

Prototipo optomecatrónico para medir índice de refracción utilizando ley de Snell.

Optomechatronic prototype for measuring refractive index using Snell Law.

Luis García Flores (1).
Estudiante, Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez.
luisgarcía.flo@gmail.com.

Jorge Luis Camas Anzueto (2), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, jcamas@ittg.edu.mx.

Héctor Ricardo Hernández de León (3), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, hhernandezd@ittg.edu.mx.

Rafael Mota Grajales (4), I. T. de Tuxtla Gutiérrez, rmota@ittg.edu.mx.

Luis Alberto Pérez Lozano (5), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, llozano@ittg.edu.mx.

María Catalina Salgado Gutiérrez (6), I.T. de Tuxtla Gutiérrez, msalgado@ittg.edu.mx.

Artículo recibido en julio 11, 2015; aceptado en agosto 07, 2015.

Resumen.

Este trabajo consiste del diseño de un sistema optomecatrónico para medir el índice de refracción de compuestos Crómicos depositados en portaobjetos. El prototipo utiliza la ley de Snell, que relaciona dos medios con índice de refracción diferentes, ángulos de incidencia y refractada de trayectorias de luz láser. El diseño optomecatrónico utiliza un sistema de control con interfaz gráfica de usuario, con el fin contar con mayor exactitud y precisión para obtener mediciones repetibles. El prototipo consta de fuente de luz láser con longitud de onda de 630 nm, un motor paso a paso y su respectivos drivers de control, un microcontrolador PIC18F4550 como tarjeta de comunicación PC-Microcontrolador por USB y una cámara web como componentes principales que participan en este sistema optomecatrónico.

Palabras clave: Índice de Refracción, Sistema optomecatrónico, Medición optoelectrónica.

Abstract.

This work consists of designing an optomechatronic system to measure the refractive index of Chromic compounds deposited on slides. The prototype uses Snell law, which relates two media with different refractive index, both incident and refracted angle of laser light paths. The optomechatronic design uses a control system with graphical user interface, in order to have greater accuracy and precision to obtain repeatable measurements. The design is based on Snell's law to obtain the optomechatronic control system with graphical interface, in order to have greater accuracy and precision for repeatable measurements. The prototype consists of laser light as optical source with a wavelength of 630 nm, a stepper motor and their respective control driver, a PIC18F4550 microcontroller and PC communication card-USB and a webcam.

Keywords: Refractive index, Optomechatronic system, Optoelectronic measurement.

1. Introducción.

En la literatura se ha encontrado numerosos artículos que describen métodos para medir el índice de refracción en materiales sólidos y líquidos. Dentro de los fenómenos físicos que se utilizan para llevar a cabo la medición se encuentran la difracción, polarización utilizando ángulo de *Brewster* y la ley de *Snell* (Grzegorz F. Wojewoda, 2010; Esteban Szigety, et al., 2009; S. Lombardi, et al., 2009; Shyam Singh, 2002). La aplicación de la técnica del ángulo de *Brewster* y algoritmos genéticos para medir el índice de refracción y grosor de películas preparadas por el proceso de sol-gel y la técnica de revestimiento por inmersión fue reportado. Una precisión superior al 99.5% y 98% en el índice de refracción y mediciones de espesor fueron obtenidos, respectivamente. Análisis de la capacidad de ajustar el índice de refracción de alta densidad de mezcla de películas cambiando la concentración molar de dióxido de circonio, con una tasa de incremento de (0:0052_0:0004)/mol fue reportado en (D. Luna-Moreno, et al., 2002). Además, el método de búsqueda angular, en la cual la estructura está basada en un prisma fabricado con cristal *BK47* con núcleo de capa de oro la cual es la película activa de resonancia plasmónica, con el uso de resonancia de plasmones de superficie basada en un prisma para diferenciar entre tres tipos de tequilas, blanco, añejado y extra añejo fue propuesto por Luna (D. Luna-Moreno, et al., 2011). En este proyecto se presenta un prototipo optomecánico para medir el índice de refracción, que consiste de un control de un motor a pasos. Resultados preliminares fueron reportados por García (L. García, et al., 2012). Este sistema consta de un computador, que por medio de una interfaz visual de MATLAB[®] se controla un láser, un calefactor, la posición y giro de un motor a pasos; este control se lleva por comunicación USB del computador a un microcontrolador de la firma Microchip[®] de modelo *PIC18F4550* que modifica los grados y sentido de giro del motor. Del mismo modo se cuenta con una cámara web la cual se utiliza como un tipo de fotodetector en desplazamiento (como una cámara de *CCD*), con la cual estos datos son introducidos a MATLAB[®] y mediante algoritmos de procesamiento de imagen se mide un desplazamiento de un punto que incide sobre una pantalla (hoja milimétrica).

