

## USO DE UN LÁSER DE FIBRA ÓPTICA COMO SENSOR

Cervantes Meza, Hernando Jose (1), Guzmán Chávez, Ana Dinora (2), Montaña Parra, Daniel Ricardo (3), Pérez López, Ricardo (4), Vargas Rodríguez, Everardo (5)

1 [Ingeniería electrónica, Corporación Politécnico de la costa atlántica – Barranquilla Colombia.] | [hernando967@hotmail.com]

2 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [ad.guzman@ugto.mx]

3 [Licenciatura en Física, Facultad de Ciencias y Educación, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia] | [drmontanap@correo.udistrital.edu.co]

4 [Licenciatura En Ingeniería En Comunicaciones Y Electrónica, Universidad De Guanajuato] | [rperezlopez@ugto.mx]

5 [Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de Ingenierías, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato] | [evr@ugto.mx]

### Resumen

En este trabajo se presenta el estudio experimental de un sensor óptico basado en un láser de fibra óptica dopada con erbio. El láser tiene una cavidad Fabry-Perot la cual está formada por un espejo de Faraday y un sistema de dos obleas de silicio que actúan como interferómetros Fabry-Perot. La longitud de onda de emisión del láser está gobernada por uno de los picos máximos del espectro de interferencia generado por dicho sistema interferométrico. A la cavidad láser se le empalmó una fibra óptica estándar a la cual se le aplicó curvatura con el fin de generar pérdidas dentro de la cavidad y provocar un cambio en el transitorio del láser. El parámetro de dicho transitorio que se midió fue el tiempo de retardo y se obtuvo una sensibilidad no lineal al diámetro de curvatura de 280 ms/cm para el rango de diámetros de curvatura de 0,9 a 2,6 cm.

### Abstract

In this work the experimental study of an optical sensor based on an erbium doped fiber laser is presented. The laser has a cavity Fabry-Perot which is formed by a Faraday rotator mirror and a system of two silicon wafers that act as Fabry-Perot interferometers. The emission wavelength is governed by one of the maximum peaks of the generated interference spectrum by such interferometric system. A standard fiber optic was spliced inside the cavity and curvature was applied to this fiber with the purpose to generate losses inside the cavity and to provoke a change in the laser transient. The parameter of such transient that was measured was the delay time and a non lineal curvature diameter sensitivity of 280 ms/cm for the curvature diameter range from 0,9 to 2,6 cm was obtained.

### Palabras Clave

Sensor, Fibra óptica, Oblea de silicio, Transitorio laser, Diámetro curvatura.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años, la tecnología del sensor de fibra óptica ha estado en constante estudio originando nuevos dispositivos y han evolucionado de manera significativa para medir una amplia variedad de propiedades físicas, como cambios químicos, deformación, campo eléctricos y magnéticos, temperatura, presión, rotación, desplazamiento, radiación, flujo, nivel de líquido, vibraciones, intensidad de luz y color [1,2,3,4].

Los sensores de fibra óptica son dispositivo que puede funcionar en entornos hostiles donde los sensores eléctricos y electrónicos convencionales tienen dificultades [5,6]. Además una de las ventajas de los sensores ópticos basados en láseres de fibra óptica es que se puede usar electrónica convencional de bajo costo para analizar la señal de salida [7].

En este trabajo se presenta el estudio experimental de un sensor óptico basado en un láser de fibra óptica dopada con erbio (LFDE). El láser tiene una cavidad Fabry-Perot la cual está formada por un espejo de Faraday y un sistema interferométrico formado por dos obleas de silicio (Si) que actúan como interferómetros Fabry-Perot. Una oblea de silicio tiene un grosor de  $90,5 \mu\text{m}$  (IFP 1) y otra tiene un grosor de  $376 \mu\text{m}$  (IFP 2). La longitud de onda de emisión del láser está gobernada por uno de los picos máximos del espectro de interferencia generado por la oblea de silicio gruesa que coincide con uno de los picos máximos del espectro de interferencia de la oblea delgada. Al sistema interferométrico se le aplicó una temperatura de  $17,7 \text{ }^\circ\text{C}$  para mantener estable la longitud de onda de emisión. También a la cavidad láser se le empalmó una fibra óptica estándar a la cual se le aplicó curvatura con el fin de generar pérdidas dentro de la cavidad y provocar un cambio en el transitorio del láser. El parámetro de dicho transitorio que se midió fue el tiempo de retardo y se obtuvo una sensibilidad no lineal a la curvatura de  $280 \text{ ms/cm}$  para el rango de diámetros de curvatura de  $0,9$  a  $2,6 \text{ cm}$ .

