

# Transductor de temperatura y presión basado en redes de difracción en fibra óptica: diseño, implementación y caracterización

## Temperature and pressure transducer based on FBG: design, implementation and characterization.

Antonio QUINTELA, Francisco ARRIBAS, Luis COBO, Jesús MIRAPEIX, José Miguel LÓPEZ-HIGUERA <sup>(1)</sup>

1. Grupo de Ingeniería fotónica, Ed. Ing. de Telecomunicación Prof. José Luis García García, Universidad de Cantabria, Plaza de la Ciencia Avda. Los Castros, s/n.39005 Santander

Persona de contacto: Antonio Quintela ([quintela@unican.es](mailto:quintela@unican.es)).

### RESUMEN:

Se presenta el diseño, implementación y caracterización de un transductor de presión y temperatura basado en redes de difracción en fibra óptica. A través de la deformaciones de una membrana fabricada de plástico reforzado con fibras ocasionadas por los cambios de presión se consiguen elongaciones y/o compresiones de las redes de difracción que están embebidas en la membrana. El diseño de la membrana y del transductor permite que las sensibilidades en ambas redes sean diferentes posibilitando la discriminación entre temperatura y presión. El transductor implementado fue caracterizado tanto en presión como en temperatura, obteniendo una gran linealidad en sus respuestas, validando el diseño del mismo.

**Palabras clave:** Transductor, presión, temperatura, red de difracción, fibra óptica

### ABSTRACT:

A temperature and pressure optical fiber transducer design, implementation and characterization are presented. The transducer are based on fiber Bragg gratings. The deformation with the pressure of a fiber reinforced plastic membrane transform the pressure changes in strain shifts into the fiber Bragg gratings embedded in the membrane. The membrane and the transducer designs allows the discrimination between both parameters. The transducer implemented has been characterized in temperature and pressure, obtaining a good linearity in both responses.

**Key words:** Transducer, pressure, temperature, fiber Bragg grating, optical fiber

## 1.- Introducción

Poder medir la presión de un fluido o gas en un determinado proceso es un aspecto tecnológico esencial en muchas aplicaciones industriales, y más aún cuando se producen en entornos *severos*. La medida de la presión de un fluido puede tener varios fines, reforzar la seguridad de un proceso, garantizar condi-

ciones óptimas de funcionamiento o monitorizar en tiempo real algún proceso.

Usar tecnologías ópticas, y en particular usar redes de difracción para el desarrollo de sensores de presión presenta ventajas como son: la pasividad química y electromagnética (EMI), biocompatibilidad, capacidad de multiplexación, es decir, posibilidad de fabricar

sensores distribuidos y cuasi-distribuidos, tamaño reducido, bajo coste, etc.[1]

En la literatura existen publicaciones de sensores de presión usando redes de Bragg, pero o bien presentan una baja sensibilidad [2] o bien su diseño presenta cierta complejidad para su fabricación [3,4]

En este artículo se muestra el diseño, implementación y caracterización de un transductor de presión y temperatura utilizando dos redes de difracción en fibra óptica embebidas en una membrana de plástico reforzado con fibras.

## 2.- Transductor

### 2.1.- Fundamentos teóricos

Una red de difracción en fibra óptica consiste en una variación periódica del índice de modulación en el núcleo de una fibra óptica. Esta estructura reflejara solo una parte de la luz incidente y centrada en torno a una longitud de onda, denominada longitud de onda de Bragg.

Las redes de difracción en fibra óptica debido a la gran dependencia de la longitud de onda de Bragg con la temperatura y la deformación, son utilizadas como la base de gran cantidad de sensores de deformación y/o temperatura. Si bien son sensibles a la presión transversal que se les aplique su sensibilidad es muy pequeña [2]. Para poder medir entonces presión con mayor sensibilidad con estas redes es necesario conseguir por ejemplo que las variaciones de presión se transformen en elongaciones o compresiones de la red la red de difracción.. Una opción es pegar o embeber una red de difracción en una de las caras de una membrana. Si en ambas caras de la membrana la presión es diferente esta se curvará hacia el lado con menor presión. Se provocará una elongación en la cara convexa y una compresión en la cara cóncava [5]. En la Fig. 1 se muestra una simulación de elementos finitos en el que se representa como sería la deformación en una membrana de 2,5 cm de diámetros al someterle a una presión de 1, 5 y 10 atm.

