

Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez: Breve descripción de la fotónica.

National Technological Institute of Mexico Campus Tuxtla Gutiérrez: Brief description of photonics.

Jorge Luis Camas Anzueto* (1).
Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez.
jcamas@tuxtla.tecnm.mx.

Rubén Grajales Coutiño (2). Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, ruben.gc@tuxtla.tecnm.mx.

Rocío Meza Gordillo (3), Tecnológico Nacional de México/I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rocio.mg@tuxtla.tecnm.mx.

José Antonio Hoyo Montaña (4), Tecnológico Nacional de México/I. T. de Hermosillo,
jose.hoyom@hermosillo.tecnm.mx.

*corresponding author.

Artículo recibido en septiembre 09, 2024; aceptado en septiembre 24, 2024.

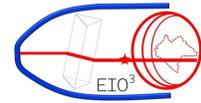
Resumen.

En este artículo se redacta una visión de lo que es la fotónica como área importante en el desarrollo tecnológico del Estado de Chiapas. La fotónica se encuentra relacionado fuertemente con conocimiento relacionado con la óptica ya que utiliza la interacción de la luz con la materia, a través de la manipulación y control en la generación y detección de luz. La fotónica en el Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez inicia con destellos a partir del 2005. Hoy en día es una realidad que la fotónica está presente en el Estado de Chiapas como un área de oportunidad para desarrollar tecnología de alta precisión en áreas como la ingeniería civil, agricultura, medioambiente, química y medicina. Las instituciones que ofrecen esta oportunidad de ofrecer desarrollo de tecnología en fotónica son el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH) y la Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas (UNICACH).

Palabras claves: Fibra óptica, fotónica, óptica, sensor de fibra óptica.

Abstract.

This article reviews photonics as an important area in the technological development of the State of Chiapas. Photonics is closely related to knowledge related to optics since it uses the interaction of light with matter through manipulation and control in the generation and detection of light. Photonics in the Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez began with flashes from 2005. Today, it is a reality that photonics is present in the State of Chiapas as an area of opportunity to develop high-precision technology in areas such as civil engineering, agriculture, environment, chemistry, and medicine. The institutions that offer this opportunity to provide technology development in photonics are the National Technological Institute of Mexico campus Technological Institute of Tuxtla Gutiérrez, the Autonomous University of Chiapas (UNACH, by its acronym in Spanish), and the University of Sciences and Arts of Chiapas (UNICACH, by its acronym in Spanish).



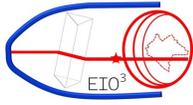
Keywords: Fiber optic, sensor Photonic, optic, optical fiber.

