

Carmen Edith Domínguez Flores, Osvaldo Rodríguez Quiroz, David Monzón Hernández  
Centro de Investigaciones en Óptica, A. C. Lomas del Bosque 115, Lomas del Campestre, León, Guanajuato 37150, México.  
carmendmz@cio.mx

## RESUMEN

El interferómetro de fibra óptica en configuración Fabry-Perot es uno de los más simples de construir y de analizar pero al mismo tiempo es el que más se ha explotado en el campo de los sensores de fibra óptica. Este interferómetro básicamente consiste de dos superficies plano-paralelas parcialmente reflectoras separadas por una distancia, aun cuando la estructura está perfectamente definida existen en la actualidad un número importante de versiones. En este trabajo se estudiaron los fundamentos del principio de operación del interferómetro de Fabry-Perot (FP) extrínseco de fibra óptica, y se desarrollaron herramientas computacionales con el cual se hizo análisis numérico de la función de transferencia del interferómetro. Con esto se estudió el efecto que cada uno de los parámetros de la estructura tiene en el espectro de interferencia, así también se estudiaron con estas herramientas los efectos que tienen en la interferencia las perturbaciones externas.

## INTRODUCCIÓN

La tecnología de sensores de fibra óptica es en la actualidad un campo de investigación interesante debido principalmente a las demandas de un mercado que no para de crecer y requiere cada vez dispositivos con mejores cualidades. El campo es relativamente joven, pues la investigación en sensores de fibra óptica empezó hace aproximadamente 5 décadas, aun así se ha logrado concretar y explotar comercialmente varios dispositivos como por ejemplo las rejillas de Bragg y los interferómetros de fibra óptica. Precisamente es interesante que los interferómetros de fibra óptica hayan logrado, lo que los interferómetros convencionales no han logrado, la explotación comercialmente masiva de un fenómeno físico fundamental como la interferencia. Por tal motivo es importante el estudio de estos mecanismos para entender a profundidad su funcionamiento y posteriormente poder construir dispositivos de fibra óptica con cualidades mejoradas para el sensado de variables físicas.

## METODOLOGÍA

La cavidad Fabry-Perot consta de dos superficies plano-paralelas semireflectantes, en este caso estas superficies son los extremos de la fibra óptica por la que se propaga la luz y colocada frente a otra fibra óptica, separados por una distancia  $L$ . El sistema óptico para analizar el espectro de interferencia consta de una fuente de luz de amplio espectro (LED o LED superluminescente), un acoplador 2X1 y un analizador de espectros ópticos (OSA). El espectro de emisión de las fuentes utilizadas normalmente es de aproximadamente  $80 \text{ nm}$ .

La estructura fundamental, y mas simple de un interferómetro Fabry-Perot extrínseco de fibra óptica se muestra en la Figura 1. En donde entre las fibras con reflexiones  $R_0$  y  $R_1$  se tiene una cavidad con índice de refracción  $n_0$  y coeficiente de absorción  $\alpha$ .

En el extremo de la fibra óptica, el 4% de la luz incidente de campo eléctrico  $E$  se refleja, el resto de la luz sale de la fibra con un campo  $E_1$  y se propaga a través de la cavidad hasta llegar a la segunda superficie con un campo  $E_2$ , en este caso otra fibra óptica. Parte de la luz se refleja  $E_3$  y se propaga a través de la cavidad llegando con  $E_4$ , solamente una porción de esta luz se volverá a acoplar al núcleo de la fibra óptica  $E_5$ . Finalmente, los haces con campos  $E_0$  y  $E_5$  interfieren en el núcleo de la fibra óptica y da por resultado un patrón modulado en longitud de onda.

La intensidad del haz de salida, en el OSA, se puede describir por la ecuación siguiente:

$$I_R = R_0 + (1 - R_0)^2 R_1 + 2(1 - R_0) \sqrt{R_0 R_1} \cos\left(\frac{4\pi n_0 L}{\lambda} + \varphi\right) \quad (1)$$

En donde consideramos  $\alpha=0$ , además  $\lambda$  es la longitud de onda y  $R_0$  se puede escribir como:

$$R_0 = \left(\frac{n_1 - n_0}{n_1 + n_0}\right)^2 \quad (2)$$

Donde  $n_1$  es el índice de refracción del núcleo de la fibra.

El tamaño de la cavidad influye fuertemente el patrón de interferencia, tanto en el periodo de la como en la visibilidad. La longitud de la cavidad  $L$  se puede estimar a partir del patrón de interferencia escribiendo la intensidad en términos de la frecuencia angular  $\omega$  y aplicando la Transformada Inversa de Fourier (TIF).

$$\mathcal{F}^{-1}\{I_R(\omega)\} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} I(\omega) \cdot e^{+j\omega t} d\omega \quad (3)$$

Obteniendo como resultado:

$$\mathcal{F}^{-1}\{I_R(\omega)\} = \{R_0 + (1 - R_0)^2 R_1\} \cdot \delta(t) + \sqrt{R_0 R_1} (1 - R_0) \cdot \{\delta(t + t_0) + \delta(t - t_0)\} \quad (4)$$

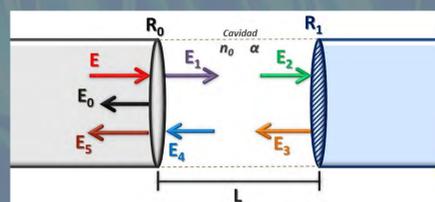


Figura 1. Cavidad FP de dos superficies.

