

NOVEDOSO SENSOR REFRACTOMÉTRICO DE FIBRAS ÓPTICAS CON ELEMENTO DE DETECCIÓN SEMICILÍNDRICO PLÁSTICO, PARA MEDIR EL NIVEL EN UN TANQUE DE GASOLINA O DIESEL

Sergei Khotiaintsev, Enrique Llanito Caudillo, Selene Pérez García, Jordi Morales Farah

Departamento de Ingeniería en Telecomunicaciones, Facultad de Ingeniería.
Universidad Nacional Autónoma de México
Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Coyoacan, México D. F. CP 04510.
Correo electrónico: sergeik@hotmail.com

RESUMEN

En este artículo se presenta un sensor refractométrico con un elemento óptico de detección semicilíndrico. Un par de fibras ópticas multimodo están acopladas simétricamente al plano del elemento. El acoplamiento de las fibras debido a la reflexión total interna en la superficie del elemento es susceptible al índice de refracción del medio que rodea al elemento. Para obtener un mejor acoplamiento entre las fibras, se realizaron diferentes experimentos cambiando la distancia entre las fibras, con el fin de alcanzar un mayor enfoque de los rayos en la superficie del elemento y así mejorar la sensibilidad al índice de refracción del medio externo al mismo y reducir las pérdidas ópticas intrínsecas en el transductor. Se muestran los resultados teóricos en donde se puede observar que el transductor en particular, puede discriminar entre aire, agua, gasolina y diesel. Al igual se presentan datos experimentales obtenidos con un elemento de detección de plástico, los cuales confirman los resultados teóricos. Un elemento de detección relativamente largo, con un arreglo vertical de fibras ópticas puede usarse como un sensor para medir el nivel de gasolina o diesel en los tanques de automóviles o camiones.

Palabras clave: sensor óptico, refractometría óptica, sensor de nivel para líquidos, gasolina, diesel.

I. INTRODUCCIÓN

Los sensores de fibras ópticas ofrecen muchas ventajas sobre los sensores mecánicos, eléctricos y otros. Anteriormente se usaban fibras ópticas de silicio en los sensores principalmente, recientemente, el avance significativo en la calidad de las fibras ópticas de plástico (POF) ha generado el desarrollo de muchas nuevas aplicaciones para la transmisión óptica y el sensado óptico. Las POFs son atractivas en el mercado debido a que son dispositivos multimodo de un diámetro relativamente grande el cual es fácil de manipular e instalar. Los sistemas de transmisión basados en POF usan componentes simples y baratos como son LEDS (diodos emisores de luz) en el rango de la luz visible o cerca del infrarrojo, conectores, divisores, acopladores simples, etc. Todo el costo del sistema es bajo y su mantenimiento es simple [1]. Actualmente las POFs permiten tasas de transmisión de hasta 10 Gbit/s sobre distancias de alrededor de los 300m [2] y al igual que las fibras de silicio son inmunes a interferencias electromagnéticas y ruido por lo que pueden instalarse junto a cables eléctricos de potencia y las pérdidas por curvatura son muy bajas, permiten un radio de curvatura de hasta 20 mm por lo que facilita su instalación en lugares estrechos y paredes.

Las aplicaciones de POF incluyen distancias relativamente cortas en redes de área local (LANs) en oficinas, edificios, campus pequeños. Otra aplicación emergente es transmisión de datos óptica (analógica y digital) a bordo de carros,

camiones, trenes, barcos, aviones, etc. Una característica distintiva de los vehículos es que necesitan un monitoreo de diferentes cantidades físicas relacionadas a la operación del vehículo (velocidad, temperatura, presión, nivel de diferentes líquidos en depósitos y tanques, etc.). Por tanto, es de un gran interés agregar comunicaciones ópticas con sensado óptico a bordo del vehículo. Por motivos de compatibilidad los sensores deberían operar vía las mismas POFs que el resto de la red óptica a bordo del vehículo.

