas y procesos con sus sensores y actuadores, en un nivel intermedio se encuentran los sistemas de control supervisor y de ejecución de manufactura, y en los niveles superiores se encuentran las funciones de gestión de producción y calidad, y los sistemas administrativos y de negocio. Las anteriores tecnologías mencionadas se pueden considerar como parte de la industria 3.0, y si bien hay que reconocer que en el país hay aún mucho por hacer en el sector industrial en cuanto a la automatización y computarización de sus procesos de

manufactura, hay que mirar hacia la tendencia tecnológica que representa la Industria 4.0.

El término Industria 4.0 fue acuñado en Alemania a principios de la presente década y en Estados Unidos se le ha conocido con el término de fábricas inteligentes (Smart Factories). La industria 4.0 tiene ciertas características o especificaciones de diseño: 1) interoperabilidad, 2) transparencia y disponibilidad de la información, 3) asistencia técnica y 4) descentralización de tareas y toma de decisiones. La industria 4.0 se soporta en una serie de tecnologías, algunas de ellas aún emergentes. Las tecnologías posibilitadoras son principalmente el internet de las cosas (IoT) y los sistemas ciberfísicos.

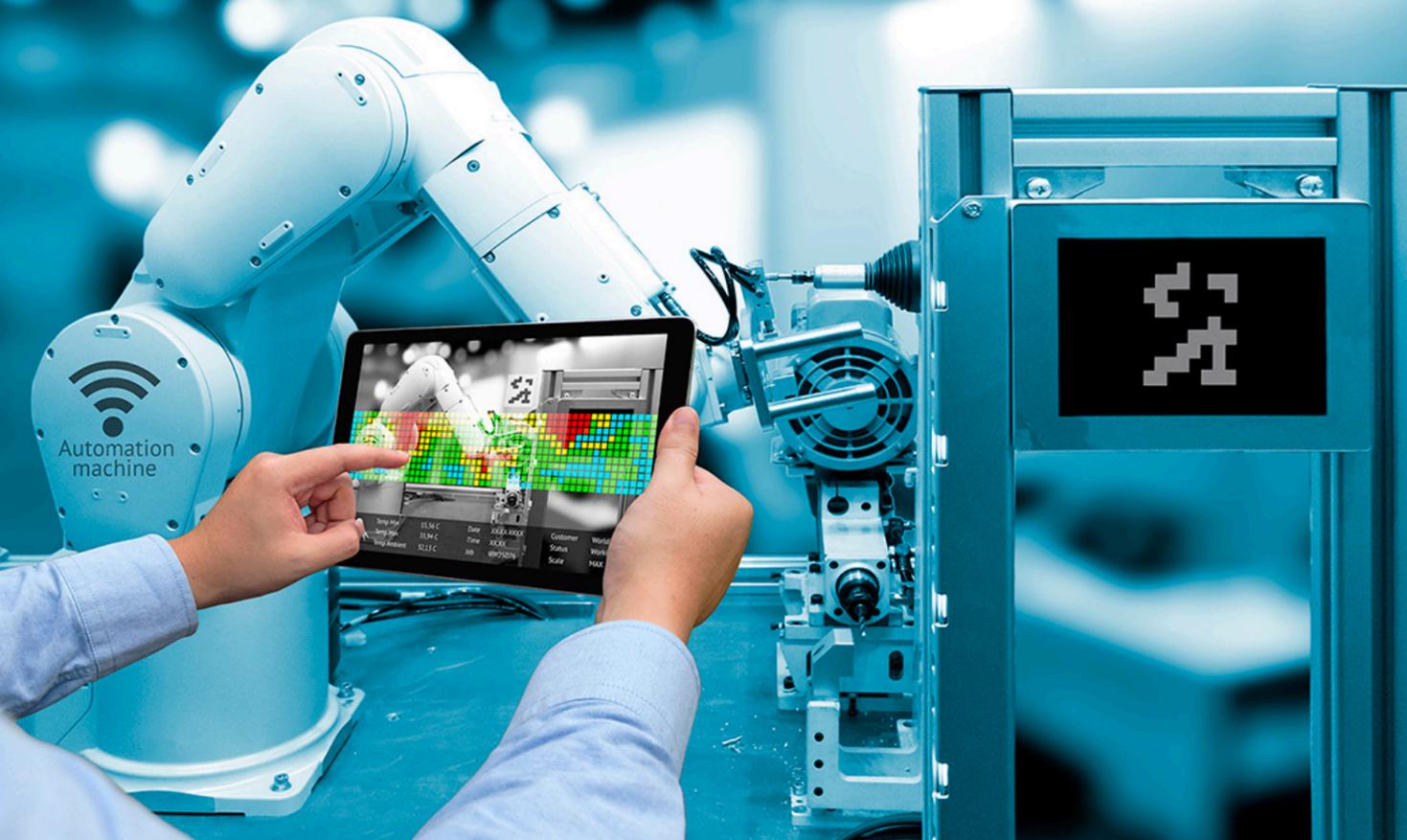
El internet de las cosas industrial (IIoT) es posible gracias a la amplia utilización de los pro-



