

## Estudio de las propiedades de un sensor de fibra óptica tipo Fabry-Pèrot

Gustavo Arenas<sup>1</sup>, Sergio Noriega<sup>2</sup>, Nelida Russo<sup>2</sup> y Ricardo Duchowicz<sup>2,3</sup>

1. Departamento de Física, Facultad de Ingeniería, UNMDP  
 2. Centro de Investigaciones Ópticas (CIOP), CC 124, 1900 La Plata  
 3. Departamento de Física, Facultad de Ciencias Exactas, UNLP

### ABSTRACT

Un dispositivo Fabry-Pèrot (FP) de baja reflectividad, construido con los terminales de dos fibras ópticas, fue utilizado como espejo en un emisor superradiante basado en el empleo de una fibra óptica dopada con erbio. La ganancia del medio amplificador presenta un pico principal en la zona de los 1530 nm, el cual es modulado por la respuesta del Fabry-Pèrot. La característica espectral de la emisión del dispositivo, bajo las condiciones analizadas, consiste de picos (generalmente dos), cuya separación es dependiente del espaciado del Fabry-Pèrot. Se discute su aplicación como sensor de desplazamientos, vibraciones, etc. y como fuente de frecuencias múltiples para análisis de componentes y redes de fibra óptica.

### INTRODUCCIÓN

Los sensores basados en fibra óptica han generado un alto interés en diversos campos en virtud de sus numerosas ventajas. Así por ej., son utilizados en refinerías, plantas químicas, de generación de energía y en otros ambientes peligrosos, dado que no ofrecen riesgos aún operando en áreas donde puedan existir vapores explosivos. Pueden operar en condiciones de temperaturas extremas y dada su inmunidad a interferencias electromagnéticas, son apropiados para utilizarse cerca de fuentes de alta tensión. El carácter dieléctrico de la fibra hace que estos sensores eliminen los problemas derivados de la puesta a tierra o descargas eléctricas. Asimismo toleran altas concentraciones de hidrógeno y ambientes corrosivos, soportan fuertes vibraciones, son extremadamente sensibles y de gran ancho de banda.

Dado que estos dispositivos son livianos y de pequeño tamaño, su aplicación resulta apropiada en áreas como la industria aeroespacial o la automotriz. Ellos pueden medir: temperatura, presión, vacío, posición lineal y rotacional, tensión, vibración y aceleración [1-3]. Además, es posible multiplexar las mediciones de un gran número de sensores para realizar control de procesos industriales.

Por otro lado, la utilización de interferómetros tipo *Fabry-Pèrot* (FP) es ampliamente conocida tanto en la medición de temperaturas [4] como de desplazamientos submicrométricos y vibraciones.

En nuestro caso, hemos complementado un FP de baja reflectividad con un medio de alta ganancia generando emisiones múltiples con separaciones espectrales entre picos similares, obteniendo una distribución de alto contraste. El rango de emisión fue coincidente con la región de mayor ganancia del erbio utilizado como medio amplificador.

Este sistema es muy sensible a desplazamientos por lo que resulta de gran potencialidad en desarrollos de sensores de posición o de vibración.

Además, dada las propiedades espectrales de este emisor superradiante, el mismo reúne las condiciones para constituirse en una importante herramienta en análisis de enlaces que utilizan multiplexado denso por división de longitud de onda (DWDM).

### TEORÍA

Un dispositivo Fabry-Pèrot es un filtro que opera por interferencia de múltiples haces reflejados y transmitidos por un par de superficies reflectantes. Como es bien conocida, su respuesta es del tipo función de *Airy* [5].

$$\frac{I_r}{I_0} = \frac{\left(\frac{1}{1-R}\right)^2}{1 + \frac{4R}{(1-R)^2} \text{sen}^2\left(\frac{d}{2}\right)} \quad (1)$$

donde  $R$  es el coeficiente de reflexión y  $\delta$  representa la diferencia de fase de las ondas que interfieren.

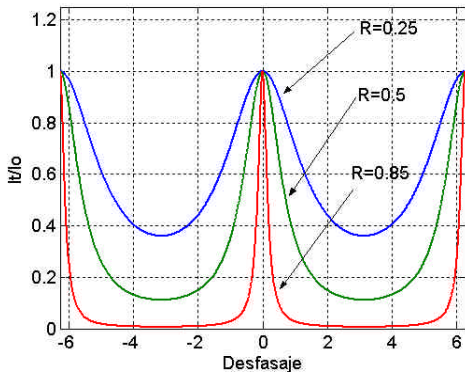
El parámetro  $\delta$  en este interferómetro se calcula como

$$d = 2kl \cos(\theta) \cong \frac{4pl}{\lambda} \quad (2)$$

en donde se tuvo en cuenta que la incidencia del haz es perpendicular a las caras ( $\theta \approx 0^\circ$ ), y  $k = 2\pi/\lambda$ .

Esta función presenta picos periódicos cuando  $\delta$  toma valores múltiplos de  $2\pi$ , y la forma de los mismos depende fundamentalmente de la reflectividad de las caras que forman la cavidad resonante, la longitud de onda de la luz, y la longitud de la cavidad.