Como se mencionó anteriormente una de las aplicaciones de estas fibras es en la industria automotriz en la cual se han desarrollado estándares para las redes a bordo de los mismos. Uno de los estándares es el Domestic Digital Bus System (DB2) el cual especifica un sistema de anillo el cual interconecta diferentes dispositivos como es el radio, televisión, cambiadores de CD y sistemas de navegación en vehículos y alcanza unos 20 Mbps en 10 m [3]. La especificación Media Oriented Systems Transport (MOST) es uno de los sistemas más utilizados en aplicaciones de control, seguridad y multimedia con una tasa de hasta 150 Mbps [4], mientras que Byteflight es un sistema que trata con conexiones de sistemas de bolsas de aire y cinturones de seguridad con otros componentes de control a una tasa de 10 Mbps [5].

El sensado de nivel de líquidos es importante en todas las aplicaciones automotrices. Existen un amplio grupo de métodos de sensado disponibles para determinar el nivel de líquidos. Ellos incluyen métodos mecánicos, eléctricos y ópticos y sus combinaciones. Actualmente los sensores de nivel de líquidos eléctricos son empleados para conocer el nivel de gasolina en los tanques de los automóviles. En estos sensores el nivel de la gasolina es medido con un generador de señales eléctrico por una resistencia variable controlada por un flotador dentro del tanque. Estos sensores son simples y baratos, pero su resolución es relativamente baja. También, los cables eléctricos en un ambiente inflamable presentan un peligro potencial. Los sensores de fibra óptica ofrecen distintas ventajas para estas aplicaciones debido a la naturaleza dieléctrica de las fibras ópticas. Las

ventajas de los sensores ópticos es que no están limitados a la ausencia de conductividad eléctrica, ofrecen absoluta inmunidad a campos electromagnéticos y alta resistencia a riesgo por chispas. Estas características hacen a los sensores ópticos ideales candidatos para su uso en tanques de gasolina y diesel.

Hay cuatro principales clases de sensores ópticos: intensidad, fase, polarización y de frecuencia. La clasificación de los sensores en cada tipo, diferencia significativamente su desempeño y costo, el cual casi siempre está relacionado a la complejidad del principio de medición empleado. En las aplicaciones automotrices, los factores más importantes para seleccionar un sensor son su simplicidad, el fácil procesamiento de las señales, el bajo costo y un simple mantenimiento. Entre los cuatro tipos de sensores que mencionamos, el tipo de intensidad (amplitud) es el más simple de implementar debido a la facilidad de la medición de la intensidad, en contraste con las mediciones de fase y polarización. También los sensores ópticos basados en la medición de intensidad son compatibles con POFs, por consiguiente, los sensores de intensidad óptica son los candidatos más prometedores para las aplicaciones automotrices. Los sensores del tipo intensidad están basados en muchos principios. Uno de ellos es la refractometría óptica, la cual se basa en la determinación del índice de refracción de las sustancias, n . El índice de refracción n está relacionado con muchas características cuantitativas de las sustancias. En el caso de líquidos estas características cuantitativas como la temperatura, presión, la concentración de sustancias solubles (como ejemplo, sal, azúcar, etc.) pueden ser obtenidas indirectamente midiendo el índice de refracción. Además, la refractometría permite discriminar entre diferentes sustancias, debido a que cada sustancia o material tienen diferentes índices de refracción.

Anteriormente ya se han desarrollado sensores de POF para aplicaciones automotrices, tal es el caso de un simple y efectivo sensor óptico plástico para la medición de temperatura [6] y un sensor refractométrico plástico que emplea una sección

cónica de fibra plástica de índice gradual [7]. La posibilidad de la medición del nivel de líquidos con el sensor de refractométrico de campo evanescente compuesto de múltiples curvaturas finas en una simple POF extensa o en un arreglo de POFs ha sido exitosamente demostrado en experimentos con agua [8]. Pero, la resolución vertical del mismo sensor es limitada por un tamaño finito de fibras curvadas y podrían ser difíciles de acomodar muchos bucles de fibras en el tanque. Aquí nosotros presentamos un novedoso sensor refractométrico que emplea un elemento de detección semicilíndrico. Puede ser empleado como un sensor puntual, o como un arreglo vertical en cuyo caso puede ser un sensor de nivel de líquidos, como es gasolina o diesel, de una manera discreta en un tanque o contenedor. A continuación se presenta la descripción del sensor y sus características de funcionamiento.

