

# NUEVO SENSOR DE DESPLAZAMIENTO BASADO EN REDES DE DIFRACCIÓN UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS PLÁSTICAS

M. Lomer, G. Chuan, J. Zubía\*, A. Cobo, M. Quintela, J.M. López-Higuera  
Grupo de Ingeniería Fotónica, Departamento TEISA Universidad de Cantabria,  
e-mail : [lomer@teisa.unican.es](mailto:lomer@teisa.unican.es)

\* ETSI- Bilbao, Departamento de Electrónica, Universidad del País Vasco, [jtpzuzaj@bi.ehu.es](mailto:jtpzuzaj@bi.ehu.es)

**Abstract-** A novel fiber optic displacement sensor is realized by placing a diffraction grating in multimode fiber endfaces. The measure of two diffraction order, one of reference and another of displacement, allows in a simple way to compensate the fluctuations of the source and other disturbances.

## 1. Introducción

Los sensores de fibras ópticas son capaces de medir parámetros físicos tales como presión, temperatura, desplazamiento, etc. En general, los sensores de fibras ópticas son clasificadas en dos categorías [1-2]: intensidad y fase. Los sensores de fase utilizan fibras monomodo y emplean la técnica interferométrica para medir la variación de fase, mientras que los sensores de intensidad utilizan por lo general fibras multimodo y emplean la modulación de la luz para determinar el parámetro físico a medir.

Los sensores de fibras multimodo basados en intensidad son mucho más simples y baratos que los sensores de fibras monomodo. Sin embargo, las medidas realizadas son función de la intensidad óptica de salida y éstas son sensiblemente afectadas por las fluctuaciones de potencia debidas a la variación de la intensidad de la fuente de luz, variaciones por efecto de curvatura de la fibra, equilibrio modal o propios del medio ambiente. De otro lado, en un reciente trabajo se demostró el uso de redes de difracción en película delgada en fibras ópticas plásticas (POF) terminadas en ángulo [3]. Se obtuvieron tanto la separación espectral para varias longitudes onda así como la separación angular de los órdenes difractados.

En el presente trabajo proponemos un nuevo sensor de desplazamiento basado en intensidad utilizando una red de difracción ubicada en la extremidad de una fibra óptica multimodo terminada en ángulo. Esta disposición de la red en la fibra proporciona un mecanismo de auto referencia, de

simple construcción y flexible por el uso de fibras ópticas de plástico.

## 2. Principio de funcionamiento

El principio de funcionamiento del sensor se muestra en la figura 1. En el extremo de salida de una fibra óptica multimodo terminada en ángulo, se ha ubicado una red de difracción en película delgada. El ángulo de pulido de la fibra ( $\alpha$ ) y el periodo de la red son adaptados con la finalidad de obtener únicamente dos órdenes difractados en la salida de la fibra-red. Si todos los modos propagados por la fibra son modos guiados, estos pueden llegar en el extremo de salida con ángulos comprendidos entre  $\gamma = \pm \{90^\circ - \text{sen}^{-1}(n_2/n_1)\}$  con respecto al eje de la fibra;  $n_1$  y  $n_2$  son los índices de refracción del núcleo y del revestimiento de la fibra respectivamente. El ángulo de incidencia de los rayos ( $\theta$ ) se define a partir de la normal a la superficie de salida de la fibra-red. Los rayos transmitidos fuera de la fibra que participaran en el efecto de difracción, deben formar un ángulo menor que el dado por  $\text{sen}^{-1}(n_0/n_1)$ ,  $n_0$  es el índice de refracción del medio exterior. La luz difractada por la red situada a la salida de la fibra, para una onda monocromática, es dada por[4]:

$$\text{Sen} \beta_m = n_1 \text{Sen} \theta \pm \frac{\lambda}{d} m \quad (1)$$

donde  $\theta$  es ángulo de incidencia,  $m$  es un entero que representa el orden de difracción (0,  $\pm 1$ ,  $\pm 2$ , ...),  $\lambda$  es la longitud de onda y  $d$  el periodo de la red de difracción. Los rayos incidentes en la red para todos los modos propagados estarán comprendidos entre  $\theta_{\min} = \alpha - \gamma$  y  $\theta_{\max} = \alpha + \gamma$ . Buscando disponer únicamente órdenes difractados de un único signo (por ejemplo, órdenes negativos), es evidente que podemos prescindir de  $\theta_{\max}$ . Si consideramos un grupo de rayos transmitidos y difractados por la red, comprendidos dentro del ángulo  $\varepsilon$ , entonces el ángulo de incidencia, en función de

los ángulos,  $\alpha$ ,  $\gamma$ ,  $\varepsilon$  y las condiciones del medio exterior es dado por:

$$\theta = \alpha - \gamma + \varepsilon < \sin^{-1}(n_0/n_1) \quad (2)$$

Los rayos de incidencia fuera de este rango son radiados hacia el revestimiento. En el presente estudio nos restringiremos únicamente a los rayos transmitidos. En vista de las aplicaciones previstas, nos interesa obtener únicamente los órdenes 0 y -1. Los ángulos difractados de estos dos órdenes son del mismo signo que del ángulo incidente.