## MATERIALES Y MÉTODOS

En la figura 1a se muestra el arreglo experimental del sensor óptico basado en un láser de fibra óptica dopada con erbio. Para este arreglo, un diodo laser de bombeo (BL976-SAG300 Thorlabs) con longitud de onda de emisión de  $976 \text{ nm}$  y una potencia de  $300 \text{ mW}$  se empalmó a la entrada de  $980 \text{ nm}$  de un multiplexor por división de longitud de onda (WDM, WD202A-FC Thorlabs). La entrada  $1550 \text{ nm}$ -WDM se empalmó a un espejo de Faraday (FRM por sus siglas en inglés) y al común del WDM se le empalmó una fibra óptica dopada con erbio (EDF ER80- 4/125 Thorlabs) de  $60 \text{ cm}$  de largo. El otro extremo de la fibra dopada se empalmó a un acoplador 50/50 de 4 colas (TW1064R5A2A Thorlabs). El 50% de la señal del espectro de luminiscencia de la fibra dopada se acopló a una oblea de Si (IFP 1) y el otro 50% a otra oblea de Si (IFP 2) con diferente grosor a la anterior. La temperatura de las obleas de Si se mantuvo en  $17,7 \text{ }^\circ\text{C}$  para que el espectro de interferencia generado por el sistema interferométrico no se desplazara. La señal obtenida por estas dos obleas es obtenida por la cola restante del acoplador (siendo esta la salida del sensor óptico) y analizada utilizando un fotodetector y un osciloscopio digital.

En la figura 1b se muestra de manera detallada la unión entre la fibra óptica y la oblea de Si, donde se utilizó un microtubo de vidrio para brindar firmeza a la fibra. Dicha fibra es pegada al microtubo con cianocrilato (pegamento instantáneo) y adherido a la oblea de Si con plastilina epóxica. El esquema muestra una configuración ideal de un interferómetro Fabry-Perot, donde el rayo interactúa directamente con la superficie de silicio, sin embargo, la configuración real implica una posible bicapa de aire y/o cianoacrilato entre la fibra y la superficie de la oblea de Si. Es importante mencionar que el Si tiene propiedades termo-ópticas.

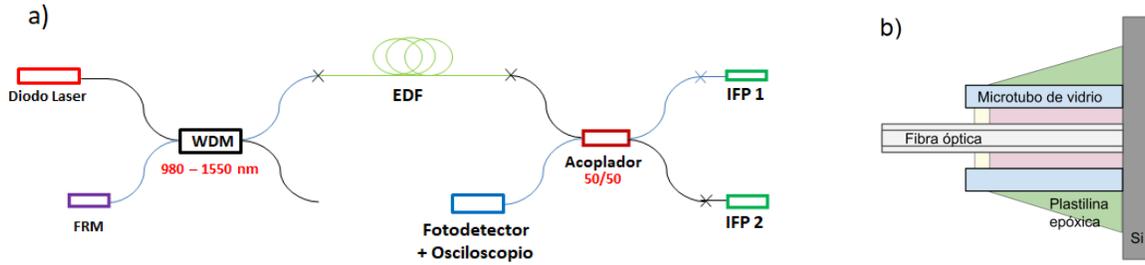


Figura 1. a) Esquema del arreglo experimental del sensor óptico basado en un láser de fibra óptica. b) Diagrama del sistema que se utilizó para acoplar la luz a la oblea de silicio.