II. SENSOR DE FIBRAS ÓPTICAS REFRACTOMÉTRICO

El sensor que tratado aquí consiste de un elemento óptico de detección semicilíndrico el cual está conectado a un par de fibras ópticas como se muestra en la figura 1. El elemento de detección óptico está hecho de un material transparente dieléctrico. En este trabajo se utilizó un elemento de detección de polimetil metacrilato (PMMA) con un índice de refracción $n=1.4828$ para una $\lambda=940$ nm [9].

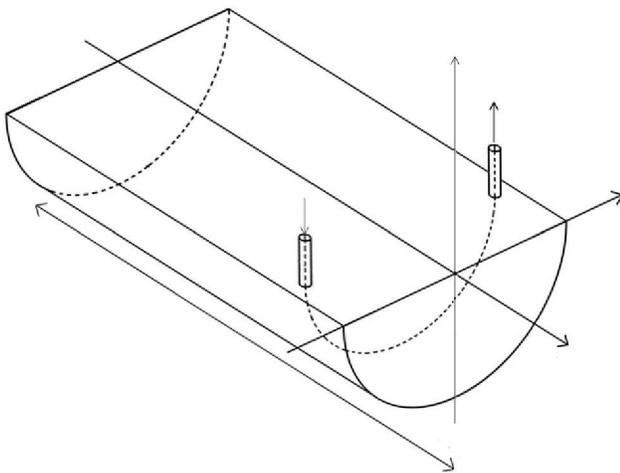


Figura 1. Vista esquemática del sensor.

El principio de operación del sensor es ilustrado en la figura 2, el cual muestra una sección transversal del elemento de detección óptico y las fibras conectadas a él. Una de ellas es la fibra de entrada y la otra la de salida. La luz de una fuente remota (LED no mostrado en la figura) es acoplada vía la fibra de entrada (2) al interior del elemento de detección (1). La luz se propaga por medio de reflexiones totales internas hasta que llega al plano de salida del elemento de detección. En este plano una parte de la luz es acoplada al núcleo de la fibra de salida (3) y llega a través de esa fibra a un fotómetro remoto (no mostrado en la figura).

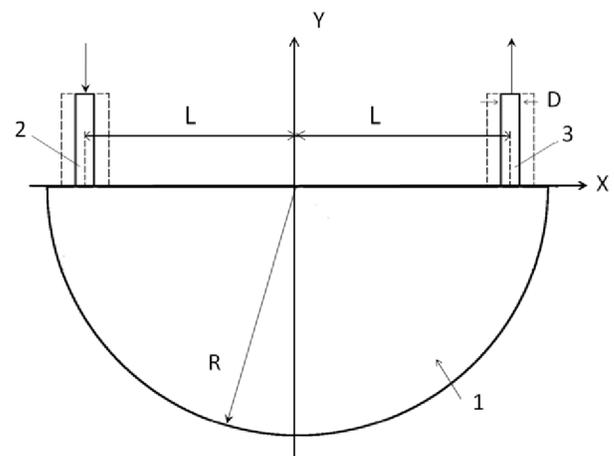


Figura 2. Transductor refractométrico, consiste de un elemento semicilíndrico de dieléctrico transparente (1) integrado con una fibra óptica de entrada (2) y otra fibra óptica de salida (3).

Cuando el elemento está en el aire la reflexión es un poco más potente (bajo cierta posición de las fibras relativa en el elemento de detección), cuando el elemento está inmerso en un líquido la reflexión en la superficie del cilindro disminuye o se desvanece por completo debido a una menor diferencia en los índices de refracción en los dos medios. Por consiguiente la transmisión óptica en el elemento de detección es $T=I_{out}/I_{in}$, I_{out} e I_{in} son la intensidad de la luz de salida y entrada respectivamente, las cuales son una medida de el índice de refracción externo, n .