1. Introducción.

La fotónica como una definición general se puede describir como una ciencia que investiga la interacción de la luz con la materia considerando las diferentes propiedades que ofrece la luz con la finalidad de estudiar la forma en que la luz se genera y se detecta para manipular y aprovechar la energía y la información que los fotones transportan. La evolución de la fotónica ha impactado en avances tecnológicos en la vida humana, ofreciendo grandes oportunidades de desarrollo tecnológico, científico y económico. Hoy en día, es necesario continuar con la motivación en el desarrollo de la fotónica para ir cubriendo las necesidades del ser humano. Por lo que en la actualidad, se necesita de técnicas avanzadas en el procesamiento de imágenes médicas y endoscopia, sistemas de comunicaciones ópticas de alta velocidad de transmisión, ancho de banda y calidad en el envío de señales a través de fibra óptica, desarrollo de celdas fotovoltaicas de alto rendimiento para elevar la eficiencia de conversión de energía solar a energía eléctrica, investigación de nuevos materiales para mejorar la calidad en la generación de nuevas fuentes de luz donde se involucra a los diodos emisores de Luz (LEDs), procesamiento de materiales con láseres de alta potencia para cumplir con los desafíos mundiales en energía, agricultura, comunicaciones y salud, entre otros muchos. Como ejemplo del alcance de la fotónica en el desarrollo de ciencia se encuentra en la física de partícula que necesita de sensores ópticos desarrollados con materiales avanzados para la detección de partículas. Además, la química analítica necesita de estos sensores ópticos como instrumentos ópticos para determinar características importantes en la interacción de la luz con la materia. Otro equipo de interés muy importante es el Sincrotrón que genera Radiación de Sincrotrón que es utilizado para observar intrínsecamente a la materia con gran precisión, lo cual permite descubrir nuevos productos farmacéuticos conociendo la composición química a través de determinar los átomos y en qué estado se encuentran. Los microscopios de la actualidad ofrecen una oportunidad en la medicina y la ciencia en la toma de imágenes a nivel nanométrico ofreciendo detalles que antes no se tenía acceso. O los láseres de alta potencia que inducen condiciones extremas en la materia para estudiar su comportamiento. En los años recientes, las principales economías del mundo, como los Estados Unidos de América, el Reino Unido, Alemania y Canadá, han reconocido a la óptica y la fotónica como tecnologías clave en su desarrollo futuro (secretaría de economía, 2016). Esto abre la oportunidad en México para el desarrollo de la fotónica y tomar el liderazgo en Latinoamérica como País eje. Importante destacar que, en 2018, se propuso reformar la Ley de Ciencia y Tecnología para incorporar, como bases de una política de Estado que sustente la integración del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación, la óptica y la fotónica como tecnologías esenciales para el desarrollo futuro de México en materia económica, educativa, científica, tecnológica y de innovación (Cámara de Diputados, 2018). La propuesta se llevó a cabo en la cámara de diputados y motiva a los investigadores que nos encontramos realizando investigación y desarrollo tecnológico en Fotónica en las diferentes regiones del País a continuar en este camino emocionante de la Ciencia y Tecnología. Sin embargo, uno de los principales problemas a lo que se encuentra un investigador que hace ciencia y desarrollo tecnológico en fotónica es la adquisición de equipo especializado por el alto costo y el acercamiento que no existe entre la industria y los grupos de investigación. Describiendo más específicamente la evolución de la fotónica en el Estado de Chiapas, se ha encontrado que ha sido lento por la falta de conocimiento de la amplia oportunidad que ofrece en las aplicaciones importantes en áreas regionales de interés como la agricultura, salud, energía renovable, medio ambiente y hoy en día más aún en el monitoreo de estructuras civiles dado que Chiapas es considerada a nivel Nacional como una zona sísmica activa. Esto conlleva a que se debe continuar y superar los desafíos de la falta de infraestructura tecnológica avanzada y la necesidad de mayor financiamiento para la investigación. Con todo esto, en el Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez se ha venido desarrollando sensores ópticos y sensores de fibra óptica para aplicaciones en medio ambiente, así también aplicación de la tecnología láser en el control de maleza y en la estimulación de semillas para lograr una eficiente germinación.

2. Aplicación de la fotónica en Chiapas.

La fotónica como área importante en el Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Tuxtla es una realidad. La fotónica se ha desarrollado dentro de los Posgrados Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica



(MCIM) y el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (DCI), ambos con reconocimiento en el Sistema Nacional de Posgrado del Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT). En el DCI se ha propuesto como línea de Investigación principal Fotónica y Electrónica. La descripción de la línea Fotónica y Electrónica proporciona la oportunidad de realizar investigación aplicada de frontera en áreas innovadoras como la fotónica, la fotoquímica y la espectroscopía de materiales emergentes que interactúan con la luz. Estas tecnologías tienen aplicaciones en la generación de luz, absorción y desarrollo de sistemas sensitivos como sensores ópticos o de fibra óptica, así como en administración y uso eficiente de energía. Además, desempeñan un papel crucial en la configuración del futuro de la tecnología, permitiendo el desarrollo de dispositivos más rápidos, eficientes y versátiles. A continuación, se describe algunas de las aplicaciones realizadas en nuestra Institución que han sido publicadas en revistas científicas de arbitraje rigurosos indexadas en la Journal Citation Report (JCR) y otros índices. Dentro de estas aplicaciones se enlistan el amplificador óptico como medio activo en láseres de fibra óptica, Salud, medición de parámetros químicos y físicos, monitoreo de la salud estructural y agro-fotónica.

1. Amplificador óptico:

i) Diseño de un amplificador de alta ganancia utilizando fibra dopada con Erblio para estudiar fenómenos no lineales.

En este trabajo se presentaron resultados de una configuración de un amplificador óptico de alta ganancia elaborado a partir de fibra dopada con erbio. Su propósito es la amplificación de pulsos de baja potencia provenientes de diodos láser. El amplificador óptico fue construido con dos etapas de amplificación. La primera etapa utilizó una configuración reflexiva donde una señal se amplifica dos veces en la misma EDF. La segunda etapa funcionó como un amplificador de alta potencia. Finalmente, se logró que la amplificación de un pulso de entrada de 1.5 mW se obtuviera un pulso de 70 W en la salida.

ii) Amarre de la longitud de onda de la emisión de un diodo láser con retroalimentación distribuida para un amplificador de fibra óptica dopada con Erblio en configuración reflectiva.

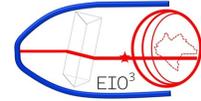
Se propuso un diseño electrónico confiable y exitoso de un control de la temperatura para amarrar automáticamente la longitud de onda de un láser de diodo de retroalimentación distribuida (Distributed FeedBack, DFB) y se demostró que mejora la eficiencia de un amplificador de fibra dopado con erbio. Se construyó utilizando un termistor de un enfriador comercial para monitorear la temperatura en el láser de diodo DFB. El DFB fue modulado por un generador de pulsos como señal de entrada del Amplificador. El tiempo de estabilización de amarre de la longitud de onda a fue de 100 s. El esquema de bloqueo de longitud de onda proporcionó minimizando la emisión espontánea amplificada.

iii) Nuevo enfoque para mediciones indirectas de corriente alterna basado en la interrogación de un láser de fibra.

En este artículo se demostró una alternativa novedosa para medir la corriente alterna de manera indirecta, con tecnología de fibra óptica. En este caso se utilizó la interrogación de un láser de fibra dopado con Erblio. El principio de funcionamiento se basa en la detección de la temperatura de un cable eléctrico AWG-22 causada por el efecto Joule. La transferencia de calor entre una rejilla de Bragg de fibra que actúa como sensor y el cable eléctrico modula la intensidad de la potencia de salida óptica del láser de fibra. La variación de la intensidad del láser de fibra es causada por el proceso de superposición de longitudes de onda en el láser de fibra. La ventaja de la alternativa propuesta es la medición de la corriente CA a través de la potencia óptica del láser de fibra. El incremento lineal de la potencia de salida óptica en función de la temperatura permite la medición de la corriente CA, lo que es una ventaja sobre otros métodos.

iv) Nuevo enfoque para mediciones indirectas de corriente alterna basado en la interrogación de un láser de fibra.

En este artículo se demostró una alternativa novedosa para medir la corriente alterna de manera indirecta, con tecnología de fibra óptica. En este caso se utilizó la interrogación de un láser de fibra dopado con Erblio. El principio de funcionamiento se basa en la detección de la temperatura de un cable eléctrico AWG-22 causada por el efecto Joule. La transferencia de calor entre una rejilla de Bragg de fibra que actúa como sensor y el cable eléctrico modula la intensidad de la potencia de salida óptica del láser de fibra. La variación de la intensidad del láser de fibra es causada por el proceso de superposición de longitudes de onda en el láser de fibra. La ventaja de la alternativa propuesta es la medición de la corriente CA a través de la potencia óptica del láser de fibra. El incremento lineal de la potencia de salida óptica en función de la temperatura permite la medición de la corriente CA, lo que es una ventaja sobre otros métodos.



2. Salud:

i) Diseño de un mouse óptico facial para pacientes que presentan discapacidad parapléjica:

En este trabajo se presentó un diseño de un Mouse Óptico Facial con una interfaz electrónica basada en dispositivos optoelectrónicos, utilizando un microcontrolador con módulo Universal Serial Bus (USB). Se implementó un dispositivo y un software con interfaz de conexión para acceder a una computadora a las personas con discapacidades motrices severa en extremidades superiores, en especial las que presentan cuadriplejía. En este contexto se propuso un diseño de un dispositivo optomecánico capaz de ajustarse a los diferentes contornos faciales.

ii) Enfoque para la estimación de la eficiencia de filtración de mascarillas faciales de consumo mediante termografía. Durante la pandemia de COVID-19 fue necesario el uso de cubrebocas, sin embargo, no todos presentaban la calidad estándar necesaria para evitar la transferencia del virus de una persona a otra. De aquí nace la necesidad de estudiar los cubre bocas para evaluar la calidad de filtración. Se desarrolló un método de estimación basado en el procesamiento de imágenes térmicas, para la adquisición de imágenes de distribución de calor y se construyó un sistema de imágenes termográficas. Con un modelo de aprendizaje profundo se midió el porcentaje de fuga de cada cubre boca. Los resultados obtenidos de esta investigación revelaron que la efectividad de la filtración dependía de la pérdida de calor a través del material de fabricación.

iii) Estrategias de diseño basadas en la caracterización de LED UV-C para mejorar la inactivación de Escherichia coli.