Una vez que se fija la longitud de onda de láser es necesario modular el bombeo óptico para medir el transitorio láser. Uno de los parámetros del transitorio láser es el tiempo de retardo ( $\tau_R$ ) el cual puede ser observado después de que el bombeo es encendido y antes de que la emisión láser alcance estabilizarse en el tiempo. Se sabe que para modificar dicho transitorio es necesario cambiar el bombeo óptico, la ganancia o las pérdidas dentro de la cavidad. Una forma de modificar las pérdidas dentro de la cavidad es induciendo curvatura a una fibra óptica que se encuentre dentro de la cavidad.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la figura 2a se muestran los resultados obtenidos de la caracterización del sistema interferométrico cuando se le aplica las siguientes temperaturas, 12.4, 17.7 y 25.1 °C. También se puede observar que el espectro generado por las dos obleas está formado principalmente por dos espectros de interferencia. Uno de los espectros tiene un FSR mayor (oblea con grosor de 90.5  $\mu\text{m}$ ) que el segundo espectro que está gobernado por la oblea de Si con grosor de 376  $\mu\text{m}$ . Cabe mencionar que el sistema que se utilizó para acoplar la luz a la oblea de Si tiene adhesivos con propiedades termo-ópticas y de expansión térmica, lo que al calentar el sistema provocó una cierta perturbación en los espectros de interferencia.

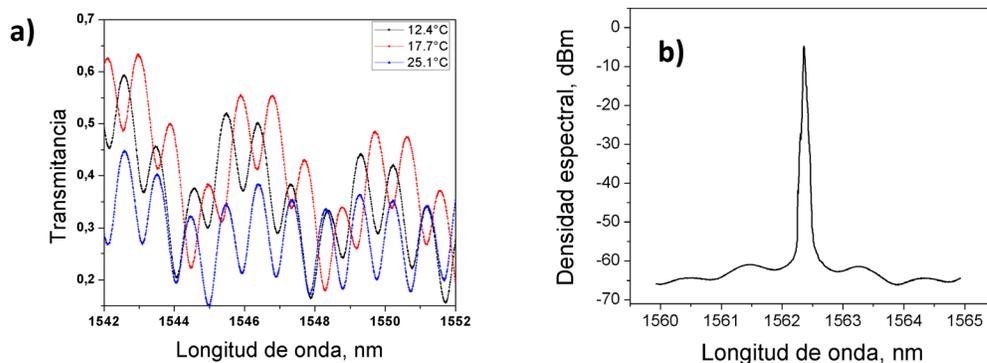


Figura 2). Espectro de interferencia generado por el sistema interferométrico cuando se le aplica tres diferentes temperaturas. b) Espectro de emisión del LFDE cuando se la temperatura del sistema interferométrico es de 17,7 °C.

En la figura 2b se observa el espectro de emisión del láser a la longitud de onda  $\lambda = 1562,32 \text{ nm}$  cuando se le aplica una temperatura de 17,7 °C al sistema interferométrico. Es importante mencionar que la longitud de onda de emisión del láser está gobernada por uno de los picos máximos del espectro de interferencia

generado por la oblea de silicio gruesa que coincide con uno de los picos máximos del espectro de interferencia de la oblea delgada.

En la figura 3a se muestra la señal del transitorio láser cuando a una fibra óptica estándar, que se encuentra dentro de la cavidad laser se le curva con tres distintos diámetros de curvatura, 1,2, 1,6 y 2,2 cm. La potencia de bombeo modulada tuvo un nivel de 0 mW y un nivel alto de 250 mW y la frecuencia de modulación del bombeo fue de 20 KHz, la cual fue suficiente para medir el tiempo de retardo que está definido como el tiempo comprendido desde el inicio del bombeo hasta que la emisión alcanza la mitad de la amplitud del nivel la emisión en estado estable. Se puede observar que el tiempo de retardo va aumentando conforme el diámetro de curvatura también aumenta, debido a que las pérdidas dentro de la cavidad incrementan.

En la figura 3b se muestra la respuesta del sensor óptico, es decir, el tiempo de retardo medido en función de distintos diámetros de curvatura, desde 0,9 a 2,6 cm. Se puede observar en la figura que la respuesta del sensor es no lineal y la curva que mejor ajusta a dicha respuesta es una exponencial. Se puede notar que el sensor es mucho más sensible a diámetros de curvatura muy pequeños. Finalmente el sensor óptico mostró una sensibilidad no lineal al diámetro de curvatura de 280 ms/cm.