La diferencia en la transmisión óptica en el elemento de detección en el aire y en un líquido en particular, sirve como discriminación entre los dos medios y es un fundamento para la medición de nivel de líquido con un arreglo vertical de estos sensores (en cuyo caso, su salida es interpretada de una manera binaria).

Todos los parámetros geométricos del sensor están relacionados al radio del elemento de detección R , y se usaron las siguiente cantidades adimensionales para describir la geometría del sensor: el diámetro adimensional del núcleo de las fibras $\Phi=D/R$, la distancia adimensional de las fibras ópticas desde el plano de simetría del elemento $A=L/R$.

La transmisión óptica T es una función de los parámetros ópticos y geométricos del elemento de detección y las fibras ópticas. En vista de obtener una relación entre estos parámetros, se empleó un procedimiento iterativo con el propósito de encontrar la combinación de valores óptimos de los parámetros del sensor. Este procedimiento incluye el análisis de la transmisión del sensor contra el índice de refracción externo, la cual fue obtenida por medio del algoritmo de trazados de rayos y experimentalmente. El análisis arrojó datos para las correcciones del diseño inicial. Este procedimiento fue repetido hasta que se obtuvo una diferencia suficientemente grande de la respuesta del sensor al aire-gasolina y al aire-diesel.

Se simuló el trazado de rayos por medio de un modelo matemático, un algoritmo computacional y un programa de computación en Visual Basic, programa descrito en [10]. El análisis fue simulado para rayos en el plano x - y del elemento de detección para el caso en que el medio externo es aire, este análisis se muestra en la figura 3.

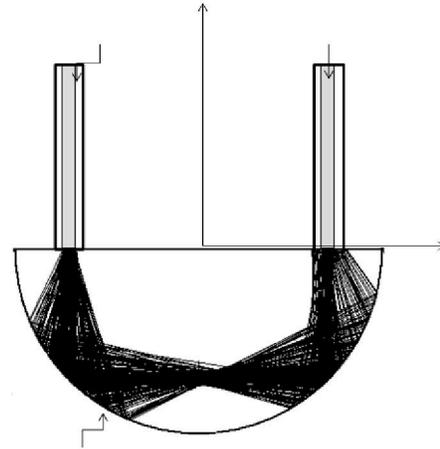


Figura 3. Trayectoria de rayos en el elemento de detección bajo $\Phi=0.075$, $\Lambda=0.7$, $NA_{entrada}=0.485$, $NA_{salida}=0.095$.

Con el análisis numérico se obtuvo también la transmisión óptica contra índice de refracción externo con la geometría del sensor y las constantes del material como parámetros. En práctica, es conveniente caracterizar el funcionamiento del sensor en términos de la transmisión relativa $T^*= I_{out}(n)/I_{out\ air}$, debido a que esta cantidad no incluye la intensidad de la luz de entrada I_{in} la cual no puede ser medida experimentalmente [11]. Las gráficas de la transmisión relativa T^* contra el índice de refracción externo n obtenidas bajo la combinación casi-óptima de los parámetros del sensor para varias distancias adimensionales relativas A son mostradas en la figura 4.

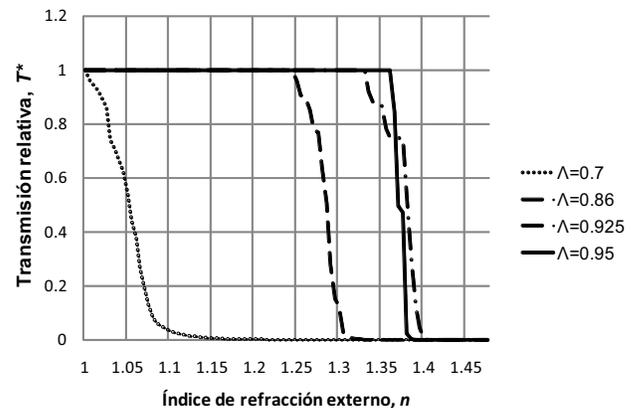


Figura 4. Transmisión relativa calculada T^* vs. Índice de refracción externo, n bajo $\Phi=0.075$, $NA_{entrada}=0.485$, $NA_{salida}=0.095$.