2. Métodos.

2.1. Sistema óptico de desplazamiento por refracción.

Usando una placa de acrílico de caras paralelas como se ilustra en la Figura 1, se observa la dependencia del desplazamiento lateral d del haz de luz como función del ángulo de incidencia θ . Usando la ley de *Snell* y los valores del índice de refracción medido, se deduce la relación teórica entre d y θ' (E. Hecht, 1987).

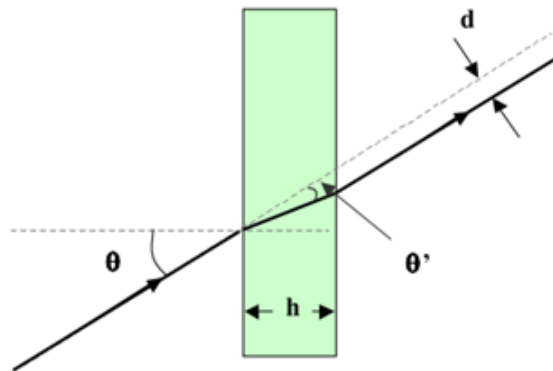


Figura 1. Desviación de un haz por una placa de caras paralelas.

Usando la ley de *Snell* es posible obtener las ecuaciones (12) y (13):

$$\text{sen}\theta = n * \text{sen}\theta' \quad (12)$$

$$\frac{d}{h} = \frac{\text{sen}(\theta - \hat{\theta})}{\text{cos}\hat{\theta}} \tag{13}$$

Donde se obtiene indirectamente el índice de refracción n despejando de la ecuación (12) a cada uno de los ángulos θ y $\hat{\theta}$.

2.2. Sistema mecánico.

Los motores paso a paso son ideales para la construcción de mecanismos en donde se requieren movimientos muy precisos. La característica principal de estos motores es el hecho de poder moverlos un paso a la vez por cada pulso que se le aplique. Este paso puede variar desde 90° hasta pequeños movimientos de tan solo 1.8°, es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso (90°) y 200 para el segundo caso (1.8°), para completar un giro completo de 360°(ver figura 2).



Figura 2. Motor a pasos.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas queda energizada, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

2.3. Sistema Electrónico.

En ésta etapa se utilizó el microcontrolador *PIC 18F4550*, que es fabricado por la firma de *MICROCHIP®*, entre sus principales características se encuentran las siguientes (figura 3): Tipo de memoria Flash, 32 KB de memoria de programa, 2,048 Bytes de RAM, 256 Bytes de *EEPROM*, 1 *CCP*/ 1 *ECCP*, Timers: 1x8bits / 3x16 bits, *ADC*: 13x10 bits, 2 comparadores, *USB* de alta velocidad (2.0).

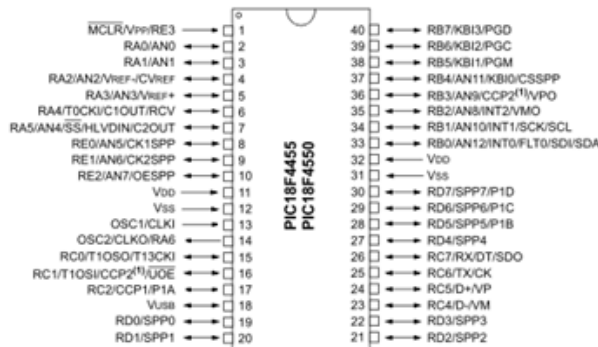


Figura 3. Esquema de un microcontrolador PIC 18F4550.