La separación espacial de dos órdenes consecutivos, se deduce a partir de la ecuación (1) como:

$$\Delta\beta = \sin\beta_m - \sin\beta_{m+1} = \frac{\lambda}{d} \quad (3)$$

Podemos observar que  $\Delta\beta$  depende de los parámetros de  $\lambda$  y  $d$  a través de la relación  $\lambda/d$ .

La aplicación de la ecuación (2) al caso de una fibra POF con núcleo de PMMA,  $n_1=1.492$  y  $NA=0,5$ , nos proporciona un ángulo  $\gamma$  de  $20^\circ$ , lo que significa que para  $n_0=1$  (índice del aire), el ángulo  $\theta$  por la cual serán transmitidos debe ser inferior a  $42^\circ$ . Para un ángulo de inclinación de la cara de salida de la fibra de  $\alpha=60^\circ$ , se obtiene una  $\varepsilon=2^\circ$ . Las fibras POF por su gran diámetro ( $980 \mu\text{m}$ ) pueden contener varios millones de modos o rayos en el espectro visible. En un rango angular de  $2^\circ$  se puede contener aproximadamente un 10% del total de modos guiados. Son estos modos los que participan en la transmisión fuera de la fibra y por tanto en la difracción por la red.

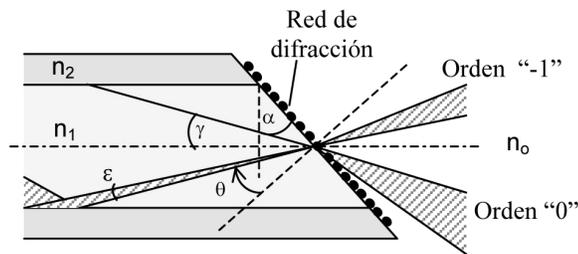


Fig. 1. Principio de funcionamiento del sensor de desplazamiento.

### 3. Resultados experimentales

El nuevo sensor de desplazamiento se basa en utilizar únicamente dos órdenes de difracción, órdenes 0 y -1. Utilizando los valores del apartado anterior para las fibras POF y diferentes diodos LEDs de las longitudes de onda se han verificado la difracción de los órdenes y también las posiciones angulares. Los resultados se han representado en la figura 2. Como se puede observar la eficiencia de difracción aumenta cuando la longitud de onda disminuye, aunque la separación angular disminuye. Se puede verificar igualmente que no aparecen los órdenes -2, debido tanto a las

características de las fuentes incoherentes como a la fibra multimodo POF. Para la demostración del sensor de desplazamiento se ha utilizado el resultado obtenido con la longitud de onda de  $660 \text{ nm}$ . En este caso la potencia difractada en el orden cero es más importante que en el orden -1.

El esquema del sensor se ha dibujado en la figura 3. Esta está constituida por la fibra 1 terminada con una red de difracción y dos fibras recolectoras, una del orden cero (fibra 2), que sirve como referencia y en posición fija, mientras que la otra (fibra 3), que recoge la potencia de orden -1, realiza la medida de desplazamiento. Cada una de las fibras recolectoras están conectadas a un detector. La intensidad medida por la fibra (3) es función del desplazamiento.

La potencia óptica guiada por la fibra 1 puede sufrir fluctuaciones debidas a estabilidad de la fuente o por curvaturas de la propia fibra. Estas fluctuaciones afectan a los dos órdenes difractados, por lo que el cociente será proporcional. Si trazamos la curva de la relación de potencia óptica entre los dos órdenes, podemos observar que estas variaciones son proporcionales y lineales. Utilizando una fuente LED ( $\lambda=660 \text{ nm}$ ) se ha procedido a medir la potencia óptica de la fibra 3 en función de la distancia. Los resultados de esta medida son ilustrados en la figura 4. Estos resultados muestran una zona lineal de variación dentro del rango de  $4 \text{ mm}$  a  $10 \text{ mm}$  con una resolución de  $0.05 \text{ mm}$ . El inicio del desplazamiento puede ser fijado desde el inicio de la medida, por lo que no presenta ninguna dificultad.