Los datos en la figura 4 muestran el efecto de la distancia adimensional en la respuesta del sensor a diferentes índices de refracción externos. El índice de refracción de la gasolina es alrededor de 1.442 y el del diesel es de 1.461 para una longitud de onda $\lambda = 940$ nm. Para una confiable discriminación entre aire y gasolina o entre aire y diesel es la característica escalonada T^* entre $n=1.3...1.4$ es apropiada. Por tanto, cualquiera de las tres distancias adimensionales A ($\Lambda=0.86, 0.925$ y 0.95) pueden ser empleadas en el sensor, debido a que entregan una función de la transmisión relativa en el rango específico de índices de refracción externos n .

Además se realizó un análisis para conocer si es factible fabricar el sensor con algunas fibras ópticas plásticas comerciales, las cuales son mostradas en la tabla 1 [12], todas son fibras comercializadas por Mitsubishi, fabricadas con un núcleo de PMMA, con índice de refracción de 1.49 y cabe mencionar que se seleccionaron estas fibras porque el fabricante las recomienda para el uso de sensado de temperatura, velocidades, niveles de líquidos y posicionamiento, también porque la única característica que cambia entre las mismas es el diámetro del núcleo.

Modelo	Perfil	NA	Diámetro del núcleo [μm]	Diámetro adimensional Φ
SK10	SI	0.5	240	0.012
SK30	SI	0.5	735	0.03675
SK40	SI	0.5	980	0.049
SK60	SI	0.5	1470	0.0735

Tabla 1. Características de algunas POFs comerciales

La transmisión relativa T^* calculada contra en índice de refracción bajo la distancia adimensional $\Lambda=0.95$ y características idénticas de todas las fibras ópticas es graficada en la figura 5. De acuerdo con los datos es posible concluir que la fibra estándar SI POF es la menos adecuada para esta aplicación, debido a la pendiente que presenta en la transmisión relativa.

En la gráfica de la figura 5 se muestra la transmisión relativa T^* calculada contra el índice de refracción con un posicionamiento de las fibras a una distancia dimensional $\Lambda=0.925$ para las fibras mencionadas en la tabla 1. Realizando un análisis de esta gráfica se concluye que el modelo más adecuado para la fabricación del sensor es el SK10 ya que presenta una respuesta escalonada, mientras que el menos adecuado es el SK60.

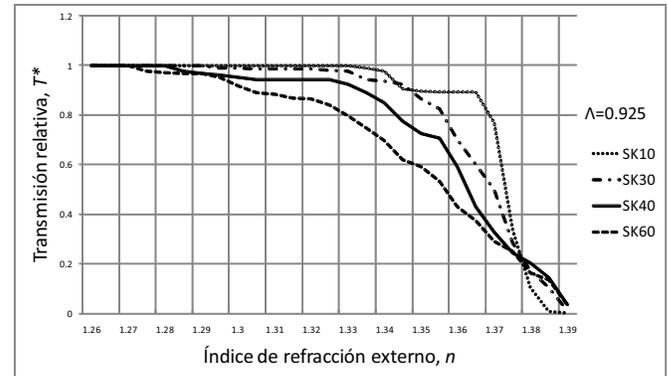


Figura 5. Transmisión relativa calculada T^* vs. Índice de refracción externo, n para algunas fibras POF comerciales

III. EXPERIMENTO.

El experimento fue realizado con un modelo del sensor físico relativamente grande. El diseño esquemático del experimento se muestra en la figura 6. Se utilizó un haz de miles de fibras ópticas de un diámetro pequeño (alrededor de 20 μm cada una). Cada haz cuenta con un diámetro total de 3mm. Se utilizó un diafragma con apertura circular de varios diámetros en orden de modelar físicamente las fibras ópticas con diámetros distintos en su núcleo. La apertura angular efectiva de la fibra de entrada fue controlada cuando fue necesario por el ángulo de incidencia de la misma. Ambas fibras ópticas estaban en contacto con el elemento de detección en puntos simétricos a la superficie del elemento detector. Se empleó un líquido adecuado para acoplar el área de contacto de la superficie del elemento con la fibra con el propósito de evitar reflexiones excesivas en la interfase de contacto.