Debido a que tiene la característica de conexión *USB* y ser de una familia de microcontroladores relativamente rápida se ha decidido por utilizar este microcontrolador para el desarrollo del proyecto.

2.4. LM35.

El LM35 es un sensor de temperatura con una precisión calibrada de 1°C y un rango que abarca desde -55° a $+150^{\circ}\text{C}$. El sensor se presenta en diferentes encapsulados pero el más común es el *TO-92* de igual forma que un típico transistor con 3 patas, dos de ellas para alimentarlo y la tercera entrega un valor de tensión proporcional a la temperatura medida por el dispositivo. La salida es lineal y equivale a $10\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$ por lo tanto: $+1500\text{ mV} = 150^{\circ}\text{C}$, $+250\text{ mV} = 25^{\circ}\text{C}$, $-550\text{ mV} = -55^{\circ}\text{C}$. Funcionamiento: Para hacer un termómetro lo único que se necesita es un voltímetro bien calibrado y en la escala correcta para que nos muestre el voltaje equivalente a temperatura. El *LM35* funciona en el rango de alimentación comprendido entre 4 y 30 voltios y físicamente se muestra en la figura 4.



Figura 4. Sensor de temperatura LM35

Éste puede ser conectado a un conversor Analógico/Digital y tratar la medida digitalmente, almacenarla o procesarla con un μ Controlador o similar. El sensor de temperatura puede usarse para compensar un dispositivo de medida sensible a la temperatura ambiente, refrigerar partes delicadas del robot o bien para *loggear* temperaturas en el transcurso de un trayecto de exploración.

2.5. Sistema del software interfaz gráfica de usuario.

GUIDE es un entorno de programación visual disponible en MATLAB para realizar y ejecutar programas que necesiten ingreso continuo de datos. Tiene las características básicas de todos los programas visuales como *Visual Basic* o *Visual C++*.

Para iniciar un proyecto, se puede hacer de dos maneras:

Ejecutando la siguiente instrucción en la ventana de comandos:

```
>> guide
```

Haciendo un *click* en el ícono que muestra la figura 5:

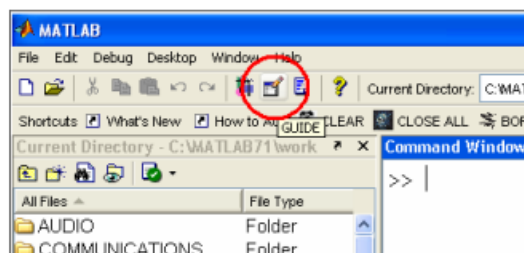


Figura 5. Comenzando a trabajar en el GUIDE de MATLAB.

Se presenta el siguiente cuadro de diálogo (ver figura 6), donde se muestran las siguientes opciones:

- a) *Blank GUI (Default)*: La opción de interfaz gráfica de usuario en blanco (viene predeterminada), presenta un formulario nuevo, en el cual se puede diseñar el programa.
- b) *GUI with Uicontrols*: Esta opción presenta un ejemplo en el cual se calcula la masa, dada la densidad y el volumen, en alguno de los dos sistemas de unidades. Se puede ejecutar este ejemplo y obtener resultados.
- c) *GUI with Axes and Menu*: Esta opción es otro ejemplo el cual contiene el menú *File* con las opciones *Open*, *Print* y *Close*. En el formulario tiene un *Popup menu*, un *push button* y un objeto *Axes*, es posible ejecutar el programa eligiendo alguna de las seis opciones que se encuentran en el menú despegable y haciendo click en el botón de comando.