En la Fig. 1. puede observarse una gráfica de la función para tres coeficientes de reflexión distintos:  $R=0.25$ ,  $R=0.5$  y  $R=0.85$ .



**FIG. 1.** Función de Airy, que representa la respuesta en longitud de onda de un Interferómetro Fabry-Pèrot.

Impuesto  $R$  y  $\lambda$ , la transferencia de este filtro queda sólo en función de la distancia de separación de las caras  $d$  (longitud de la cavidad), que se logra a través de la medición de la separación de los picos espectrales (*Free Spectral Range*).

La separación entre picos para un FP con interfase de aire esta dada por:

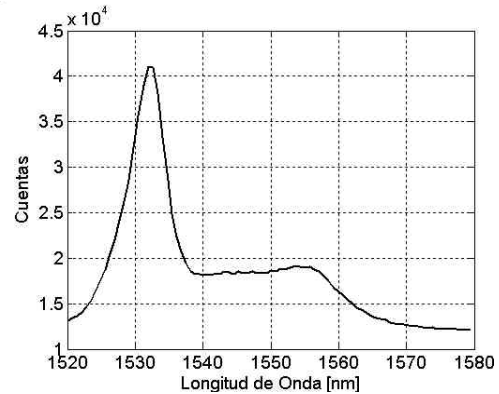
$$\Delta I = \frac{I^2}{2.d} \quad (3)$$

de donde,

$$d = \frac{I^2}{2.\Delta I} \quad (4)$$

En nuestro caso, la reflectividad de los espejos constituyentes de la cavidad es pequeña, por lo que solo se observaría una pequeña modulación. La utilización de una fibra dopada con erbio (básicamente un amplificador óptico) adosada a dicho dispositivo tiene una doble función: generar una fuente de banda ancha para el análisis del FP, la cual se puede observar por transmisión, y amplificar la radiación reflejada por el mismo.

La Figura 2 muestra una curva de ganancia típica para el amplificador, la cual es dependiente de la potencia del láser de bombeo y del largo y concentración de la fibra dopada. La distribución muestra un pico de mayor ganancia en la zona de 1530 nm. Un aumento en la potencia de excitación de la fibra dopada genera un aumento en la relación entre este pico y el resto de la región de ganancia, a la vez que el pico se estrecha lo cual produce como consecuencia, una reducción del rango de utilidad del dispositivo.

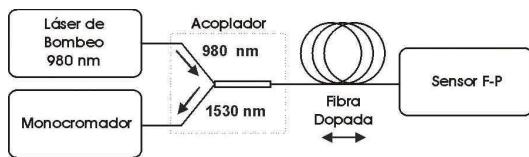


**FIG. 2.** Curva de Ganancia del Amplificador de Fibra dopada con Erbio.

La combinación de ambos elementos genera un dispositivo de alta sensibilidad y precisión. Debido a la alta ganancia del medio, se produce una emisión superradiante caracterizada por una distribución espectral de gran intensidad prácticamente discreta, por lo que la posición de los picos se hallan muy bien definidos. La separación espectral entre picos se correlaciona en forma directa con el espaciado del FP (ec. 3).

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El esquema del arreglo experimental utilizado se observa en la Fig. 3. Un láser de bombeo con emisión en 980 nm (980 Laser Module SDLO-2564-125) con una potencia máxima de 125 mW, se utilizó para excitar una fibra dopada con Erblio de 9 m de longitud y una concentración de 790 p.p.m. a través de un acoplador WDM (980/1550). Parte de la radiación emitida por el erbio incidió en el FP produciendo un patrón de interferencia (en este caso por reflexión) que retornó al acoplador luego de atravesar nuevamente el medio de ganancia. La emisión estimulada generada en dicho pasaje (y dado el ensanchamiento homogéneo del ión en el rango espectral utilizado), modificó la distribución espectral original proveniente del FP manteniendo la posición de los máximos. La radiación generada fue posteriormente analizada utilizando un monocromador CVI K-480 y un detector de Ge, controlando el barrido del mismo y la adquisición de datos desde una PC a través de un controlador GPIB.



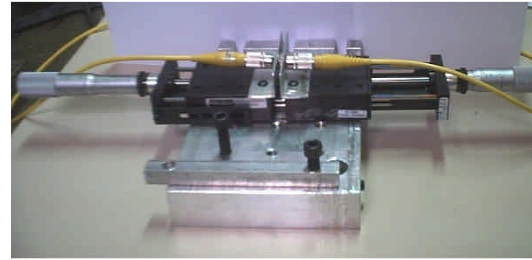
**FIG. 3.** Arreglo experimental del sensor Fabry-Pèrot (FP).