Las terminaciones de las fibras que estaban en contacto con el elemento de detección fueron montadas en dos unidades de desplazamiento en los planos x-y-z de precisión las cuales permitieron el movimiento de las fibras relativo al plano de simetría del sensor. El elemento semicilíndrico de detección tiene un radio $R = 20\text{mm}$ (en un dispositivo práctico, el radio del elemento de detección puede reducirse y pueden usarse fibras ópticas comunes en el campo de las telecomunicaciones en lugar de un haz de fibras.)

Se utilizó como fuente de luz un LED infrarrojo de alta radiación hecho de GaAlAs con un ángulo de divergencia de emisión de 40° . Dicho LED fue excitado por una onda de corriente triangular que fue generada por un generador de señales, dicha onda tuvo una amplitud de 14 mA a una frecuencia de 100 Hz ; se escogió una onda triangular para identificar una posible saturación en el receptor óptico a la salida del sensor. El generador fue conectado en serie al LED y a una resistencia de $330\ \Omega$ y la fuente de luz fue acoplada a la fibra óptica de entrada.

Como fotodetector se usó un fotodiodo de Ge de gran área de sensibilidad (25 mm^2), el cual se acopló a un amplificador de transimpedancia, el cual se conectó a un fotómetro. Los datos obtenidos de cada medición fueron guardados en una computadora vía una interfase RS232 para después ser procesados.

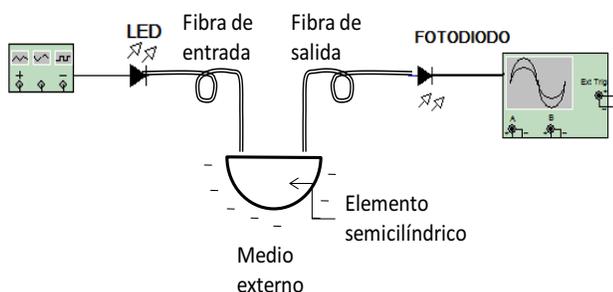


Figura 6. Diagrama esquemático del experimento.

La característica de transmisión del transductor fue obtenida de la siguiente manera: El par de fibras ópticas fueron posicionadas originalmente a la mínima distancia posible alrededor de $0.5 R\Lambda = 0.5$). Así, se incrementó la distancia de las fibras desde el plano de simetría del sensor discretamente con incrementos de $\Lambda=0.005$ hasta el borde del elemento semicilíndrico ($\Lambda = 0.99$). Para cada posición de las fibras la intensidad de la luz fue medida a la salida del transductor; dichas mediciones se realizaron primero como medio externo el aire y después con el elemento semicilíndrico inmerso en diferentes líquidos, como agua destilada, gasolina y diesel. Enseguida la transmisión relativa fue calculada, procesada estadísticamente (se promedió los resultados de 10 mediciones individuales) y graficada.

Alternativamente, la transmisión óptica del sensor fue medida con varios medios externos (el aire y varios líquidos) bajo una posición fija de las dos fibras ópticas. Esto excluyó posibles errores en la posición de la fibra cuando se mide la transmisión óptica bajo diferentes medios externos.

IV. RESULTADOS.

Los datos experimentales de la transmisión del sensor en el aire contra la distancia relativa Λ se graficó en la figura 7. Los picos observados en la gráfica son debidos al acoplamiento de las dos fibras ópticas por dos, tres, cuatro o más reflexiones secuenciales de la luz en la superficie del elemento de detección cilíndrico. Esto corresponde a algunas distancias discretas adimensionales Λ , mientras que para las distancias intermedias no se provee ningún acoplamiento o se provee uno muy reducido.

La transmisión en líquidos es siempre menor que la transmisión en el aire, debido a la reflectividad de la superficie del sensor cuando está inmersa en un medio más denso ópticamente. Por tanto, el cero o las regiones cercanas a cero en la gráfica de la figura 7 son inservibles; los picos de las regiones de transmisión que corresponden a un mayor acoplamiento entre las dos fibras ópticas son las

regiones que sirven para la discriminación entre aire y líquidos y por tanto para la medición de nivel de líquidos.