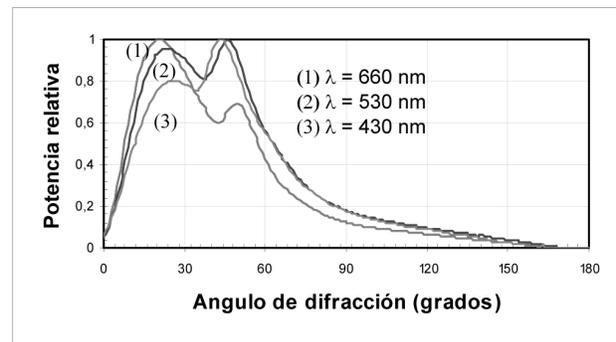


Fig. 2. Transmisión de la luz difractada correspondiente a los órdenes 0 y -1 para Fuentes LEDs de diferentes longitudes de onda.

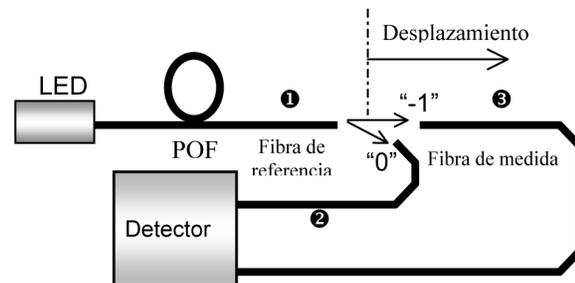


Fig. 3. Scheme of the proposed displacement sensor.

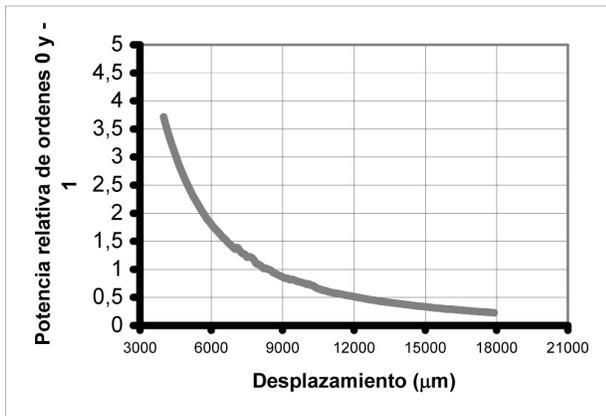


Figura 4. Potencia relativa de los órdenes 0 y -1 en función del desplazamiento con una fuente de luz LED (660 nm).

#### 4. Conclusión

Se ha propuesto y demostrado un nuevo sensor de desplazamiento utilizando una red de difracción ubicada en el extremo de una fibra POF terminada en ángulo. Midiendo 2 órdenes de difracción, uno de referencia y otro en función del desplazamiento se ha obtenido la autocompensación y estabilidad del sensor de salida. Utilizando una fuente de luz LED se ha obtenido un rango de medida de 4 a 18 mm con una resolución de 0,05 mm. Un rango de medida de desplazamiento más importante puede ser obtenido utilizando una fuente láser.

El principio de medida también puede ser utilizado para medir otros parámetros físicos: temperatura presión, etc. Así mismo se puede utilizar varias longitudes de onda, que permitirían medir simultáneamente parámetros físicos diferentes.

**Agradecimientos:** Se hace constar que este trabajo es soportado por el MCYT, a través de los proyectos CICYT.TIC2001-0877-CO2-01 y TIC2000-0590, y por la U.P.V.-E.H.U. a través del proyecto 9/UPV00147.345-14626/2002ZUBIA, razón por la que los autores muestran su agradecimiento.

#### Referencias

- [1] J. M. López-Higuera, "Handbook of optical fiber sensing technology", John Wiley and Sons Ltd., England, 2002.
- [2] J. Zubia and J. Arrue, "Plastic Optical Fibers: An introduction to their technological processes and applications", Optical Fiber Technology, Vol. 7, pp. 101-140, 2001.
- [3] M. Lomer, L.Robla, F. Madruga, A. Quintela, J.M. López-Higuera, "Demultiplexado en longitud de onda en el visible con fibras ópticas plásticas utilizando redes de difracción", Simposium URSI 2002, Madrid.
- [4] E.C. Loewen and E. Popov, *Diffraction Grating and Applications*, M. Dekker, Inc. N.Y. 1997.