tolos industriales ethernet (ProfiNET, Ethernet/IP, EtherCAT, etc.) que permiten agregar capacidad de conectividad a los sensores y actuadores e incluirlos en lazos de control en tiempo real. En la actualidad ethernet Industrial permite la integración horizontal (en el mismo nivel de automatización) y aplicado conjuntamente con otras tecnologías como OPC (Ole for Process Control) con arquitecturas cliente/servidor, posibilitan la integración vertical, es decir, de los niveles de piso de planta a los servidores de los sistemas MES y ERP. El hecho de que un sensor, un actuador o un controlador estén interconectados mediante redes y que puedan ser monitoreados desde internet, le aporta los atributos de interoperabilidad y de transparencia de la información al proceso industrial. Las redes industriales juegan entonces

un papel preponderante en la integración de la denominada tecnología operacional (OT) del piso de planta con las tecnologías de información (IT) de los sistemas de negocio.

Los sistemas ciberfísicos son la otra principal tecnología posibilitadora de la industria 4.0. Un sistema ciberfísico es todo aquel dispositivo que integra capacidades de computación y comunicación para controlar e interactuar con un proceso físico. Los sistemas ciberfísicos están conectados entre sí y a su vez conectados con el mundo virtual y las redes digitales. Un sistema ciberfísico consiste en que una máquina o proceso tenga su modelo virtual que pueda simular la respuesta dinámica del sistema físico. El sistema ciberfísico es entonces un sistema físico ampliado por tecnologías de información y comunicaciones. Por ejemplo, un ro-



bot habilitado para la industria 4.0 tiene su gemelo virtual, en el cual se pueden modificar y probar secuencias de operación, o bien, analizar escenarios de fallas. Los sistemas ciberfísicos aportan características de interoperabilidad, transparencia de la información y de asistencia técnica.

Hay varias tecnologías que también son muy relevantes para la industria 4.0 y que se les denominan potencializadoras como lo son: la visión artificial; la realidad virtual y aumentada; la manufactura aditiva; la computación en la nube (cloud computing); la analítica de datos (Big Data), y otras que son necesarias y convenientes para su operación como: la ciberseguridad; la integración vertical y horizontal; la simulación y el prototipado. La computación en la nube aporta la característica de descentralización de tareas y de toma de decisiones, ya que posibilita a los usuarios configurar los productos desde internet y, que cuando se realiza una compra, se pueda generar en línea la orden de producción del artículo. Modelos de negocio con estas características ya

han sido implementados como en el caso del fabricante de computadoras DELL que desde hace ya varios años comercializa computadoras configurables desde internet.

La revolución industrial que promueve y representa la industria 4.0 implica no solo mayores requerimientos de automatización y conectividad en los procesos de manufactura, se espera que las máquinas, herramientas y tecnologías que se usen difieran de las que se han venido utilizando hasta hoy en día. Máquinas inteligentes coordinarán los procesos de manufactura, los robots colaborarán entre ellos y con los operadores e ingenieros en las líneas de ensamble. Dispositivos inteligentes portátiles con conectividad a las redes de las plantas, como los actuales teléfonos y tablets, serán utilizados para coleccionar, visualizar y analizar información en tiempo real y de manera continua. Los parámetros de operación serán ajustados con requerimientos de calidad y datos estadísticos o históricos. El mantenimiento predictivo será más relevante que el mantenimiento preventivo o correctivo.

