Revista Colombiana de Física, Vol. 43, No. 3 de 2011.

Aplicaciones De Sensores Basados En Redes De Bragg En Fibra Óptica En Estructuras Civiles

Applications Of Fiber Bragg Gratings Sensors In Civil Structures

J. D. Causado-Bulevas, N. D. Gómez-Cardona, E. González-Valencia, D. Jessie, P. Torres

Grupo de Fotónica & Opto-electrónica, Escuela de Física, Universidad Nacional de Colombia-sede Medellín, A.A. 13840, Medellín, Colombia

Recibido 30.07.10; Aceptado 29.03.11; Publicado en línea 04.10.11.

Resumen

Los sensores basados en redes de Bragg en fibra óptica (FBG) son altamente sensibles a cambios de temperatura y deformación mecánica; además, presentan características como la inmunidad electromagnética, fácil multiplexación, alta sensibilidad, linealidad, tamaño y peso reducido, las cuales hacen que este tipo de sensores se implementen cada vez más en la medición de parámetros físicos, en distintas áreas como bioquímica, estructuras civiles, petróleo y gas, entre otras. En este trabajo se utiliza una FBG para medir deformaciones mecánicas en una viga de concreto, mostrando, además, su fácil aplicabilidad en estructuras civiles en combinación con un sistema comercial que las interroga.

Palabras clave: Fibra óptica, Red de Bragg en fibra óptica; Sensor de fibra óptica.

Abstract

Optical sensors based on fiber Bragg gratings FBG) are highly sensitive to temperature changes and mechanical deformation. They also have features such as electromagnetic immunity, easy multiplexing, high sensitivity, linearity, reduced size and weight, which make this type of sensors are deployed increasingly on the measurement of physical parameters in different areas such as biochemistry, civil structures, oil and gas, among others. In this paper we use a FBG to measure mechanical deformations in a concrete beam, showing also its easy applicability to civilian structures in combination with a commercial interrogation system.

Keywords: Optical fiber; Fiber Bragg grating; Optical fiber sensor

© 2011 Revista Colombiana de Física. Todos los derechos reservados.

1. Introducción

El rápido crecimiento de la industria de las telecomunicaciones durante la última década ha estimulado el desarrollo y constantes mejoras en la tecnología de las fibras ópticas. Muchos elementos ópticos como las fuentes y detectores ópticos, así como una gran diversidad de dispositivos completamente a fibra óptica como acopladores, multiplexores, amplificadores, filtros sintonizables, se han convertido en elementos críticos en este crecimiento. Esta tendencia ha hecho que los sesores a fibra óptica se vuelvan más competitivos frente a los sensores tradicionales. El ámbito de los sensores a fibra óptica se ha visto beneficiado de este crecimiento de la industria, haciéndolos más asequibles en diversos sectores productivos [1]. Algunas características que han sido decisivas al momento de impulsar la investigación de los sensores a fibra óptica son las ventajas únicas que estos ofrecen, como su inmunidad a interferencia electromagnética, su bajo peso y volumen, su larga vida y la capacidad de multiplexación, entre otras.

En los últimos años ha aumentado la demanda en la instalación de sensores para monitorear el estado de las estructuras civiles, para desarrollar estrategias de mantenimiento efectivas para de este modo aumentar su

* jdcausad@unal.edu.co, causado@gmail.com

vida útil con los niveles de seguridad requeridos. La demanda de estos sensores ha sido impulsada en gran parte por las deficiencias estructurales ocasionadas por el paso del tiempo y la necesidad de aumentar la capacidad de carga de las estructuras para adaptarse a las nuevas necesidades. Al analizar continuamente la respuesta de la estructura a la carga que soporta, y midiendo algunos parámetros como los esfuerzos, las deformaciones, la temperatura y vibraciones, se pueden hacer análisis para poder detectar anomalías estructurales, tales como deterioro debido a cambios en las propiedades de los materiales, propiedades geométricas, condiciones de frontera, entre otras, y prevenir daños importantes en la estructura [2]. Los sensores de fibras ópticas se presentan como una alternativa para medir algunos de estos parámetros, y en este trabajo nos enfocaremos en las redes de Bragg en fibra óptica (FBG).

2. Fundamento de los sensores basados en FBG

Las FBG fueron desarrolladas inicialmente en los años 80 en el ámbito de las telecomunicaciones como filtros para el procesamiento señales ópticas, pero muy pronto se vio el gran potencial que tienen para la medición de deformación y temperatura [3]. Una FBG es una la modulación periódica, o cuasi-periódica, del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica, donde un método para su fabricación es exponer el núcleo a un patrón interferométrico de luz ultravioleta. El esquema de funcionamiento de una FBG se muestra en la Fig. 1. Cuando un haz de luz banda ancha incide sobre la FBG, una banda muy estrecha longitudes de onda es reflejada, mientras que las demás componentes espectrales de la fuente de luz pasan sin presentar de forma marcada atenuación alguna.