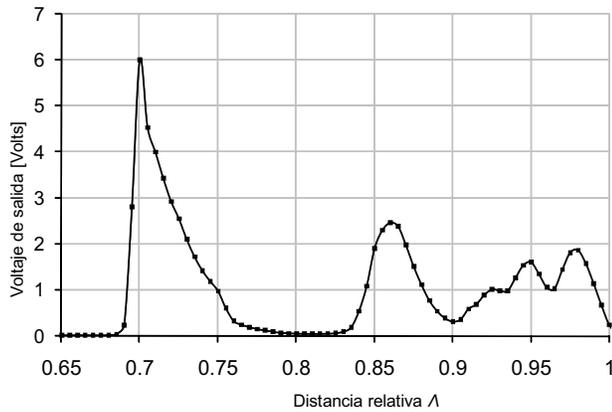


Figura 7. Voltaje de salida del sensor vs posición relativa de las fibras cuando el sensor esta en el aire.

Las distancias adimensionales Λ las cuales corresponden a los picos observados en la transmisión óptica en el aire están dadas en la tabla 2.

Pico de transmisión N.	Distancia Adimensional, Λ
1 °	0.70
2 °	0.86
3 °	0.925
4 °	0.95
5 °	0.975

Tabla 2. Picos de transmisión

Los datos experimentales en la transmisión relativa del sensor para aguas destilada, gasolina y diesel están graficados en la figura 8 para una distancia relativa de $\Lambda=0.925$ y parámetro adimensional de las fibras de $\Phi=0.075$. Para estos datos es posible llegar a la conclusión de que se puede discriminar claramente entre aire-gasolina, aire-diesel, agua-gasolina y agua-diesel a bajo las condiciones previamente descritas.

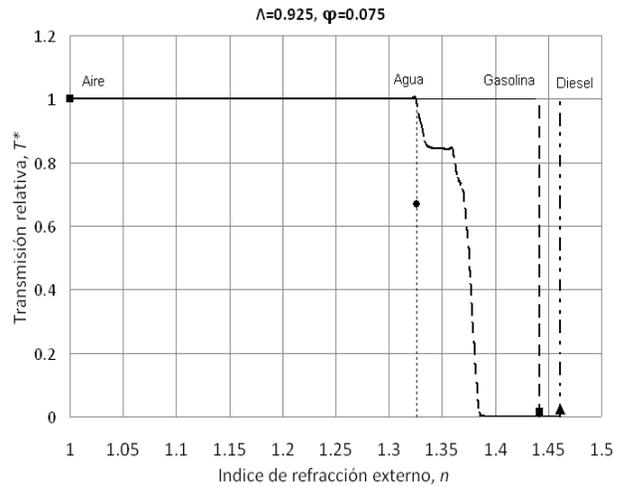


Figura 8. Resultados teóricos (.....) y experimentales bajo $\Phi=0.075$, $N_{Aentrada}=0.485$, $N_{Asalida}=0.095$. Los puntos experimentales corresponden a agua destilada (•) gasolina (■) y diesel (▲).

V. CONCLUSIONES.

Como se mostró se investigó teórica y experimentalmente la respuesta de un sensor refractométrico de fibra óptica basado en un elemento de detección semicilíndrico de plástico que mide el índice de refracción de un medio circundante. Particularmente se investigó la transmisión para medios externos como aire, gasolina, agua y diesel con el propósito de integrarlo en el sistema de control de algún vehículo que utilice combustibles como los mencionados para medir el nivel dentro de un tanque de algún vehículo que utilice estos combustibles. Se investigó cuales son los parámetros óptimos en los cuales se puede tener una discriminación confiable entre aire-gasolina y aire-diesel de tal forma que se puede pensar en un arreglo vertical de fibras ópticas para poder tener una medición completa de los tanques.