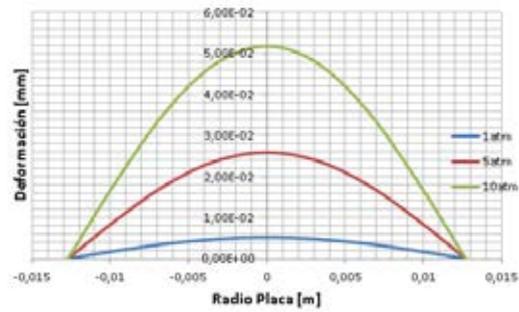


Fig.1: Simulación de la deformación de una membrana circular con la presión.

### 2.1.- Diseño y fabricación

El primer paso en el diseño del transductor es escoger el material de la membrana y la manera de fijar la red de difracción a la misma.

El material debe cumplir una serie de especificaciones: debe ser lo suficientemente rígido para soportar la presión a medir y ser resistente a la corrosión manteniendo sus propiedades físicas en el tiempo. Una opción es usar aceros inoxidables, pero se optó por usar materiales compuestos como los plásticos reforzados con fibra.

Se optó por estos materiales por tener la facilidad de fabricarlos en el laboratorio y así poder embeber dentro la red de difracción durante el proceso de fabricación del mismo. Con esto se evita el tener que usar pegamentos, evitando problemáticas típicas en el pegado.

Como se comentó en el apartado anterior las redes de difracción son no sólo sensibles a la deformación sino también a la temperatura. Además al estar embebido en un material esa sensibilidad a la temperatura aumenta, debido a la dilatación del material que ocasiona una deformación adicional. Para poder discriminar si la variación en la longitud de onda de Bragg es debida a una variación en la temperatura o en la presión se optó por añadir a la membrana una segunda red de difracción.

Para poder discriminar es necesario que las sensibilidades de las dos redes de difracción sean diferentes y no proporcionales entre si, para de esta manera poder resolver el siguiente sistema de ecuaciones.

$$\begin{aligned}\Delta\lambda_{FBG1} &= \Delta P \cdot K_{P1} + \Delta T \cdot K_{T1} \\ \Delta\lambda_{FBG2} &= \Delta P \cdot K_{P2} + \Delta T \cdot K_{T2}\end{aligned}\quad (1)$$

Donde  $\Delta\lambda_{FBG1}$  y  $\Delta\lambda_{FBG2}$  son las variaciones en las longitudes de onda de Bragg de las dos redes,  $\Delta P$  y  $\Delta T$  son las variaciones de presión y temperatura, respectivamente, en la membrana,  $K_{P1}$ ,  $K_{P2}$ ,  $K_{T1}$  y  $K_{T2}$  son las sensibilidades a la presión y a la temperatura de las cada una de las dos redes de difracción.

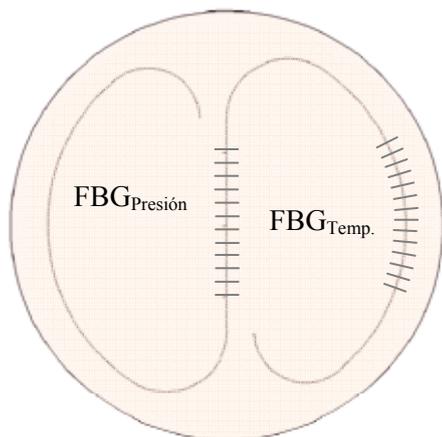


Fig.2 Diseño de la membrana con las redes de difracción.

En la Fig. 2 se muestra el diseño que se realizó de la membrana. Una de las redes de difracción ( $FBG_{Presión}$ ) iría colocada en el centro de la misma y la otra ( $FBG_{Temp.}$ ) iría en la parte exterior de la misma, ligeramente curvada siguiendo la forma circular de la membrana. La primera de ellas es la que más sensibilidad a la presión tendría por encontrarse en el centro de la membrana, como se mostró en la Fig. 1, mientras que la otra al estar en la zona exterior tendría una menor sensibilidad por estar en la zona exterior, y como se verá posteriormente no sometida directamente a la presión.