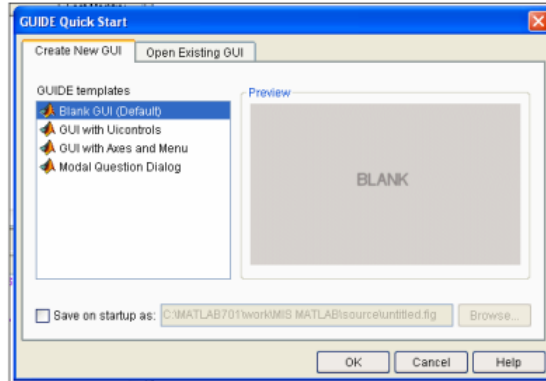


Figura 6. Creación del GUI para empezar a trabajar.

- d) *Modal Question Dialog*: Con esta opción se muestra en la pantalla un cuadro de diálogo común, el cual consta de una pequeña imagen, una etiqueta y dos botones Yes y No, dependiendo del botón que se presione, el *GUI* retorna el texto seleccionado (la cadena de caracteres 'Yes' o 'No').
Se elige la primera opción, *Blank GUI*, y se tiene la figura 7:



Figura 7. Entorno de diseño GUI

En esta ventana se puede empezar a trabajar y a programar el *GUI* con las herramientas que el usuario necesite para poder manipular todo un proyecto con tan solo una ventana gráfica en el que el usuario puede observar y controlar todo un sistema sin la necesidad de estar en el lugar de trabajo.

3. Desarrollo del prototipo y resultados.

El sistema optomecatrónico se presenta de manera esquemática donde se observa el funcionamiento a macroescala en la figura 8. En ésta figura se presenta el sistema de control, el sistema mecánico donde se introduce la muestra a analizar, el láser que proporciona la fuente de luz, el sistema de calentamiento y la cámara *WEB* que procesa la información. En el computador se encuentra una Interfaz Gráfica de Usuario diseñada en MATLAB con la cual se puede controlar el encendido y apagado del láser y calefactor. De la misma manera por medio de este *GUI* se puede manipular los grados de giro del motor y el sentido de giro (Horario y Antihorario) para así poder variar el ángulo de incidencia del láser, el cual se encuentra estático; se tiene la imagen *VGA* y en blanco y negro para medir el desplazamiento del punto láser debido a los cambios del índice de refracción de la *lofina*, además de la lectura del sensor de temperatura y la adquisición de datos del sistema. Al tener cierto ángulo de incidencia del haz láser sobre la muestra que está encima del goniómetro giratorio, este haz es refractado por la película delgada del compuesto a medir, en este caso *lofina*, haciendo que la trayectoria del haz se modifique durante todo el ancho de la *lofina*, al salir de la película delgada regresará su trayectoria de viaje en dirección paralela al del haz antes de cruzar por la muestra pero con un desplazamiento debido a la refracción que sufrió el haz láser por haber pasado a diferentes medios con un índice de refracción menor (aire) a uno mayor (*lofina*), en el cual la teoría óptica dice que un haz de luz será refractado haciendo el ángulo más pequeño con respecto a la normal del límite de ambos materiales cuando este pasa de un medio de índice de refracción menor a uno de índice de refracción mayor.

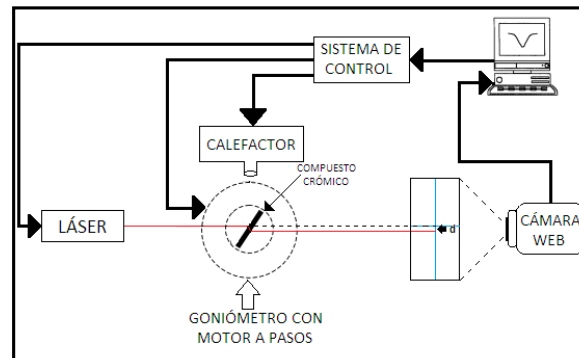


Figura 8. Diagrama a bloques del funcionamiento del SOMIRCC.

Además, Se sabe que la *lofina* modifica su índice de refracción en función de la temperatura, sabiendo esto, se aplicará un flujo de aire caliente a la muestra por medio del calefactor con el propósito de modificar su índice de refracción, el cual en función de este se hará un cambio en el ángulo de refracción del haz, haciendo un nuevo cambio en el desplazamiento del haz refractado que pasa del medio 2(muestra) al medio 1 (aire), observando este cambio por la cámara web, la cual por procesamiento de imagen en MATLAB se comprobará el cambio de índice de la *lofina* en función de la temperatura, la cual es monitoreada por un sensor de temperatura *LM35*, ver figura 9.

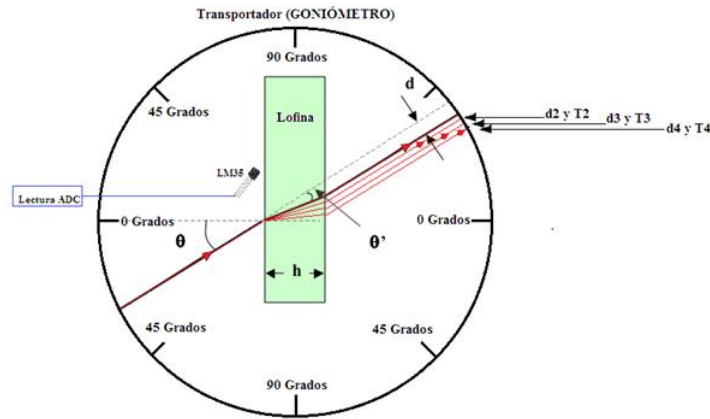


Figura 9. Desplazamiento del haz láser, debido al fenómeno de refracción variante en función del índice de refracción de la lofina.

3.1. Driver de control del motor a pasos.

Este driver de control está basado mediante un generador de pulsos cuadrados, esta señal es generada por medio de un CI 555, la frecuencia de esta señal cuadrada es regulada por una resistencia y un capacitor en el cual su producto nos da una constante llamada tao (T), donde el inverso de esta señal es la frecuencia del pulso generado por el CI 555. La señal de pulsos cuadrados se introduce al pin 11 (clock) del CI SN74194 el cual tiene la función de hacer un conteo incremental en sus líneas de salida (QA, QB, QC y QD), la frecuencia de conteo es determinada por la frecuencia de pulso de reloj que el CI 555 está enviándole, estas señales de salida del SN74194 proporcionan una corriente relativamente pequeña como para alimentar al motor a pasos por lo que cada una de ellas es amplificada en corriente por transistores. Mediante los pines 9 y 10 (S0 y S1) del CI SN74194 se puede controlar el sentido del conteo de la líneas de control del motor a pasos (QA, QB, QC, QD) haciendo que el motor gire en sentido contrario, este control se lleva a cabo por el microcontrolador, todo esto se observa en el circuito de la figura 10.

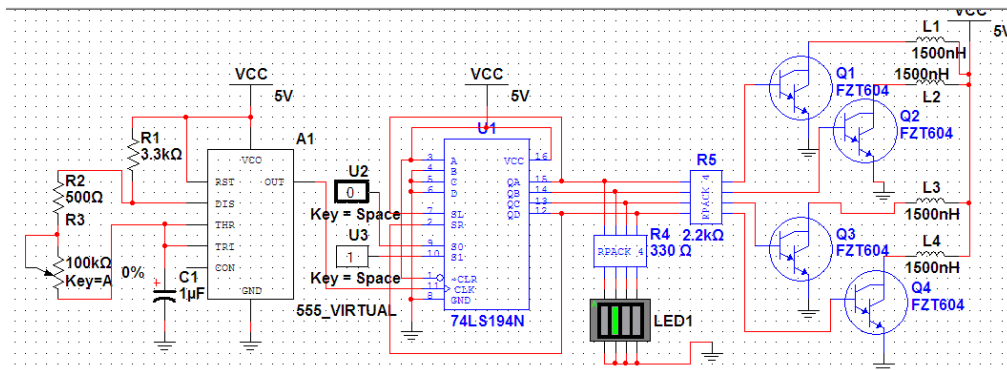


Figura 10. Driver de control del motor a pasos.

3.2. Lectura de la cámara web.

Se ha logrado obtener la medición de desplazamiento del punto en pixeles, la imagen de la izquierda es el punto de luz en imagen VGA obtenida por la cámara web, esta imagen es procesada por un filtro para convertirla en blanco y negro, además de aplicar procesamiento de imagen para detectar el centroide de la imagen y obtener el centro de masa de la misma, a la par de todo esto de evalúa el desplazamiento en el eje “x” y ”y” de la imagen de la derecha

para obtener un vector resultante, es decir, el desplazamiento del punto láser que como se aprecia en la imagen fue de aproximadamente 138.8273 pixeles, como se presenta en la figura 11.

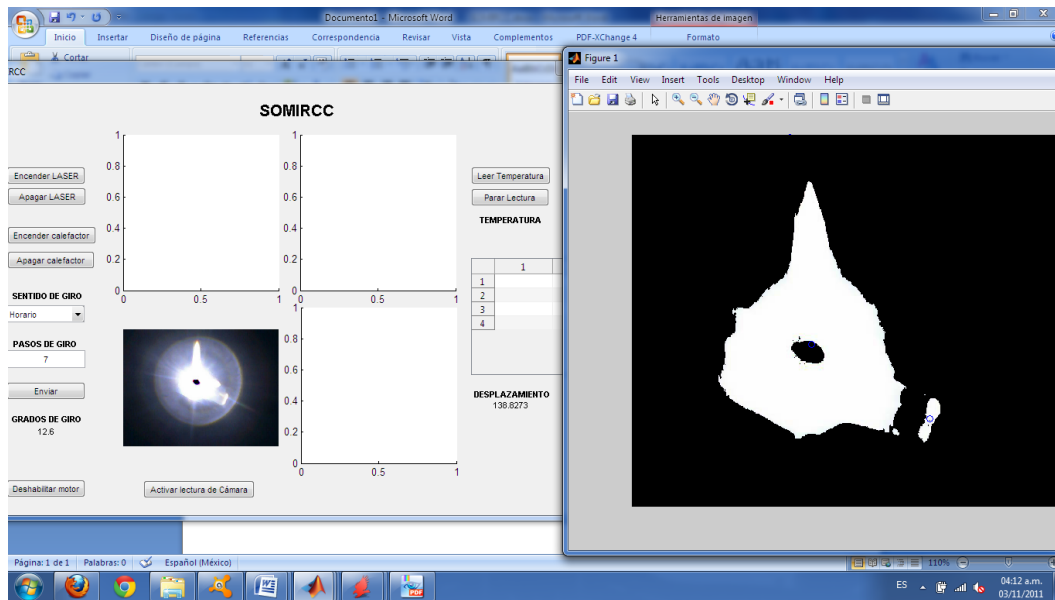


Figura 11. Medición de desplazamiento del punto de luz por la cámara web.

Conclusiones.

Este sistema en si puede alcanzar a detectar las pequeñas variaciones de desplazamiento en pixeles que ocurren y que el ojo humano no puede percibir, debido al cambio del ángulo de incidencia del haz láser o a la variación del índice de refracción del material al hacer variar la temperatura en el medio. Sin embargo este desplazamiento en pixeles necesita caracterizarse para poder obtener una medida en longitud, mediante el proceso de calibración de la cámara. Obteniendo este desplazamiento es posible ahora calcular aproximadamente el índice de refracción del material mediante el método de desplazamiento por refracción. Por lo que determinando la caracterización de desplazamiento de pixeles a una escala que podamos medir, en este caso centímetros o milímetros, obteniendo este dato es posible calcular de manera indirecta el índice de refracción del material, aplicando óptica geométrica.

Créditos.

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez por el financiamiento del proyecto con clave de registro 5469.14-P ante la dirección general de educación superior tecnológica del Tecnológico Nacional de México.

Referencias Bibliográficas.

- D. Luna-Moreno, E. De la Rosa-Cruz.** (2002). Refractive index measurement of pure and Er^{3+} -doped ZrO_2 – SiO_2 sol–gel film by using the Brewster angle technique. *Optical Materials*. 19, 275–281.
- D. Luna-Moreno, D. Monzón-Hernández.** 2011. Optics and Lasers in Engineering 49. Optical method to differentiate tequilas based on angular modulation surface plasmon resonance. pp 675–679.