VI. REFERENCIAS.

- [1] O. Ziemann, J. Krauser, P. E. Zamzow, W. Daum, *POF Handbook. Optical Short Range Transmission Systems*, Springer, Berlin Heidelberg, 2008.
- [2] Breyer, F., Lee, J., Randel S., and Hanik, N., “*Comparison of OOK- and PAM-4 Modulation for 10 Gbit/s Transmission over up to 300 m Polymer Optical Fiber,*” Optical Fiber Communications National Fiber Optic Engineers Conference, 2008. OFC/NFOEC 2008. Conference on, 24-28 Feb. 2008, pp. 1–3.
- [3] Ciocan, C., “*The Domestic Digital Bus System (DB2). A Maximum of Control Convenience in Audio Video*”, Consumer Electronics, 1990. ICCE 90. IEEE 1990 International Conference on, 6-8 Jun. 1990, pp. 170 – 171.
- [4] Guglielmetti, L., “*Standardizing Automotive Multimedia Interfaces*”, IEEE Specrum, Apr.-Jun. 2003, pp. 76–78.
- [5] Cena, G. and Valenzano, A., “*Performance Analysis of Byteflight Networks*”, Factory Communication Systems, 2004, Proceedings. 2004 IEEE International Workshop on, 22-24 Sept. 2004, pp. 157–166.
- [6] Arcos M., Chana, D., Contreras, K. et al., “*Design and Fabrication of a Novel Plastic Optical Sensor for Temperature Measurement Using a Chemical Transducer*”, Plastic Optical Fibers, 2007, Proceedings. 16th International Conference on, 10-12 Sept. 2007, p. 189.
- [7] Arrue, J., Jimenez, F., Aldabaldetrekú G. et al., “*Analysis of the Parameters of Tapers in graded-Index POF for the Design of a Refractive-Index Sensor and Other Applications*”, Plastic Optical Fibers, 2007, Proceedings. 16th International Conference on, 10-12 Sept. 2007, pp. 238-241.
- [8] Poisel, H., Meedt, H., and Niewisch, J., “*Fiberoptic Liquid-Level Sensor – FOLLS*”, Plastic Optical Fibers, 2007, Proceedings. 16th International Conference on, 10-12 Sept. 2007, pp. 178-181.
- [9] N. G. Sultanova, S. N. Kasarova, C. D. Ivanov, and I. D. Nikolov, “*Refractive data of optical plastics for laser applications*” International Conference on Holography, Optical Recording, and Processing of Information, vol. 6252 of Proceedings of SPIE, pp. 1–5, Varna, Bulgaria, May 2006.
- [10] Khotiaintsev, K. *Desarrollo de una aplicación de simulación numérica para sensores refractométricos ópticos*, Tesis para obtener el grado, Universidad Autónoma de Puebla, Puebla, Pue., México, 2005 .
- [11] Svirid V., Khotiaintsev S. and Swart, P. “*Linear and Steplike Characteristics in an Optical Fiber Refractometric Transducer with Hemispherical Detection Element*”, OpticalEngineering, vol. 42, no. 5, 2003, pp. 1383-1389.
- [12] <http://www.mitsubishicorp.com/us/en/bg/ps/fo.html>

VII. AUTORES

Dr. Serguei Khotiaintsev recibió el grado de Maestro en Ciencias y el grado de Doctor de la Facultad de Ingeniería en Radio del Instituto Politécnico de Kiev (hoy en día Universidad Nacional Tecnológica de Ucrania). Actualmente es Profesor de Tiempo Completo de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México. Es autor o co-autor de más de 120 artículos, algunos libros y tiene 19 patentes. El Dr. Khotiaintsev es *Senior Member* del IEEE.

Enrique Llanito Caudillo estudió Ingeniería en Telecomunicaciones en la Universidad Nacional Autónoma de México.

Ing. Selene Pérez García obtuvo su título de Ingeniería en Telecomunicaciones en la Facultad de Ingeniería de la UNAM. Actualmente es estudiante de tiempo completo de la maestría en Ingeniería Eléctrica en la UNAM.

Ing. Jordi Morales Farah recibió el grado de ingeniero en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.