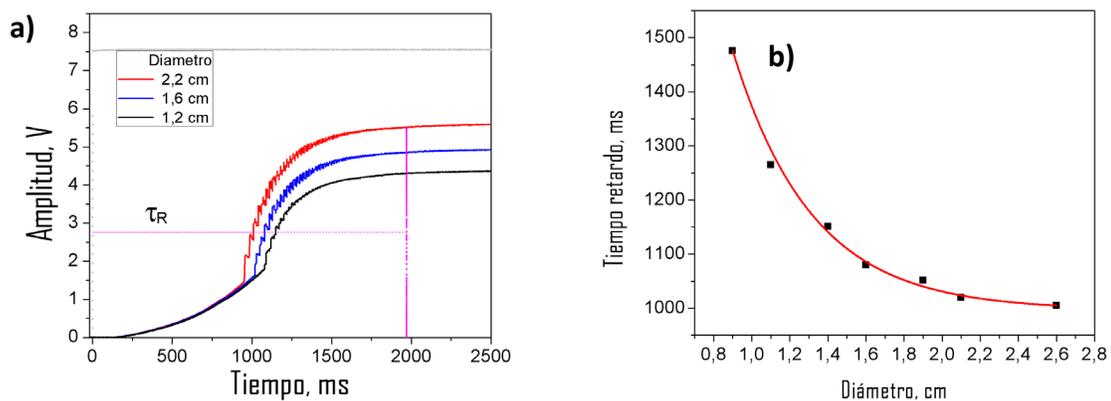


Figura 3. a) Señal del transitorio laser para tres diferentes diámetros de curvatura. b) Tiempo de retardo en función del diámetro de curvatura.

## CONCLUSIONES

En este trabajo se reporta un sensor óptico al diámetro de curvatura basado en un láser de fibra óptica. La cavidad del láser está formada por un espejo de Faraday y un sistema interferométrico de dos obleas de silicio. La longitud de onda de láser está gobernada por un pico máximo del espectro generado por el sistema. Además cuando se le aplica curvatura a una fibra estándar que está dentro de la cavidad láser se modifican las pérdidas dentro de la cavidad y por tanto el transitorio del láser. Por tanto es posible medir curvatura por medio del tiempo de retardo de la respuesta del transitorio de láser. La sensibilidad no lineal al diámetro de curvatura alcanzada fue de 280 ms/cm para el rango de diámetros de curvatura de 0,9 a 2,6 cm.

## AGRADECIMIENTOS

Quiero primeramente agradecer a Dios por esta oportunidad de venir a esta estancia de verano en la Universidad de Guanajuato. Además deseo expresar mi gratitud a mi asesora la Dra. Ana Dinora Guzman.

Estoy muy agradecido por su orientación y conocimiento compartido en esta estancia de verano. También darles gracias a mis compañeros de verano por su ayuda y colaboración.

## REFERENCIAS

- [1] Agous, A.(2013) sensores de fibra óptica para la detección de compuestos orgánicos volátiles basados en xerogeles silíceos híbridos. España: unavarra. Recuperado de <https://academica-e.unavarra.es/handle/2454/8744>.
- [2] Villanueva, J. Vázquez, R & García, C. Sensores de fibra óptica y sus aplicaciones en el medio ambiente. México: espacioimasd. Recuperado de [http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num3/pdf/articulo\\_fibraoptica.pdf](http://www.espacioimasd.unach.mx/articulos/num3/pdf/articulo_fibraoptica.pdf).
- [3] P. Nath, H. Kumarjit , D. Tiwari. T. Basumatry, (2012) Fiber-optic liquid level sensor based on coupling optical path length variation. Review of Scientific Instruments, .83, (5), 055006.
- [4] Muhd-Satar.N, Abd-Rahman, Yahya, A. & Alam. S, (2010). Optical Fiber Sensor for Smart Structure Monitoring. AIP Conference Proceedings 1250, 137G.
- [5] Castrellon. J, (2012) Optical Fiber Sensors: An Overview. Inglaterra: intechope, <https://www.intechopen.com/books/fiber-optic-sensors/optical-fiber-sensors-an-overview>.
- [6] Valadez, J. Guzmán, A. Vargas, E. (2017) Estudio experimental de láseres de fibra óptica con distintos tipos de cavidad. Jóvenes en la Ciencia. 3(2), 705-709.
- [7] Guzman, A, Diez, A, Cruz, J, Andres., M. (2012) An Experimental Investigation on the Transient Characteristics of a Liquid-Filled Erbium-Doped Y-Shaped Microstructured Optical Fiber Laser. Laser Phys. **22**(3), 579-583.