En el caso particular de la visión artificial se considera que será una pieza esencial de los sistemas de automatización en la Industria 4.0. Agregarle a los robots capacidades de visión y técnicas de inteligencia artificial implica reconvertirlos en una tecnología con capacidad de implementar funciones más avanzadas de automatización. Adicionalmente, a medida que progresan los sistemas de procesamiento y análisis de datos que se pueden acceder mediante cámaras de video se ampliarán las capacidades de los equipos de inspección para identificar productos defectuosos y tomar acciones correctivas. Con la aplicación de algoritmos de procesamiento digital de imágenes se pueden desarrollar e implementar soluciones de automatización y de inspección con un mayor grado de inteligencia computacional que requiere la Industria 4.0. Aquí hay grandes oportunidades para que con la información generada y procesada por los sistemas de visión se pueda realizar tanto investigación aplicada como desarrollos tecnológicos para el control y optimización de procesos.

Como se puede percibir, con las actuales tecnologías de automatización, robótica y visión e integrándolas a las tecnologías de información y comunicaciones, y a otras tecnologías emergentes ya es posible implementar la industria 4.0. Si bien hay que reconocer y enfatizar que en el país todavía hay mucho que hacer en cuanto a implementar la industria 3.0, se deben de diseñar sistemas de manufactura robotizados y equipados con sistemas avanzados de visión artificial y control inteligente que agreguen las características y funcionalidades requeridas por la industria 4.0. En este sentido, esta tendencia tecnológica representa grandes oportunidades para los centros de investigación como el CIO, ya que en los proyectos y desarrollos tecnológicos a realizar se debe de considerar el agregar funciones más avanzadas de automatización y de conectividad, es decir, hay que diseñar, especificar e integrar equipos que cumplan con los requerimientos de las fábricas inteligentes y de esta manera aportar más valor al sector industrial. ■



# LABORATORIOS ACREDITADOS DEL CIO METROLOGÍA

ÓSCAR GUTIÉRREZ

**La acreditación es el acto** por el cual una entidad de acreditación, externa al CIO, reconoce la competencia técnica y confiabilidad de los laboratorios, en este caso, de laboratorios de calibración.

Lo anterior, quiere decir que: año con año los laboratorios acreditados, son evaluados en sus diferentes capacidades, tanto técnicas como administrativas; cada laboratorio, es evaluado, por un grupo de expertos designado por la entidad acreditadora.

El CIO, cuenta con tres laboratorios acreditados ante la entidad mexicana de acreditación (ema), cada uno en tres áreas distintas, Dimensional, Fuerza y por supuesto, Óptica.

La necesidad de laboratorios de metrología acreditados, ha incrementado al mismo paso

que la industria en la región, ya que, para cualquier proceso o producto, que se desee ofrecer con la mayor calidad es necesario que estos sean evaluados constantemente, por medio de equipos de medición que puedan indicarnos si nuestros productos o procesos están realizándose de acuerdo a los estándares de calidad establecidos en cada empresa.

¿Qué sucede con los equipos de medición que utilizamos para controlar la calidad?, ahí es donde los laboratorios acreditados tienen su principal aporte, esos equipos de medición también deben ser evaluados constantemente para garantizar que las lecturas que se toman, sean confiables.

Para esto, los laboratorios acreditados del CIO, en cada una de sus magnitudes, cuentan con



patrones de referencia, de la más alta exactitud, los cuales son utilizados para calibrar los equipos de medición que utilizan las empresas.

Con la llegada de la industria automotriz a Guanajuato, llegó también la demanda por servicios de mayor exactitud ya que las tolerancias de medida de ésta industria oscilan en el orden de los micrómetros y nanómetros, por lo que, con equipos convencionales no es posible determinar si alguna pieza, por ejemplo, cumple o no cumple de acuerdo a su diseño.

El CIO cuenta ya con nuevos servicios acreditados para satisfacer estas nuevas necesidades, el laboratorio de Metrología Dimensional. En el año 2016, acreditó 26 nuevos servicios de alta exactitud, los cuales causaron un importante impacto positivo en la industria automotriz ya que estos servicios sólo se podían realizar en el norte del país, por lo que el costo y tiempo de entrega complicaba la operación diaria de las empresas. Con la acreditación de estos servicios en el CIO, apoyamos a la demanda de la región, reduciendo considerablemente el tiempo en el que las empresas reciben sus equipos.

Algunos de los nuevos servicios acreditados son: Calibración de anillos patrón con rosca recta, anillos patrón lisos, bloques patrón de longitud largos, pernos patrón cilíndricos, patrones de espesor, entre otros, todo esto con el patrón de alta exactitud, máquina unidimensional; calibración de esferas patrón, medición de redondez, calibración de ciertos parámetros de rugosidad y perfil, por medio de máquina de redondez y máquina de rugosidad y perfil.