Además la membrana se realizaría en dos fases, en una primera se fabricaría el plástico reforzado sin embeber la fibra. Posteriormente se colocaría la fibra óptica con las dos redes de difracción, colocando la segunda de ellas en un pequeño vaciado en el material, que una vez colocada la red de difracción se rellenaría con pasta térmica. Finalmente se pondría sobre la membrana una capa de plástico reforzado quedando así embebidas ambas redes de difracción, con la diferencia de que una de ellas está embebida directamente en el plástico reforzado mientras que la otra

aunque está dentro del plástico reforzado está rodeada de pasta térmica.

La forma de “S” que se hace con la fibra es para facilitar la salida de la fibra por el medio de la membrana, minimizando las pérdidas por curvaturas en la fibra.

Una vez se tiene la membrana, 3 cm de diámetro, el siguiente paso es diseñar un soporte donde posicionarla la membrana y que permita que una cara esté a alta presión y la otra no, así como que no se produzca pérdidas de líquido o gas de una cara a la otra. En la Fig. 3 se muestra un corte transversal de cómo quedaría el transductor.

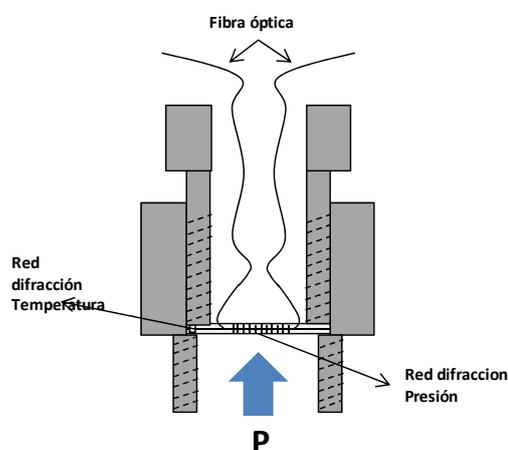


Fig.3 Esquema del transductor de presión y Temperatura.

### 3.- Caracterización

Para la caracterización de los transductores fabricados se usaron dos montajes, uno para caracterizarlo en temperatura y otro para la caracterización en presión.

#### 3.1.- Caracterización en Temperatura

El primero de ellos consistía en una cámara climática controlada por un ordenador, que a su vez también controlaba una unidad de interrogación de redes de difracción, modelo Bragmetter de Fibersensig. El ordenador iba controlando la temperatura de la cámara climática, y cuando consideraba que estaba estable tomaba las medidas de la unidad de interrogación. Se realizaron ciclos de 0 a 24°C,

En la Fig. 4 se muestran los resultados obtenidos para las dos redes de difracción. Se puede observar como en ambos casos se puede considerar una respuesta lineal, siendo además diferentes las pendientes de ambas. Eso es debido a que la segunda red no está embebida directamente en el plástico reforzado sino que primero esta embebida en pasta térmica y luego en el plástico reforzado.

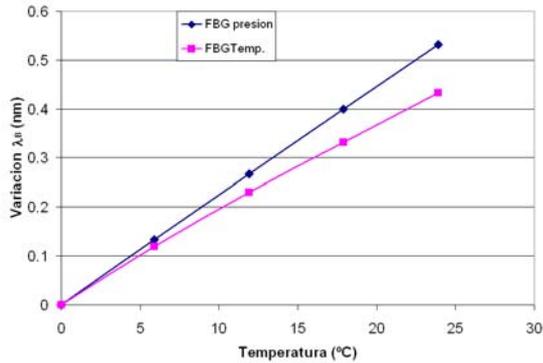


Fig.4 Respuesta a la temperatura de las dos redes de difracción embebidas en la membrana.

### 3.1.- Caracterización en presión

La caracterización en presión se realizó utilizando el montaje mostrado en la Fig. 5. El transductor se conecta a un tramo de tubería estanca. La entrada y salida del agua se controla con dos electroválvulas. A la entrada hay conectada una bomba de presión que se utilizará solo cuando se quiera una presión mayor a la que se tenga de la traída de agua. Para medir la presión se utilizó un manómetro digital de la casa AEP modelo LabDMM, con un certificado de calibración de organismo de acreditación italiana Accredia. Se usó la misma unidad de interrogación de redes de difracción utilizada en la caracterización de temperatura y así mismo todo estaba controlado por un ordenador. Este controlaba el tiempo de apertura de las válvulas de entrada y salida para conseguir la presión deseada en la tubería en cada momento. Una vez la presión estaba estabilizada, se tomaba la medida y se procedía a fijar otro valor de presión.