La desinfección del agua potable es necesaria hoy en día, por lo que desarrolló una lámpara LED UV-C diseñada para la desinfección eficaz del agua, abordando como problema principal la baja eficiencia cuántica y el autocalentamiento significativo debido a las corrientes de funcionamiento elevadas que reducen el rendimiento del LED. El estudio evaluó el potencial de desinfección contra bacterias patógenas como *Escherichia coli* y *Salmonella*. Los resultados indican una inactivación exitosa de *E. coli* dentro de medios de agar y una notable supresión del crecimiento en medios de cultivo de Mueller-Hinton, como se confirmó a través de mediciones de densidad óptica.

3. Medición de parámetros químicos (medioambiente):

i) Medición remota de Ozono en Tuxtla Gutiérrez, Chiapas con técnica espectroscopia por absorción óptica diferencial.

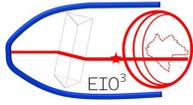
Se presentó una un sistema de monitoreo remoto de contaminantes basado en espectroscopia por absorción óptica diferencial pasiva, logrando detectar trazas de contaminantes presentes en la atmósfera. La longitud de alcance con este método fue de aproximadamente 2.9 km lineal, determinando la concentración de ozono presente en la zona de estudio.

ii) Sensor de fibra óptica para la medición de nitrato en agua potable utilizando como compuesto sensible la lofina.

Se realizó la caracterización la Lofina utilizada como capa sensible para medir el nitrato en el agua potable. La caracterización espectral se llevó a cabo en el rango de longitud de onda de 300 a 1100 nm y se demostró que la Lofina se puede utilizar como un sensor de fibra para la detección de nitrato en el agua potable. La medición de nitrato fue en el rango entre 1 mg/l y 70 mg/l con un tiempo de respuesta fue de 20 ms y el tiempo de recuperación de 40 ms.

iii) Capa sensible a base de lofina e hidróxido de calcio para la detección de oxígeno disuelto en agua.

Considerando los resultados de la lofina como un compuesto sensible a nitrato, se había demostrado que la lofina al ser mezclado con una base fuerte podría interactuar con el oxígeno, se procedió a investigar su comportamiento con el oxígeno disuelto en el agua. La capa sensible fue elaborada con Lophine e hidróxido de calcio, la cual dio como resultado dos formas de medición: (a) la magnitud de la absorbancia óptica, y (b) el desplazamiento batocrómico del pico de absorción en función del oxígeno disuelto. La magnitud de la absorbancia se relacionó con la concentración de oxígeno disuelto en agua pura con éxito, y se observó en el rango de longitud de onda de 400 a 1100 nm. Este resultado permitió la medición mediante el uso de un fotodetector para medir la potencia óptica en función del oxígeno disuelto. Se encontró que la capa sensible tiene un pico de absorción alrededor de 319 nm, y el desplazamiento batocrómico fue de 24 nm. El tiempo de respuesta y recuperación fue de 87 ms y 89 ms respectivamente.



iv) *Nuevo biosensor de arsénico POLA obtenido a partir de una célula biorreportera de E. coli modificada genéticamente.* Se había demostrado que se pueden medir parámetros químicos en agua, sin embargo, se tenía que unos de los elementos naturales que a altas concentraciones en el agua es dañino para el ser humano. Por lo que se investigó un nuevo vector denominado vector total POLA (*VtP*), que detecta arsenito como señal de entrada y tiene un amplificador de señal para expresar una proteína fluorescente verde como respuesta. Este vector funciona en la bacteria *E. coli* K-12 y se demostró que la señal de fluorescencia a 530 nm del biosensor de arsénico vivo aumenta linealmente con el tiempo transcurrido en función a la concentración de arsenito. Se realizó un experimento para determinar la respuesta cinética del biosensor bacteriano en función de la concentración de arsenito durante 12 h, que confirmó que el desarrollo del nuevo vector produce una respuesta lineal bien definida como fluorescencia. Se realizó una prueba preliminar en la que el biosensor bacteriano se acopló a una fibra óptica con el fin de investigar la posibilidad de su integración como biosensor de fibra óptica en un futuro cercano.

4. Medición de parámetros físicos (medio ambiente):

i) *Medición de la viscosidad del biodiesel mediante un viscosímetro óptico.*

En su momento, se había iniciado con la generación de biodiesel como un combustible de origen natural para evitar contaminación ambiental. Entonces, se propuso una técnica no invasiva para la medición de la viscosidad del biodiesel utilizando un viscosímetro de bola descendente modificado, así como tecnología óptica. La viscosidad se midió de 28 a 70 °C, que es de interés para determinar la calidad del biodiesel. Se encontró que el viscosímetro óptico de bola descendente ofrece una resolución de una medición de viscosidad de ± 0.039 mPa s con un error relativo de 1.47933%.

ii) *Instrumentación de la refracción de la luz para medir el índice de refracción de líquidos transparentes.*

En este trabajo se propuso instrumentar el fenómeno óptico de la refracción de la luz con la finalidad de medir el índice de refracción (IR) de líquidos transparentes en función de la temperatura. En la refracción se puede observar que un cambio de ancho en un objeto de referencia en un líquido transparente se produce por la refracción de la luz. Se utilizó procesamiento de imágenes para medir el ancho del objeto utilizando una imagen de un microscopio digital. El instrumento midió el índice de refracción en un rango de 15 °C a 100 °C con una precisión de 10–4%.

iii) *Demostración de la mejora de la sensibilidad de un sensor de temperatura de fibra óptica utilizando la longitud de onda de máxima absorción de la lofina.*

La temperatura es un parámetro que se necesita tener controlada en muchos aspectos de medición. Por lo que se investigó un sensor de fibra óptica que presentó mayor sensibilidad que los sensores electrónicos actuales. Se realizó un estudio espectroscópico de la lofina y se encontró que el espectro de absorción se encontraba en el rango de longitud de onda de 290 a 375 nm. Además, se estudió la dependencia de la absorbancia de la lofina en función de la temperatura. Se construyó un sensor de temperatura de fibra óptica utilizando una fuente óptica con una longitud de onda de 365 nm para mejorar la sensibilidad. La sensibilidad en esta longitud de onda se comparó con las sensibilidades de las longitudes de onda infrarrojas.

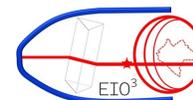
iv) *Sensor de temperatura de fibra óptica que utiliza una configuración de estructura de fibra sin núcleo recubierta con material termocrómico.*

Continuando con la investigación en el desarrollo de sensores de fibra óptica para medir la temperatura, se propuso una configuración que está constituida como una fibra óptica sin núcleo. El sensor de fibra óptica propuesto presentó una sensibilidad de $-0,08895$ dB/°C en un rango de temperatura de 27°C a 63°C. La respuesta del sensor se caracterizó y validó con un sensor de temperatura electrónico comercial.

v) *Optical fiber pH sensor based on a multimode interference device with polymer overlay.*

La medición del pH es importante porque muchos procesos químicos y biológicos solo pueden ocurrir a ciertos niveles de acidez o alcalinidad. La tecnología de fibra óptica presenta una alternativa en la medición de pH al ser diseñada como sensor. En este caso, se propuso un sensor de pH de fibra óptica basado en una estructura de interferencia multimodal. El elemento sensible transductor utiliza una pieza de fibra sin núcleo recubierta con una mezcla de clorhidrato de polialilamina y ácido poliacrílico mediante un método de autoensamblaje capa por capa modificado.

vi) *Película compuesta de PEDOT:PSS/PVA como medio sensible para sensor de pH en fibra óptica.*



Con la finalidad de incrementar la sensibilidad de un sensor de fibra óptica para la medición del pH y explorar el rango de medición se propuso un nuevo material que actuara como elemento sensible. El elemento sensible es una película compuesta PEDOT:PSS/PVA que exhibió sensibilidad a valores de pH bajos en el rango de 1–7 pH. La adición de PVA fue importante para el proceso de adhesión a la superficie de la fibra óptica. La morfología de los polímeros PEDOT:PSS permitió la caracterización a estímulos de pH que se basaron en la transmisión de potencia óptica generada a partir de la interacción de la luz que se propaga en el núcleo de la fibra óptica y la sección de fibra óptica recubierta con la película sensible.

5. Monitoreo de la salud estructural:

i) Configuración sencilla de un sensor de fibra óptica para medir la deflexión en vigas de concreto.

En este trabajo se propone una configuración sencilla de un sensor de fibra óptica utilizado para medir la deflexión en vigas de hormigón. Este sensor de fibra óptica incluye poleas con una ranura para generar una pérdida drástica constante en la fibra óptica y se caracterizó en función de tres diámetros de polea en una base metálica de fabricación casera. Se encontró que la pérdida óptica está relacionada con la deflexión de la viga de concreto. El sensor de fibra óptica se validó en una viga de hormigón en tiempo real utilizando un actuador de carga variable de 50 toneladas.

ii) Demostración experimental del efecto Vernier óptico mediante la conexión en cascada de fibras ópticas monomodo cónicas.