E. Hecht. (1987). Optics, 2nd . Ed., Addison-Wesley Pub. Co. Reading. / (2) *Trabajos prácticos de física*, J. E. Fernández y E. Galloni, Editorial Nigar, Buenos Aires (1968). / (3) Guía del laboratorio de física, Physical Science Study Committee (PSSC), Reverté, Madrid (1972).

Esteban Szigety, Javier Viau, María Alejandra Tintori Ferreira y Lucrecia Moro. (2009). Medición del índice de refracción del agua usando Materiales sencillos. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias Universidad Nacional de Mar del Plata.* 6:1, 146-150.

Grzegorz F. Wojewoda. (2010). Zespół Szkół Ogólnokształcących nr 1 Bydgoszcz, Poland. www.pl.euhou.net/.../files/.../IndexOfRefraction.doc

L. García, J. Camas, L. Pola, H. Castañón, C. García, R. Mota, N. Juárez. (2012). Sistema optomecatrónico para estimar el índice de refracción de un compuesto crómico, *VII Taller Internacional Tecnoláser y III Reunión de Óptica Vida y Patrimonio*, La Habana, Cuba 2012.

Shyam Singh. (2002). Refractive Index Measurement and its applications. *Physica Scripta*, 65, 167-180.

S. Lombardi, G. Monroy, I. Testaand E. Sassi. (2009). Measuring variable refractive indices using digital photos. *Phys. Educ.* 45:1, doi:10.1088/0031-9120/45/1/010

Información de los autores.



Luis García Flores es egresado de la carrera en Ingeniería en Electrónica desde noviembre de 2011 y egresado de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica desde Noviembre de 2013 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez Chiapas. Su área de interés es sistemas de control optomecatrónico y metrología optoelectrónica.



Jorge Luis Camas Anzueto es graduado como Ingeniero en Electrónica por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, graduado como Maestro en Ciencias y Doctor en Ciencias con la Especialidad en Óptica y subespecialidad Optoelectrónica por el Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica (INAOE). Actualmente docente-investigador de la Maestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y de la carrera en Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es Sensores ópticos, sensores de fibra óptica, optoelectrónica y optomecatrónica.



Héctor Ricardo Hernández de León es graduado como Ingeniero En Electrónica por el Instituto Politécnico Nacional, Doctorado en Ciencias en Sistemas Automatizados por el Instituto de Ciencias Aplicadas INSA-Toulouse-Francia. Actualmente investigador de la MAestría en Ciencias en Ingeniería Mecatrónica y la Carrera de Ingeniería Electrónica en el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Su área de interés es Control Inteligente y diagnóstico de fallas en plantas de agua potable.



Rafael Mota Grajales es graduado como Ingeniero Industrial Eléctrico por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez, Maestro en Ciencias en Ingeniería Eléctrica por el Instituto Tecnológico de la Laguna y Candidato a Doctor en Control Industrial por la Universidad Claude Bernard, Lyon 1, Lyon, Francia. Su área de interés es aplicaciones industriales, automatización e instrumentación de procesos y control automático.



Luis Alberto Pérez Lozano es graduado como Ingeniero Eléctrico en 2007 por el Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez. Docente del Departamento de Ciencias Básicas y del Departamento de Eléctrica y Electrónica desde 2010. Participó en proyectos relevantes en la línea de investigación de energías renovables con el proyecto generación de energía eléctrica por medio del accionamiento de un motor Stirling. Actualmente Jefe del Departamento de Eléctrica y Electrónica. Su área de interés es energías renovables, aplicación de la física y desarrollo de proyectos industriales eléctricos.



María Catalina Salgado Gutiérrez, es Ingeniera en Electrónica y Maestra en Administración, egresada del Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez ITTG. Es profesora de asignatura en el área de Ciencias Básicas. Imparte cátedra en las áreas de Ingeniería Electrónica y Ciencias Básicas en el ITTG.