## CALIBRACIÓN Y AJUSTE

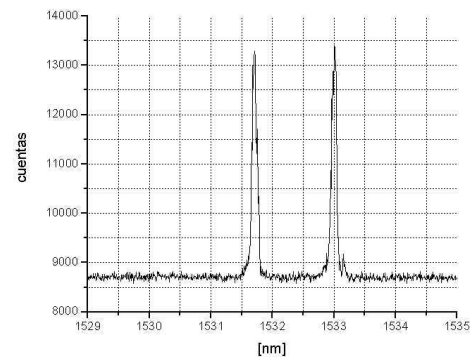
Se dispusieron dos conectores de fibra óptica enfrentados entre sí, cada uno de los cuales se montó sobre una plataforma móvil, tal como se observa en la fig. 4. Dichas plataformas se desplazaron mediante tornillos micrométricos con un paso mínimo de 25,4  $\mu\text{m}$ .

## RESULTADOS

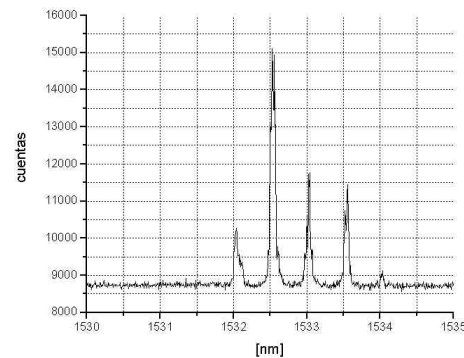
En las Figs. 5.a y b. se muestran dos distribuciones espectrales obtenidas para los casos en que la separación entre caras fueron de 0.920 y 2.444 mm, respectivamente.



**FIG. 4.** Sensor Fabry-Pèrot



**a.**

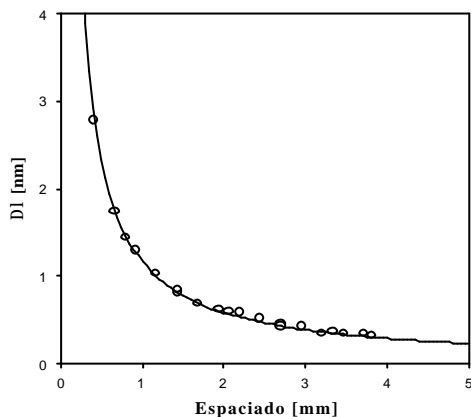


**b.**

**FIG. 5.** Curvas espectrales del sensor FP para **a.** 920 nm, y **b.** 2444 nm.

Los picos espectrales producidos por el sensor resultaron de ancho de banda reducido y de alto contraste. El nivel de ruido fue despreciable de modo que no afectó los resultados de las mediciones. En las mediciones efectuadas no se tomaron recaudos especiales con el objeto de minimizar efectos térmicos o vibraciones que podrían haber ensanchado los picos de la distribución. Se observa también que la región espectral de la emisión coincide con la de mayor ganancia del amplificador de fibra (Fig. 2).

En la Fig. 6. se observan parte de los resultados obtenidos y la simulación correspondiente. Se observa claramente que la sensibilidad del dispositivo es mayor para separaciones pequeñas de los reflectores (<1mm). El límite superior del rango de medición de este sistema esta determinada por el ancho espectral de los picos emitidos y por supuesto, por la resolución espectral del analizador utilizado. Para distancias entre reflectores mayores a 4 mm, los picos se solapan y dificultando la medición de su separación.



**FIG. 6.** Comportamiento del sensor en el rango de trabajo estudiado: círculos, puntos experimentales; línea, simulación con la ec. 3.

## CONCLUSIONES

Se presenta el desarrollo de un sensor de desplazamiento de diseño simple con resolución micrométrica. El mismo está basado en un interferómetro Fabry-Pèrot de baja reflectividad y un amplificador de fibra dopada con erbio.

El dispositivo produjo picos de emisión superradiante cuyas longitudes de onda son dependientes de la separación del FP. El ancho espectral de los picos fue aproximadamente de 0.1 nm. La distancia espectral entre ellos, determinada mediante un analizador de espectros ópticos, fue correlacionada con la separación del FP y la simulación realizada concuerda con los resultados experimentales obtenidos.

El rango de operación queda determinado por la región de ganancia utilizada: la separación

espectral máxima de los picos observada correspondió a 0.25 mm, mientras que para distancias entre reflectores mayores a 3.5 mm, los picos se solapan espectralmente.

El esquema utilizado es válido para el desarrollo de sensores de vibraciones y esfuerzos. Como emisor es también apropiado en el desarrollo de técnicas para WDM (Wavelength Division Multiplexing o multiplexado por división de longitud de onda), de aplicación en redes de Comunicaciones de alta capacidad de transmisión, donde se requiere la respuesta de un sistema a canales espectralmente cercanos.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1]. "Fiber Optic Sensors - An Introduction for Engineers and Scientist", Eric Udd.
- [2]. "Optical Fiber Sensors - Applications, Analysis and Future Trends", Vol. 4, Ed. John Dakin, Brian Culshaw, 1997.
- [3]. Wang G.Z., Wang A.B., Murphy K.A., Vengsarkar A.M., Electronics Letters, Vol. 27, N° 20, pp.1843-1845, 1991.
- [4]. Sawatari T., Tuma M., NASA Tech. Brief, Vol. 23, N° 1, pp.34-36, 1999.
- [5]. "Principles of Optics", M. Born, E. Wolf.