El efecto Vernier ha demostrado que incrementa la sensibilidad de un sensor de fibra óptica. Se estudió efecto Vernier óptico mediante la conexión en cascada de fibras ópticas monomodo cónicas (SMF28). Las fibras ópticas cónicas se ajustaron a un par de interferómetros de fibra Mach-Zehnder con rangos espectrales libres ligeramente diferentes. Esto fue aplicado como un sensor de fibra óptica para medir desplazamiento/curvatura en estructuras civiles.

iii) Demostración de la mejora del rendimiento de un sensor de desplazamiento de fibra óptica mediante el uso del efecto Vernier armónico óptico mediante la conexión en cascada de fibras ópticas cónicas monomodo.

Dada la oportunidad de obtener mayor sensibilidad en la medición de desplazamientos micrométricos, se propuso mejorar un sensor de fibra óptica utilizando el efecto Vernier. En este caso se utilizaron fibras cónicas y se ajustaron a un par de interferómetros de fibra Mach-Zehnder en serie. La medición del armónico de primer orden del efecto Vernier se logró incrementar la sensibilidad en la medición de desplazamiento milimétricos.

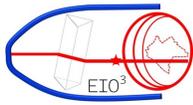
iv) Enfoque para mejorar la sensibilidad de un sensor de fibra de desplazamiento Mach-Zehnder utilizando el método de integración diferencial de espectro y el filtro en una configuración de doble paso.

Continuando con la mejora de la sensibilidad en la medición de desplazamiento se presentó un sensor de desplazamiento de fibra Mach-Zehnder que utiliza un método de análisis alternativo conocido como integración diferencial espectral junto con una configuración experimental que permite el doble paso de luz a través del mismo punto del sensor. Este enfoque incrementó la sensibilidad, logrando el doble del orden de magnitud que se obtiene típicamente con un interferómetro de fibra Mach-Zehnder. Se demuestra que este método podría emplearse como un sensor de fibra óptica para medir micro-desplazamientos. El resultado establece que para rangos cortos que requieren una resolución satisfactoria, el método es significativamente más efectivo, aumentando la sensibilidad en una configuración de doble paso.

6. Agro-fotónica:

i) Método óptico para estimar el contenido de clorofila en las hojas de las plantas.

Chiapas por ser un Estado de la República con diversidad de flora y fauna, es considerado como un laboratorio natural donde se pueden estudiar muchos aspectos importantes para conservar el ecosistema y evitar la contaminación. Por ello, la fotónica juega un papel importante en desarrollar tecnología para el procesamiento y medición de parámetros en plantas y animales para investigar y realizar muestreos para el aprovechamiento en la agricultura. Por lo que, se realizó un nuevo enfoque basado en visión por computadora para estimar el contenido de clorofila en una hoja de planta utilizando reflectancia y transmitancia como parámetros ópticos base. Se capturan imágenes de la parte superior e inferior de la hoja y se estima el contenido de clorofila mediante regresión lineal donde las entradas son la reflectancia y la transmitancia de la hoja. El desempeño del método propuesto para la estimación del contenido de clorofila se comparó con un espectrofotómetro y un medidor de desarrollo de análisis de suelos y plantas (SPAD). La estimación



del contenido de clorofila se realizó para *Lactuca sativa* L., *Azadirachta indica*, *Canavalia ensiforme* y *Lycopersicon esculentum*. La precisión alcanzada fue del 91% para cultivos como *Azadirachta indica*, donde el valor de clorofila se obtuvo utilizando el espectrofotómetro. Adicionalmente, fue posible lograr una estimación del contenido de clorofila en la hoja cada 200 ms con una cámara de bajo costo y un arreglo óptico simple.

ii) Cámara inteligente basada en FPGA para estimaciones precisas de clorofila.

Por otro lado, para proporcionar un dispositivo portátil adecuado para la estimación de clorofila en cultivos alimentarios a gran escala, se implementó un arreglo óptico y una formulación algorítmica dentro de una red de cámaras inteligentes basada en una matriz de puertas programables en campo (FPGA). Los resultados experimentales demostraron en términos de precisión y velocidad de procesamiento el 97% de precisión, brindando estimaciones de clorofila rápidas (cerca de 5 ms por estimación).

iii) Detección de defectos en la cáscara del huevo mediante un sistema de visión para garantizar la incubación en la producción avícola.

La avicultura en el Estado de Chiapas es de mucha importancia, ya que ofrece atención al sector alimentario de las diferentes regiones de nuestro País. Uno de los problemas que se tiene en la producción avícola son las deformaciones que presenta un huevo al ser incubada, ya que no asegura el nacimiento del ave. Por lo que se propuso detectar los defectos en huevos de aves de corral con tecnología óptica y procesamiento de imagen. El sistema de visión se basa en la detección de defectos mediante el escaneo de un patrón láser de luz estructurada e imágenes, resaltando los cambios en la geometría como resultado de la deformación de las transiciones láser generadas al escanear la superficie del huevo. Luego, las imágenes se analizan para obtener puntos equidistantes a lo largo de la curva y se evalúan creando una interpolación spline cúbica. La interpolación permite la extracción de características métricas descriptivas para observar la disparidad entre curvas, ilustrando los defectos mediante la realización de una interposición de gráficos. Con este sistema se logró una eficiencia del 97,5% durante la evaluación de 150 muestras de huevos. Esta técnica se puede aplicar para detectar huevos corrugados, arrugados, con granos, con formas irregulares y deformes.

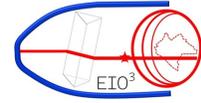
iv) Viabilidad de la termografía de fase pulsada para la estimación de la humedad.

La deshidratación de productos agrícolas ofrece a los agricultores la oportunidad de conservar sus productos por más tiempo y, al mismo tiempo, obtener más ganancias de ellos. Sin embargo, tradicionalmente, la calidad de los productos deshidratados se ha determinado utilizando métodos invasivos, por ejemplo, a través de mediciones manuales con un calibrador Vernier y un micrómetro. Sin embargo, las mediciones manuales tienen su mayor debilidad en el monitoreo de líneas de producción continuas y, por eso, a menudo se requiere una metodología eficiente para estimar la humedad en productos deshidratados. Este estudio tuvo como objetivo explorar la viabilidad de la termografía pulsada para estimar el contenido de humedad de los productos agrícolas en el proceso de secado. La muestra se sometió a un pulso de calor y una cámara infrarroja observó su reacción a través del tiempo; luego, se generó una curva característica a partir de la secuencia de imágenes capturadas. Esta curva relaciona el contenido de humedad con la respuesta al pulso de calor.

v) Análisis del comportamiento de los corderos mediante un modelo predictivo de CNN y una sola cámara.

Una aplicación importante en el seguimiento de objetos es el análisis del comportamiento de los animales para estimar su estado de salud. Se propuso una metodología para analizar el comportamiento de los corderos desde un enfoque basado en un modelo predictivo y aprendizaje profundo, utilizando una sola cámara RGB. En primer lugar, se diseñó e implementó una arquitectura para el seguimiento de corderos utilizando CNN. En segundo lugar, se diseñó un modelo predictivo para el reconocimiento del comportamiento animal. De acuerdo con los resultados experimentales sobre el conjunto de datos utilizado, la precisión fue del 99,85% para detectar actividades de corderos, y para el modelo predictivo propuesto, una precisión media fue del 83,52% para detectar estados anormales.

Finalmente, si se desea consultar a profundidad los temas que aquí se han descrito de forma general y superficial se puede consultar en la referencia (Camas, 2024).



Conclusiones.

Se ha descrito los trabajos más relevantes que se han llevado a cabo en el Tecnológico Nacional de México Campus Tuxtla Gutiérrez. Estos trabajos han sido desarrollados en los Posgrados de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y el Doctorado en Ciencias de la Ingeniería, a través de tesis de Maestría y Doctorado. La finalidad de este artículo de divulgación no fue de comparar resultados entre artículos, sino dar una clasificación como aplicación de la fotónica y dar a conocer a la comunidad las áreas de oportunidad que se pueden obtener con el aprovechamiento entre las diferentes áreas de la Ingeniería y de la Ciencia con la fotónica y electrónica de precisión.

Créditos.

Los autores agradecen al Tecnológico Nacional de México por el financiamiento otorgado año con año a nuestra Institución. En este caso a los proyectos con No. 20593.24-P y 20598.24-P.

Referencias bibliográficas.

Cámara de Diputados, 2018.