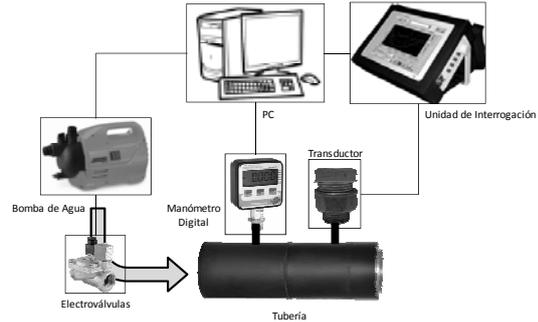


Fig.5 Esquema del montaje de caracterización en presión..

Se hicieron barridos de 0 a 5,5 bar, con pasos de presión de aproximadamente 0,2 bar. Se procuró que las medidas se hiciesen a  $T^a$  constante. En las Fig. 6 se muestran los resultados obtenidos para las dos redes de difracción en las que se puede ver la linealidad de los resultados obtenidos y como la sensibilidad de la red de difracción posicionada en el centro es mucho mayor, como se pretendía.

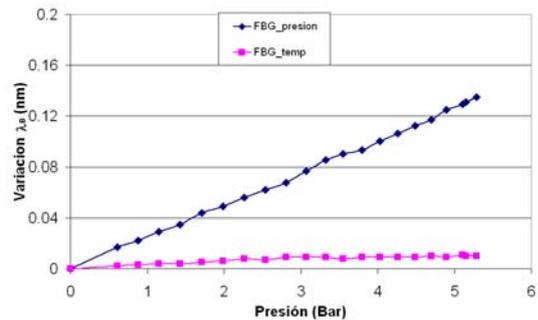


Fig.6 Respuesta a la presión de las dos redes de difracción embebidas en la membrana.

## 4.- Conclusiones

Se ha presentado el diseño, fabricación y su correspondiente caracterización experimental de un transductor de temperatura y presión utilizando una membrana circular de plástico reforzado con fibras, que tiene embebidas dos redes de difracción en fibra óptica. Ambas redes están colocadas en la membrana de manera que tengan diferentes sensibilidades a la presión y a la temperatura, para de este modo poder discriminar entre ambos parámetros. Si se aplica una presión sobre la membrana esta se deforma, transformando así los cambios de presión en elongaciones o compresiones de las redes de difracción.

La membrana se colocó en un soporte diseñado para asegurar la estanqueidad del trans-

ductor entre ambas caras de la membrana y además conseguir que la sensibilidad a la presión de ambas redes fuese muy diferente

El transductor implementado se caracterizó tanto en temperatura como en presión, obtienen respuestas prácticamente lineales en todos los casos, así como unas sensibilidades diferentes, lo que valida el correcto funcionamiento del transductor diseñado e implementado

*Agradecimientos:* Los trabajos presentados en esta comunicación fueron en parte financiados por el Ministerio Español de Ciencia y Tecnología a través del Proyecto TEC2010-20224-C02-02..Agradecimientos a la empresa COPSESA por su apoyo y colaboración.

### *Referencias*

- [1] J. M. LOPEZ-HIGUERA, [Introduction to optical fiber sensor technology] John Wiley & Sons Inc., New York, 1 (2002).
- [2] L. M.G. XU, “*Optical in-Fibre gratting high pressure sensor*”, *Electronic letters* Vol.29, No.4, 398-399, 1993.
- [3] H. G. a. J. M.G. XU, “Fibre Grating pressure sensor with enhanced sensitivity using a glass-bubble housing”, *Electronic Letters*, vol. 32, nº 2, pp. 128-129, 1996.
- [4] H. Z. Q. Z. LIHUI LIU, “Temperature-independent FBG pressure sensor with high sensitivity”, *Elsevier*, vol. 13, pp. 78-80, 2007.
- [5] A. QUINTELA, J.M. LÁZARO, M.A. QUINTELA, J. MIRAPEIX, V. MUÑOZ-BERTI, J.M. LÓPEZ-HIGUERA, “*Angle transducer based on fiber Bragg gratings able for tunnel auscultation*”, *EWOFS'10*, Oporto, Portugal, . 765318-1/765318-4, 2010.