Esta clase de servicios que el CIO ofrece, solo los tienen de uno a cuatro laboratorios más, distribuidos en el país de 70 laboratorios acreditados ante la eme, en el área de Dimensional.

En la Unidad de Aguascalientes, donde se encuentra el laboratorio acreditado en el área de Óptica, está sucediendo lo mismo: se está trabajando para ampliar la oferta de servicios de calibración acreditados dentro de las ramas de Radiometría y Fotometría, específicamente, calibración de fuentes de iluminación en temperatura de color y calibración de luxómetros, los cuales ya están en proceso de acreditación.

Siguiendo la misma línea de crecimiento, aumentando la cartera de servicios de alto impac-

to, se tiene planeado acreditar más servicios en la Unidad Aguascalientes. Se cuenta ya con equipo de la más alta tecnología para realizar caracterizaciones, mediciones y evaluaciones de sistemas de iluminación.

Para esto, se cuenta con túnel fotométrico, sistema fotométrico de esfera integradora y cámara fotométrica, equipos con los cuales, se podrán caracterizar lámparas y luminarias para iluminación, medir patrones de radiación espacial, flujo luminoso total, eficiencia, temperatura de color (TCC), índice de reproducción de color (IRC), coordenadas cromáticas, longitud de onda dominante, respuesta espectral, paneles de instrumentos y guías de luz, electrodomésticos, señalamientos viales, materiales fotoluminiscentes, pantallas publicitarias, espacios de trabajo en la industria, hospitales, tiendas departamentales, bibliotecas, invernaderos, vialidades, niveles de iluminancia y luminancia, temperatura de color correlacionada (TCC), índice de reproducción de color (CRI), entre otros. ■



# MANUFACTURA ÓPTICA

## LENTE Y ESPEJOS DE FORMA LIBRE

LUIS MANUEL ARREDONDO



**En la actualidad la manufactura** de componentes ópticas del tipo esféricas y forma libre, han tomado un papel muy importante tanto en los diseños de sistemas ópticos de precisión así como en la óptica oftálmica. Las exigencias de nuevos y complejos diseños de sistemas ópticos motivaron al Centro de Investigaciones en Óptica (CIO) para que adquiriera el equipo adecuado para hacer frente a la demanda de este tipo de componentes.

Desde hace algunos años el Centro de Investigaciones en Óptica CIO cuenta con la máquina IRP 400, Intelligent Robotic Polisher (IRP400) fabricada por la compañía Zeeko de Inglaterra, la cual que ha venido a ampliar las capacidades de manufactura óptica de precisión.

Dentro de las novedades que presenta la máquina, es su herramienta de pulido, hecha en base a una membrana neumática. Esta herramienta tiene la facilidad de cambiar el tamaño del punto de contacto (Spot) que hará con la superficie a pulir, en función a la rutina de pulido que se seleccione.

En la máquina IRP 400 se pueden pulir y corregir superficies de forma clásica (planos y esferas) y de forma compleja (asferas y forma libre) como se observa en la Figura 1 y en dimensiones que van de 50 a 400 mm de diámetro o diagonal y hasta 150 mm de espesor.

TPG y Metrology Tool Kit son los paquetes de programas básicos de la máquina que junto con la información topográfica que proporciona el sistema de medición interferométrica (WYKO) con que se cuenta, permiten analizar la superficie, generar los mapas de error y ajustar las rutinas de pulido para corregir la superficie que se procesa.

La capacidad de la máquina está, por el momento, limitada por los sistemas de medición con que se cuentan en nuestras instalaciones.

La Figura 2 muestra el diagrama de flujo del proceso.

Como se ha indicado, máquina IRP 400 está diseñada para pulir y corregir por lo que previo a que una superficie llegue a esta etapa deberá procesarse en las áreas de generado y esmerilado.

La máquina IRP 400 ha venido a cubrir la demanda que se tenía de pulir superficies esféricas y de forma libre de precisión que había sido muy difícil desarrollar y controlar con los procesos tradicionales de pulido.

Con esta nueva capacidad desarrollada en el área de manufactura óptica, CIOse coloca como líder en el desarrollo de estas componentes en América Latina. 🚩

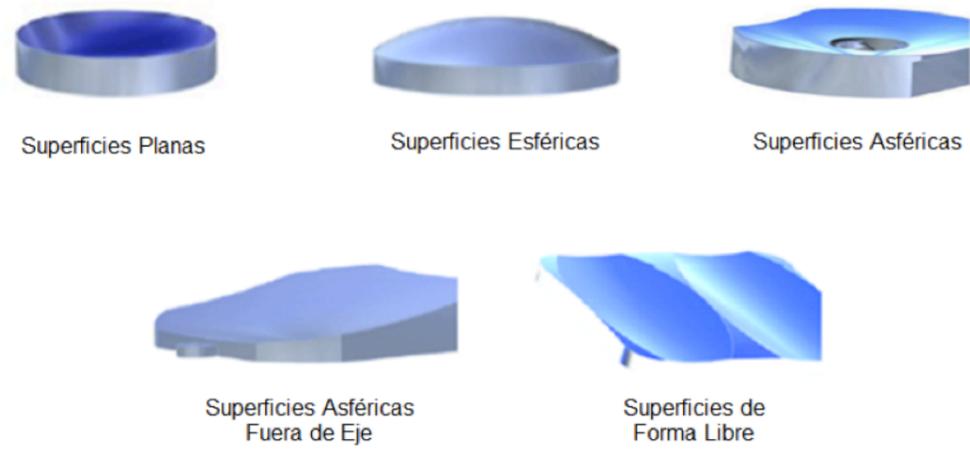


Figura 1. Formas de superficie que se pueden pulir en máquina IRP 400.



Proceso de Pulido en Máquina IRP 400 Para portada de revista

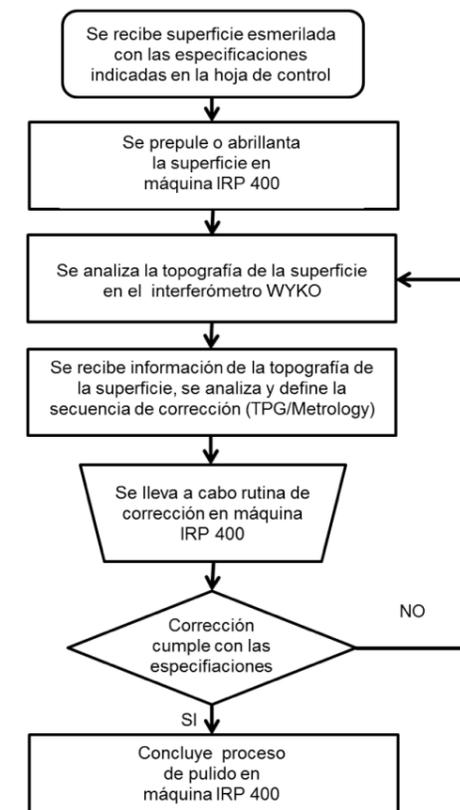
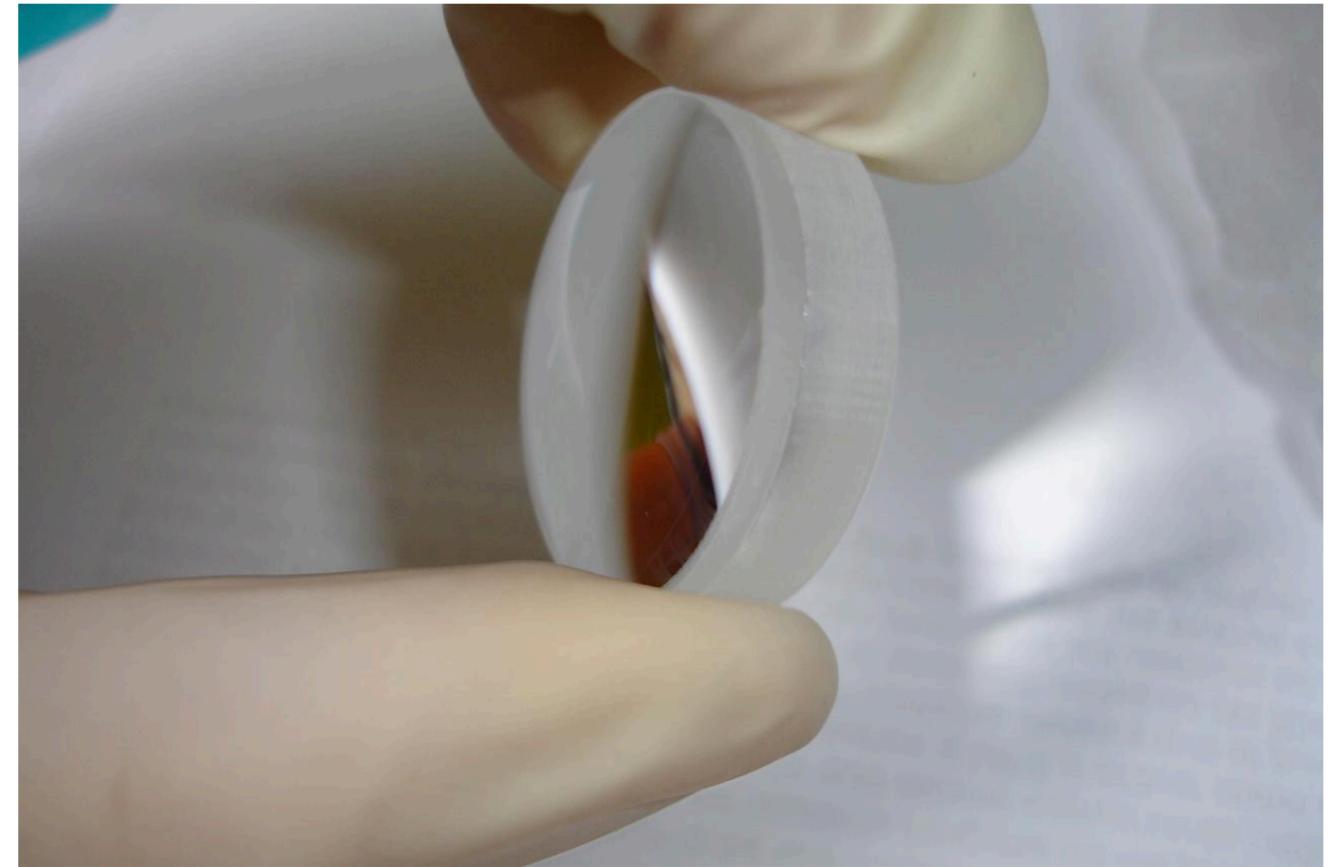