<http://www5.diputados.gob.mx/index.php/esl/Comunicacion/Boletines/2018/Marzo/10/5069-Propone-diputada-incorporar-optica-y-fotonica-como-tecnologias-esenciales-para-el-desarrollo-de-Mexico>.

Camas Anzueto, Jorge Luis, 2024. <https://scholar.google.com/citations?user=0MlwGy0AAAAJ&hl=es>.

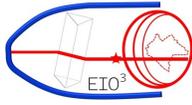
Secretaría de Economía, Hacia un México más brillante: mapa de ruta de óptica y fotónica, 2016.

<https://mexicanphotonicscluster.org/wp-content/uploads/2022/10/2016-12-09-MPI-TRM-Hacia-un-Me%CC%81xico-ma%CC%81s-Brillante-1.pdf>

Biografía de los investigadores.



Dr. Jorge Luis Camas Anzueto, es Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez (ITTG), Chiapas. Obtuvo su grado de maestría y doctorado en Óptica por el Instituto Nacional de Astrofísica, óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente ostenta el reconocimiento en el Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel II por parte del CONAHCYT. Miembro honorífico del Sistema Estatal de Investigadores por el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas (ICTICH). Fue galardonado con el Reconocimiento al Mérito Estatal a la Investigación en 2016 en la categoría III. Líder de la línea de investigación Sistemas Optomecatrónicos de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica (MCIM) y Líder de la línea de Investigación Fotónica y Electrónica del Doctorado en Ciencias de la Ingeniería (DCI) del ITTG, Participó en la creación de la MCIM y del DCI del ITTG, además de la Licenciatura en Física y Matemática de la Facultad de Física y Matemática de la Universidad Autónoma de Chiapas (UNACH). Ha publicado más de 55 artículos de riguroso arbitraje en revistas indizadas en la Journal Citations Reports (JCR), 12 artículos en revistas de otros índices. Cuenta con más de 50 memorias de congresos nacionales e internacionales y ha dirigido proyectos de investigación CONAHCYT, TecNM, y FOMIX.



Rubén Grajales Coutiño tiene la Licenciatura en Ingeniería Electrónica por el Tecnológico Nacional de México (TecNM), campus Tuxtla Gutiérrez, Maestría y Doctorado en Ciencias con especialidad en Óptica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Posteriormente, realizó dos estancias Postdoctorales en el Centro de Investigaciones en Óptica (CIO), es miembro del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNII) Nivel I. Sus investigaciones están dirigidas a la optoelectrónica, a los sensores de fibra óptica, al desarrollo de láseres de fibra dopada continuos y pulsados ajustables a múltiples longitudes de onda. Actualmente, es profesor-investigador en el Tecnológico Nacional de México, campus Tuxtla Gutiérrez.



Rocío Meza Gordillo, Química Farmacobióloga por la Universidad Veracruzana, Doctora en Ciencias con Especialidad en Química Orgánica por el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN-Unidad Zacatenco. Premio Chiapas en Ciencias 2011 otorgado por el Gobierno del Estado de Chiapas, Miembro del Sistema Nacional de Investigadores Nivel 2, además del Sistema Estatal de Investigadores del Estado de Chiapas, nivel Honorífico desde el 2011 y profesora con Perfil deseable PRODEP. En los últimos cinco años ha dirigido 8 proyectos de investigación financiados por diversos organismos como el Tecnológico Nacional de México, el Instituto de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Chiapas. En cuanto a la formación de recursos humanos, la Dra. Meza ha graduado a 4 doctores, 12 maestros y 15 ingenieros bioquímicos. En la actualidad es directora de dos tesis de doctorado y 2 de maestría. En materia de publicaciones en revistas indexadas, en los últimos 3 años participó como co-autora de 21 artículos y autora de 15, además de 1 título de patente de modelo de utilidad otorgada.



José Antonio Hoyo Montaña nació en Mexicali, Baja California, México, en 1964. Obtuvo la licenciatura en ingeniería industrial y electrónica por el Instituto Tecnológico de Hermosillo, en 1989, y los grados de M.C. y D.C. con especialidad en electrónica de potencia por el Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico (CENIDET), en 2000 y 2005, respectivamente. Desde 2005, es profesor a tiempo completo tiempo completo en la División de Estudios de Posgrado e Investigación del Instituto Tecnológico de Hermosillo. Sus intereses de investigación incluyen control digital de sistemas electrónicos de potencia, automatización de edificios e iluminación de estado sólido.