## RESULTADOS

Se desarrollaron las matemáticas para un interferómetro de fibra con cavidad Fabry-Perot de aire  $n_0=1$  entre dos fibras estándar SMF 28 de igual coeficiente de reflexión.

Posteriormente se realizó la simulación de su intensidad a la salida de el sistema dada por la ecuación (1), variando la longitud de onda de  $1480$  a  $1500 \text{ nm}$ . Con una longitud de la cavidad de  $L=500 \mu\text{m}$  y un índice  $n_1$  de  $1.4458$ . El resultado es una señal cosenoidal periódica la cual se presenta en la Figura 2.

Luego se calcularon las intensidades  $I_1$  e  $I_2$  para dos cavidades de longitudes  $L_1=100 \mu\text{m}$  y  $L_2=500 \mu\text{m}$  respectivamente. Este resultado se muestra en la Figura 3, en donde se observa un cambio de frecuencia de la intensidad dada la variación de la longitud de la cavidad.

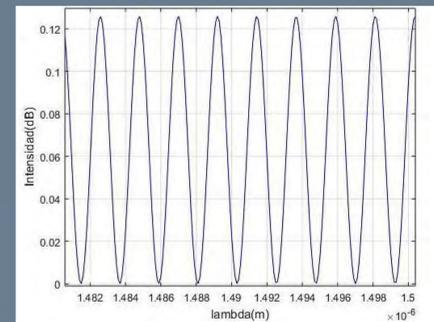


Figura 2. Intensidad a  $L=500 \mu\text{m}$ .

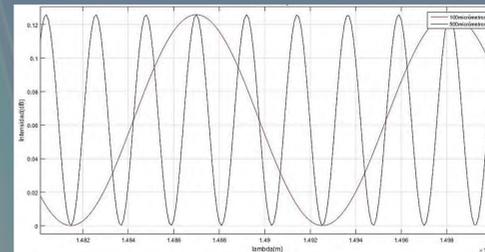


Figura 3. Intensidades  $I_1$  e  $I_2$ .

Finalmente, dados los tiempos calculados en las TIF podemos conocer las longitudes de las cavidades de nuestros interferómetros Fabry-Perot como se presentan en las Figuras 6 y 7.

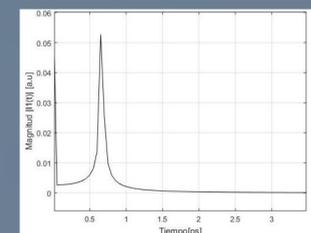


Figura 4. TIF de  $I_1$ .

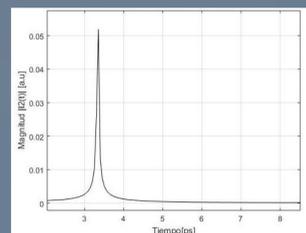


Figura 5. TIF de  $I_2$ .

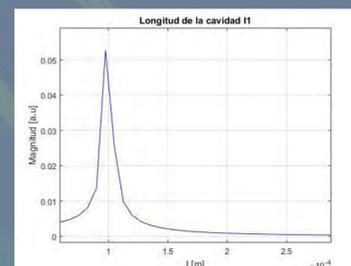


Figura 6. Longitud de la cavidad  $I_1$ .

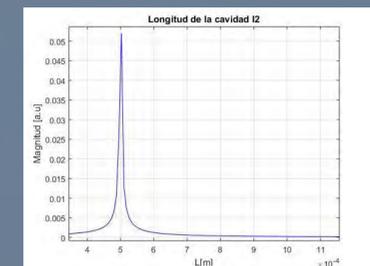


Figura 7. Longitud de la cavidad  $I_2$ .

## CONCLUSIONES

Se estudió el comportamiento de un interferómetro de fibra óptica con cavidad Fabry-Perot. Se caracterizó la intensidad a la salida de este sistema para dos longitudes de la cavidad distintas, aplicando la TIF se obtuvieron sus frecuencias y de aquí fue posible conocer las longitudes de las cavidades. Con el sistema desarrollado se pretende desarrollar una metodología para caracterizar los cambios en el espectro de interferencia debido a perturbaciones externas.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Udd, E. and W.B. Spillman, Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists. 2011: Wiley
- [2]. Méndez, A. Fiber Bragg grating sensors: a market overview. 2007.
- [3]. Ran, Z.L., et al., Laser-micromachined Fabry-Perot optical fiber tip sensor for high-resolution temperature-independent measurement of refractive index. Optics Express, 2008. p. 2252-2263.
- [4]. Arya, V, et al. Exact Analysis of the Extrinsic Fabry-Perot Interferometric Optical Fiber Sensor Using Kirchhoff's Diffraction Formalism. Optical Fiber Technology, 1995. 1(4): p. 380-384.
- [5]. Gangopadhyay, T.K., et al., Modeling and analysis of an extrinsic Fabry-Perot interferometer cavity. Applied Optics, 2005. 44(16): p. 3192-3196.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología.