

# Propuesta teórico-experimental de un sistema sensor cuasi-distribuido para la medida de temperatura basado en redes de difracción en fibra.

J.Echevarría, A. Cobo, J.L. Arce, I.Matías\*, F.J.Arregui\*, M.López-Amo\* y J.M.López-Higuera  
GRUPO DE INGENIERÍA FOTÓNICA - DPTO. TEISA  
E.T.S.I.I.YT. de Cantabria, Universidad de CANTABRIA  
Avda. Los Castros s/n 39005 Cantabria  
\* Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Electrónica - U.P. de NAVARRA  
Correo electrónico: jeche@teisa.unican.es

## Abstract:

Fiber Bragg Grating sensors are attracting a great attention due to its possibilities in structural monitoring. We have designed an experimental scheme to characterize temperature response of one of this sensors and a multiplexing system based on this scheme is analyzed. Laboratory results shows good temperature sensitivity. The multiplexing system have a good performance both technical and economical points of view.

## 1. Introducción.

Las redes de difracción en fibra o *Fiber Bragg Grating* (FBG) son estructuras periódicas definidas en el núcleo de una fibra óptica que permiten realizar sensores intrínsecos para medir diferentes magnitudes físicas de interés.

Debido a su pequeño tamaño y la naturaleza inerte de la fibra óptica se pueden insertar en materiales *composite* y en general en aquellos lugares donde se necesite realizar una medida no intrusiva. [1]

Las características fundamentales de los sensores construidos con estas estructuras son las siguientes :

- La codificación de la señal medida se realiza en longitud de onda por lo que el sistema de medida es inmune a las variaciones de pérdidas a lo largo del camino óptico de la luz y no se requiere una calibración al encender el sistema. Como contrapartida, es necesario un sistema de detección que tenga alta resolución en longitud de onda.
- La estructura sensora se graba en la fibra óptica sin cambiar su diámetro por lo que resulta compatible con todas las aplicaciones en las que las sondas deben ser muy pequeñas. Además, pueden ser producidas en grandes cantidades y con una buena repetitibilidad.
- Las magnitudes físicas que afectan a estos sensores son la temperatura, la presión y la deformación (*strain*). La sensibilidad que manifiestan frente a cada uno de estos parámetros da lugar a indeterminaciones en cuanto al origen de la perturbación. Es necesario, por tanto, diseñar sistemas de medida que permitan resolver estas indeterminaciones.
- Para que un sistema de medida con este tipo de sensores resulte rentable, es necesario realizar una multiplexación de los mismos. En algunos casos la potencia luminosa recibida puede ser

muy pequeña, necesiándose un sistema de detección bastante complejo.

## 2. Definición y características básicas de las redes de difracción en fibra.

Una FBG es básicamente una variación periódica del índice de refracción del núcleo de la fibra óptica que se construye sin cambiar el diámetro de la fibra ni degradar extremadamente sus características mecánicas. Este tipo de estructura se comporta como un filtro óptico que transmite todas las longitudes de onda ópticas que inciden sobre la misma menos la determinada por la  $\lambda_B$ . Esta  $\lambda_B$  es función del periodo de esta estructura. El espectro de reflexión es el complementario del de transmisión retornando solo la longitud de onda  $\lambda_B$ .

La longitud total  $L$  del FBG determinará la selectividad del filtro y por lo tanto la anchura espectral de la zona atenuada o retornada, siendo  $\Lambda$  el periodo de la estructura, la longitud de onda de Bragg en la que se centra el filtro FBG viene dada por

$$\lambda_B = 2n\Lambda \quad (1)$$

donde  $n$  es el índice efectivo del modo  $LP_{01}$ . Obviamente, cualquier modificación de estos valores cambia la longitud de onda que caracteriza el filtro.

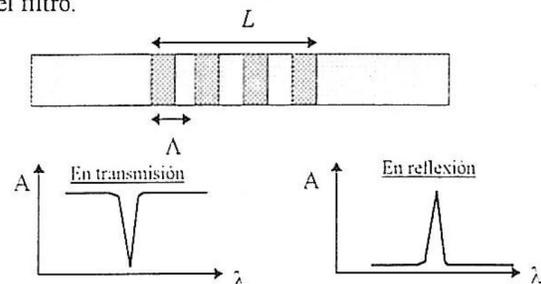


Figura 1. Estructura de un FBG y espectro transmitido y retornado.

La sensibilidad relativa de un FBG con la temperatura ( $T$ ), la deformación ( $\varepsilon$ ) y la presión ( $P$ ) viene dado por

$$\frac{\Delta\lambda_B}{\lambda_B} = a \cdot \Delta T + b \cdot \Delta\varepsilon + c \Delta P \quad (2)$$

donde los coeficientes  $a$ ,  $b$  y  $c$  dependen del coeficiente de expansión térmico, la constante fotoelástica y el módulo de *Young* del silice respectivamente. Estos valores se pueden expresar como

$$a = \frac{\delta\lambda}{\lambda \cdot \delta T} + \frac{\delta n}{n \cdot \delta T} \quad (3)$$

$$b = 1 - \frac{n^2}{2} [(1 - \mu)p_{12} - \mu p_{11}] = 1 - P_e \quad (4)$$

$$c = \frac{\delta\lambda}{\lambda \cdot \delta P} + \frac{\delta n}{n \cdot \delta P} \quad (5)$$

donde  $\mu$  es el coeficiente de *Poisson*,  $p_{11}$  y  $p_{12}$  son dos componentes del tensor elasto-óptico de la fibra. Se puede calcular que para una fibra la constante fotoelástica efectiva es  $P_e \cong 0.22$ . [2]

### 3. Experimental.

Seguidamente se muestran los trabajos experimentales que se ha llevado a cabo.

#### 3.1 Descripción del sistema de caracterización en temperatura.

El sistema de caracterización se ha diseñado de forma que realice una medida del espectro de transmisión del FBG. Para ello se ha iluminado el FBG por un extremo con una fuente de luz realizándose una medida mediante un analizador de espectro óptico (OSA) la luz propagada que se detecta en el otro extremo de la fibra. El montaje realizado se muestra en la Fig. 2.

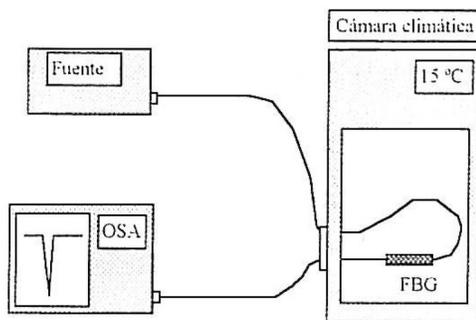


Figura 2. Sistema de caracterización del FBG.

La cámara climática utilizada es la ACS HYGROS-15, el analizador de espectro óptico es el HP 70951A y el FBG utilizado fue realizado en una fibra de SiO<sub>2</sub> monomodo en tercera ventana.

#### 3.2 Caracterización en temperatura.

Para evitar influencias de parámetros no deseados, y que la respuesta del FBG sea sólo debida a la temperatura, se diseñó el soporte que se muestra en la Fig. 3. La influencia de la presión sobre la fibra en el punto donde está grabado el FBG se evita simplemente aislando físicamente esta zona dejando un hueco relleno de aire. La influencia de la deformación (*strain*) se consigue fijando por dos puntos la fibra y dejando que el trozo de fibra que contiene el FBG tenga libertad de movimientos.

Se realizaron barridos de temperatura en pasos de en 5 °C desde -35 a 40 °C. El análisis del espectro de transmisión se hizo en régimen estacionario, dejando transcurrir un tiempo de estabilización después de alcanzar la temperatura fijada. Las medidas tomadas fueron promediadas durante un tiempo relativamente corto para evitar errores de medida.

##### 3.2.1 Caracterización con láser sintonizable.

De acuerdo con el montaje mostrado en la Fig. 2, se utilizó como fuente de luz un láser sintonizable HP8168A y se midió la potencia recibida con el medidor de potencia del analizador de espectros ópticos, todo ello interrelacionado a través de puertas GPIB y controlado desde un ordenador. Se utilizó un rango de temperatura de 0 a 70°C con pasos de 2.5°C. La representación de los resultados obtenidos dio lugar a la Fig. 5, de la que se observa una tendencia lineal de los mismos, tal como teóricamente se predice.

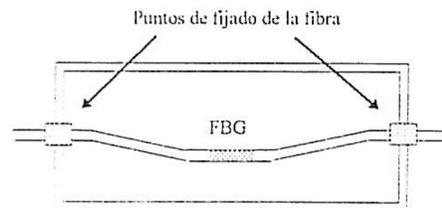


Figura 3. Sección horizontal del soporte diseñado.

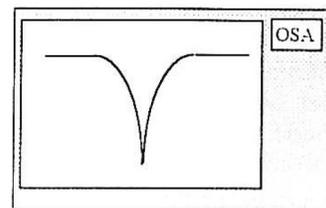


Figura 4. Espectro de transmisión del FBG con fuente de luz láser sintonizable a 1,55 μm.

### 3.2.2 Caracterización con fuente de luz blanca.

Asimismo, se realizó una caracterización del FBG utilizando una fuente de luz blanca (la interna del OSA). La potencia óptica incidente en el OSA es más pequeña que en el caso de una fuente láser pero como el espectro de emisión se puede considerar perfectamente plano la longitud de onda a la que se produce el mínimo en el espectro detectado es la  $\lambda_B$  del FBG. Esto permite determinar directamente la longitud de onda característica  $\lambda_B$  como el mínimo del espectro transmitido. Los resultados se muestran gráficamente en la Fig. 6.

### 3.2.3 Discusión de resultados.

Se efectuó un estudio comparado de los resultados obtenidos con ambos métodos y como se puede observar en la Fig. 7 se obtuvo un buen grado de conformidad entre ambos. La sensibilidad obtenida a partir del trabajo experimental realizado fue de 9,2679 pm/°C. que está a su vez en concordancia con los resultados publicados en la literatura técnica especializada.

## 4. Propuesta de sensor cuasi-distribuido.

Utilizando los resultados experimentales obtenidos, se propone la realización del sistema sensor cuasidistribuido que se muestra en la Fig. 8, de gran utilidad para realizar el monitorizado de temperatura en estructuras.

La fuente de luz blanca se acopla a través de un acoplador a un conmutador óptico de 24 canales con unas pérdidas de inserción de 0.5 dB. Utilizándose uno de los canales como elemento de calibración, la medida de la  $\lambda_B$  se hace interferométricamente. Un ordenador adquiere y presenta los datos, actuando a la vez como controlador del sistema. Dado que la anchura espectral de la fuente lo permite, se han dispuesto 15 puntos de sensado espaciados 2 nm. por cada una

de las 23 ramas de medida, lo que conlleva a un sistema apto de monitorizar 345 puntos.

## 5. Conclusiones.

Se ha caracterizado experimentalmente el comportamiento de redes de difracción en fibra óptica como transductor puntual de temperatura. Los resultados han arrojado una sensibilidad de 9,2679 pm/°C. lo que está en concordancia con lo publicado.

Un sistema sensor de temperatura cuasi-distribuido y en cuasi-tiempo real de 345 puntos ha sido propuesto y analizado, utilizando como transductores los FBG caracterizados.

## Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado dentro del proyecto coordinado TIC95-0631-C04 financiado por la CICYT a la que los autores muestran su agradecimiento.

## Referencias

- [1] W.W. Morey, G.A. Ball & G. Meltz "Photoinduced Bragg Gratings in optical fibers" *Optics&Photonics News* pp.8-14 Febrero 94.
- [2] P. Ferdinand, O. Ferragu, J.L. Lechien, B. Lescop, S. Magne, V. Marty, S. Rougeault et al. "Mine operating accurate STABILITY control with Optical Fiber Sensing and Bragg grating technology : The European BRITE/EURAM STABILOS Project" *Journal of Lightwave Technology* 13, 7 pp. 1303-1313 Julio 95.
- [3] P.M. Nellen, R. Brönniman, U. Sennhauser, C.G. Askins & M.A. Putnam "Strain measurements on concrete beam and carbon fiber cable with distributed optical fiber Bragg sensors" *Optical Engineering* . 35 , 9 pp. 2570-2577 Septiembre 96
- [4] N. Lagakos, J.A. Bucaro & J. Jarzynski "Temperature-induced optical phase shifts in fibers" *Applied Optics* 20, 13 pp. 2305-2308, Julio 97.

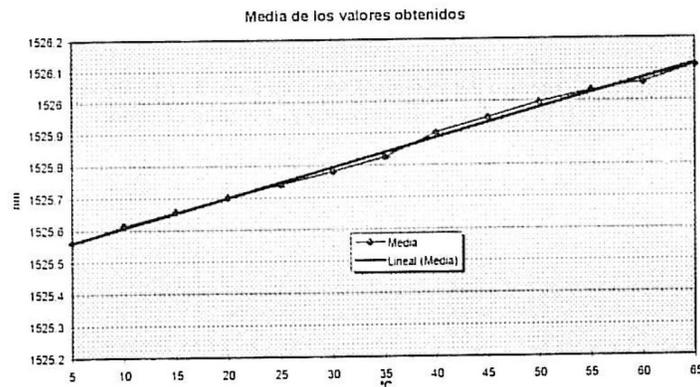


Figura 5. Resultados obtenidos mediante la utilización de una fuente de luz láser.

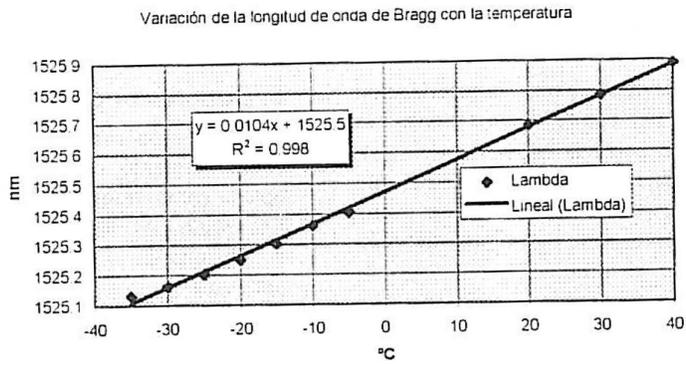


Figura 6. Resultados obtenidos utilizando una fuente de luz blanca y su tendencia lineal.

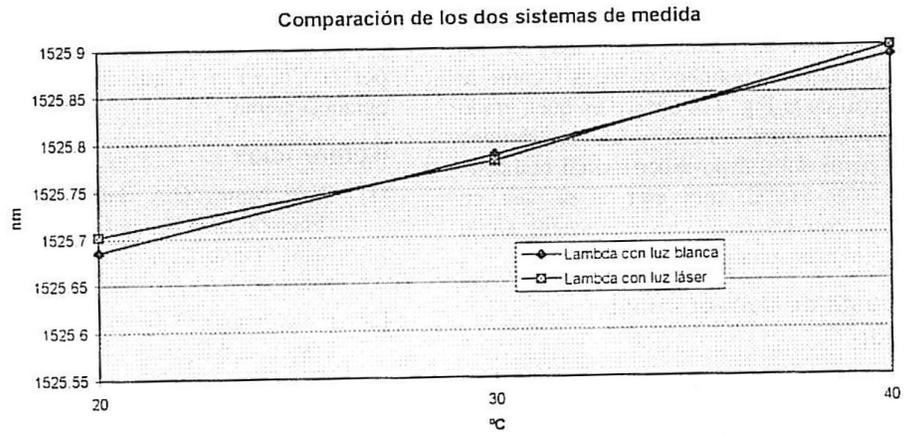


Figura 7. Comparación entre los dos métodos de medida.

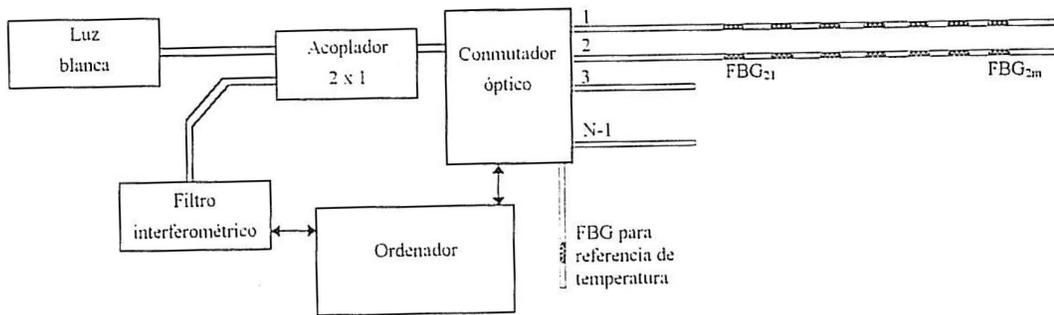


Figura 8. Estructura del sistema de medida cuasidistribuido combinado de multiplexación espacial y de longitud de onda.