Figura 2. Diagrama de Flujo del Proceso de Pulido en Máquina IRP 400



# LÁSERES DE FIBRA VS LÁSERES DE CO<sub>2</sub>

*Durante muchos años el estándar de láser* para aplicaciones industriales de potencia fue el láser de bióxido de carbono sin embargo los láseres de fibra están cambiando esta situación. Velocidades de corte más altas y bajos costos de mantenimiento están inclinando la balanza hacia los láseres de fibra. Resulta más costoso un láser de fibra de 4KW que tres láseres de bióxido de carbono de 4KW. Esto es debido a que para un mismo wattaje un láser de fibra corta significativamente más rápido que uno de bióxido de carbono particularmente cuando se trabaja con placas metálicas de bajo espesor pues en esta caso el láser de fibra usa como gas auxiliar nitrógeno que solo es empleado para retirar de la zona de corte el material fundido. Para trabajar con espesores mayores los láseres de fibra requieren oxígeno como gas auxiliar para eficientar el corte y para expulsar el material fundido. En este último caso, para evitar que el material cortado muestre estrías se requiere un ajuste del sistema de focalización. <http://cefabrication.com/wp-content/uploads/2013/08/laser-cut-closeup.jpg>





# VINCULACIÓN CIO

## CON INDUSTRIAS SCALINI S.A. DE C.V.

ENRIQUE NOE ARIAS

**El Centro de investigaciones en Óptica A.C.** históricamente ha participado en varios proyectos de alto impacto para la sociedad y la industria. en el 2013 comienza la relación con industrias SCALINI a partir de la convocatoria PEI (Programa de Estímulos a la Innovación) edición 2014 con el proyecto: “Rediseño de un sistema detector de presencia para la seguridad de máquina de pegado por medio de sistemas opto-electrónicos y diseño de sistema de medición de temperatura sin con-

tacto”. El rediseño del sistema detector de presencia o barrera de seguridad óptica presentaba una problemática en su cadena de suministro. Para la fabricación se incluían algunos componentes electrónicos obsoletos por lo que, partiendo de este antecedente, se buscó alguna tecnología vigente, cuidando que el diseño realizado por el CIO fuera menos dependiente a la constante evolución en la tecnología. Se seleccionaron microcontroladores de Texas instruments así como sensores infra-

rojos comúnmente utilizados en la industria de la manufactura de TV, también se desarrolló un dispositivo para la medición de temperatura sin contacto utilizando un sensor infrarrojo el cual mediante un protocolo serial de comunicación se puede obtener la temperatura. Los prerequisites para el desarrollo de este prototipo fueron el uso del protocolo SPI (Serial Peripheral Interfase), para lo cual se desarrolló nuevamente el diseño electrónico con un microcontrolador.

Los proyectos antes mencionados fueron exitosos, la satisfacción y confianza obtenidas hacia nuestros desarrollos, nos permitió mantener la relación con Industrias SCALINI. Como consecuen-

cia se participó en la convocatoria FINNOVATEG 2015 con el proyecto “Plataforma Integral para el Monitoreo de parámetros eléctricos por medio inalámbrico”. Con esta participación en conjunto Industrias SCALINI incursiona en el mercado de la “Gestión Energética”, la motivación principal para este proyecto surge debido a una problemática presente en las empresas que gira en torno a el gasto excesivo de energía eléctrica.

Debido a que Comisión Federal de Electricidad (CFE) tiene diferentes tarifas para las diferentes industrias y en estos planes tarifarios están involucradas diferentes variables eléctricas. El proyecto consistió en el desarrollo de esta plata-

forma Software-Hardware capaz de medir los parámetros eléctricos de una empresa, enviarlos por red inalámbrica WI-Fi a una computadora y almacenarlos en una base de datos. El software ya desarrollado tiene las siguientes características:

1. *Multiusuario (gestión de usuarios en base de datos con permisos customizados)*
2. *Generación de alertas por sistema operativo o por correo electrónico (al estar realizando mediciones el software puede enviar alertas cuando un parámetro eléctrico sobrepasa algún nivel configurado)*
3. *Generación de reportes de consumo con los cálculos tipo CFE para hacer comparativas con el cobro realizado por la paraestatal.*

Este software está protegido intelectualmente ante el INDAUTOR con el registro No. 03-2016-111710410800-01 cuyo título es: PIME PLATAFORMA INTEGRAL DE MONITOREO ELECTRONICO.

El desarrollo de PIME, se ha exhibido en eventos para la proveeduría como son ANPIC y SAPICA, dando a conocer el sistema con diversas industrias. Actualmente el proyecto está en pruebas de funcionamiento y estabilidad, el siguiente paso es la comercialización del software. Se pretende mantener una relación de largo plazo con Industrias Scalini para el control, mejoras y mantenimiento del software PIME desarrollado dentro del CIO. ■



Imagen 1: Máquina fabricada por Industrias SCALINI con las barreras de seguridad óptica desarrolladas por el CIO.



Imagen 2: Pantalla principal de PIME midiendo algunos parámetros eléctricos de la acometida del laboratorio de Soluciones en Ingeniería.

# PUBLICACIONES RECIENTES



1. J. S. Velazquez-Gonzales, D. Monzon-Hernandez, D. Moreno-Hernandez, F. Martinez-Piñon and I. Hernandez-Romano, "Simultaneous measurement of refractive index and temperature using s SPR-based fiber optic sensor," **Sensors and Actuators B Chemical**, **242**, 912-920 (2017).
2. A. I. Hernandez-Serrano and E. Castro-Camus, "Quasi-Wollaston-Prism for Terahertz frequencies fabricated by 3D printing," **Journal of Infrared, Millimeter, and Terahertz Waves**, **38**, 567 (2017).
3. A. Tellez-Quiñones, D. Malacara-Doblado, Z. Malacara-Hernandez, D. Gutierrez-Hernandez and D. Malacara-Hernandez, "Transversal aberrations at arbitrary Hartmann-plane distances: application in the last-squares fitting of Hartmann data," **Applied Optics**, **56** (4), 1215 - 1224 (2017).
4. Y. E. Bracamontes-Rodriguez, O. Pottiez, E. Garcia-Sanchez, J. P. Lauterio-Cruz, H. E. Ibarra-Villalon, J. C. Hernandez-Garcia, M. Bello-Jimenez, G. Beltran-Perez, B. Ibarra-Escamilla and E. A. Kuzin, "Dual noise-like pulse and soliton operation of a fiber ring cavity," **Journal of Optics**, **19** (3), 035502 (2017).
5. J. A. Rayas, M. Leon-Rodriguez, A. Maritinez, K. Genovese, O. Medina and R. Cordero, "Using single-cube beam-splitter as a fringe pattern generator within a structured-light projection system for surface metrology," **Optical Engineering**, **56** (4), 044103 (2017).
6. K. M. Salas-Alcantara, L. Aparicio-Ixta, I. Torres-Gomez, M. Rodriguez, G. Ramos-Ortiz, R. Espinosa-Luna and J. L. Pichardo-Molina, "Modal interferometer based on a single mechanically induced long-period fiber grating and a nanoparticles-coated film section," **Optics Letters**, **42** (9), 1780-1783 (2017).
7. C. Mares, B. Barrientos and R. Valdivia, "Three-dimensional displacement in multi-colored objects," **Optics Express**, **25** (10), 11652-11672 (2017).
8. R. Zapata-Peña, B. S. Mendoza and A. I. Shkrebtii, "Pure spin current injection in hydrogenated graphene structures," **Physical Review B**, **96** (19), 195416 (2017).
9. M. Cywiak, D. Cywiak and E. Yañez, "Finite Gaussian wavelet superposition and Fresnel diffraction integral for calculating the propagation of truncated, non-diffracting and accelerating beams," **Optics Communications**, **405**, 132-142 (2017).
10. M. Padilla, M. Servin and G. Garnica, "Profilometry with digital Fringe-projection at the spatial and temporal Nyquist frequencies," **Optics Express**, **25** (19), 23045-23050 (2017).

# CURSOS DE CAPACITACIÓN 2018



## OFRECEMOS CURSOS A LA MEDIDA, ADECUADOS A LAS NECESIDADES DE SU EMPRESA

CURSOS	FECHA	EQUIPO REQUERIDO	DURACIÓN
RADIACIÓN UV	22 Febrero		8 hrs
TALLER DE CALIBRACIÓN EN METROLOGÍA DIMENSIONAL	24,25 y 26 Abril		24 hrs
TALLER DE FIBRA ÓPTICA CON APLICACIÓN A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ	30 y 31 Mayo		16 hrs
ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD (MSA 4ª. EDICIÓN)	5 y 6 Junio		16 hrs
BÁSICO DE ILUMINACIÓN	14 Junio		8 hrs
COLORIMETRÍA BÁSICO	27 y 28 Junio		16 hrs
FORMULACIÓN DE COLOR TEXTIL A NIVEL LABORATORIO	11 y 12 Julio		16 hrs
MICROSCOPIA ÓPTICA	21, 22 y 23 Agosto		24 hrs
SISTEMAS LÁSER EN LA INDUSTRIA	20 Septiembre		5 hrs
TALLER DE CALIBRACIÓN EN METROLOGÍA DIMENSIONAL	25, 26 y 27 Septiembre		24 hrs
ADMINISTRACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN CUBRIENDO EL REQUERIMIENTO 7.6 DE LAS NORMAS ISO 9001-ISO/TS16949	30 y 31 Octubre		16 hrs
COLORIMETRÍA BÁSICO	7 y 8 Noviembre		16 hrs
TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS Y DIMENSIONALES BASADAS EN LA NORMA ASEMA	4, 5 y 6 Diciembre		24 hrs

### TAMBIÉN CONTAMOS CON CURSOS ESPECIALIZADOS:

- ✓ HOLOGRAFÍA DIGITAL (MAPAS DE VIBRACIÓN)
- ✓ TALLER DE FABRICACIÓN ÓPTICA
- ✓ ÓPTICA BÁSICA
- ✓ PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES
- ✓ TECNOLOGÍA EN INFRARROJO
- ✓ TECNOLOGÍA LÁSER
- ✓ METROLOGÍA ÓPTICA



## INFORMES

capacitacion@cio.mx

Loma del Bosque 115 · Col. Lomas del Campestre · León, Guanajuato, México · Tel. (477) 441 42 00 Ext. 157

# COMITÉ DE ÉTICA



Firman partidos de México cinco compromisos para adherirse a la campaña internacional 'HeForShe' de la ONU, que exige implementar medidas que garanticen el acceso equitativo de las mujeres.

La igualdad de género nos beneficia a todas y todos



Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.

**¡NO TE CALLES!**

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, OIC o bien consulta en el INMUJERES sin costo: 01 800 0911 466 o al correo: [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)

En México los casos de acoso sexual hacia las mujeres (sin considerar otro tipo de hostigamiento) superan los 25,000 al año, pero únicamente 40% llegan a denuncia, según la SFP



Si reconoces alguna conducta de hostigamiento, acoso sexual o discriminación dentro del CIO.

**¡NO TE CALLES!**

Realiza la denuncia acudiendo al Comité de Ética, OIC o bien consulta en el INMUJERES sin costo: 01 800 0911 466 o al correo: [contacto@inmujeres.gob.mx](mailto:contacto@inmujeres.gob.mx)



CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ÓPTICA, A.C.