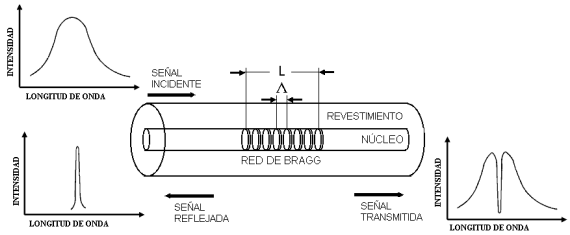


Fig. 1. Esquema del funcionamiento de una red de Bragg en fibra óptica.

La longitud de onda que cumple la condición de Bragg es preponderantemente reflejada y cumple la relación [4]

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda, \tag{1}$$

donde n_{eff} es el índice de refracción efectivo del modo que se propaga en el núcleo de fibra y Λ es el periodo espacial de la red.

La respuesta espectral de una FBG depende de las condiciones ambientales, en particular de las variaciones térmicas y de los esfuerzos en la región donde fue grabada la red. Cuando una FBG se somete a cambios uniformes ya sea de esfuerzos axiales o de temperatura, toda la estructura de la red sufre los mismos cambios, dando como resultado un cambio en la longitud de onda de Bragg, sin que se cambie la forma del espectro reflejado [4, 5, 6]. Es claro, entonces, que el principio básico de operación de los sensores basados en FBG consiste en el monitoreo del desplazamiento espectral de la λ_B, cuya dinámica se puede conocer mediante siguiente expresión:

$$\Delta\lambda_B = 2\left(\Lambda\frac{\partial n}{\partial L} + n\frac{\partial \Lambda}{\partial L}\right)\Delta L + 2\left(\Lambda\frac{\partial n}{\partial T} + n\frac{\partial \Lambda}{\partial T}\right)\Delta T, \tag{2}$$

donde ΔL es la deformación axial inducida y ΔT el cambio térmico al cual fue dometida la estructura de la red. Como se puede observar en esta la ecuación, los dos efectos son simultáneos, es decir, que para medir uno de los parámetros, se deben controlar, o compensar en la lectura, las perturbaciones inducidas por el otro.

La dependencia lineal de la λ_B en los dos términos en (2) muestran de manera clara el interés en esta tecnología, que por estar codificada la información en la respuesta espectral de las FBG, estos sensores son auto-referenciados ya que la longitud de onda es un parámetro absoluto; además, por su banda de reflexión tan extrecha, tienen el atractivo de que se pueden multiplexar fácilmente, grabando varias FBG en distintos puntos de una misma fibra óptica [7].

3. Desarrollo experimental

Como una pequeña demostración de esta tecnología en el área de las estructuras civiles, se fundió una viga de concreto, a la cual se le aplicaron diferentes cargas para observar la respuesta del sensor de FBG y así determinar la deformación inducida en la viga. El montaje desarrollado se esquematiza en la Fig. 2.

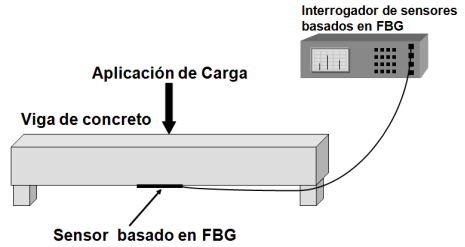


Fig. 2. Montaje experimental desarrollado para medir las deformaciones inducidas en la viga analizada.

Esta situación experimental se simuló con un software basado en el método de elementos finitos, para lo cual se consideró que la viga tiene un módulo de Young de 19.9 GPa, una razón de Poisson de 0.33 y densidad de 2669.2 kg/cm^3 [8]. En la Fig. 3 se comparan los resultados obtenidos, en la que se puede ver cómo las simulaciones reproducen globalmente los resultados experimentales. Los autores consideran que las divergencias en los resultados se deben a que el concreto no es un material totalmente homogéneo, ya que durante el fraguado del mismo quedan algunos espacios en los que no hay material que apantallan el efecto de la carga aplicada.

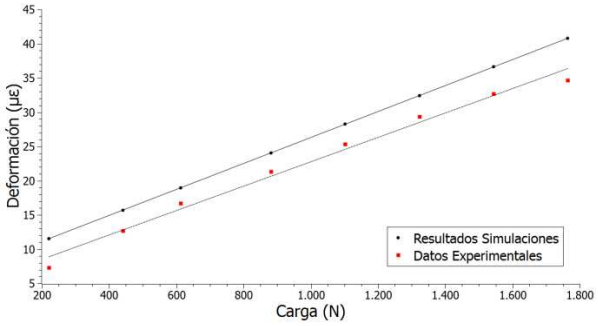
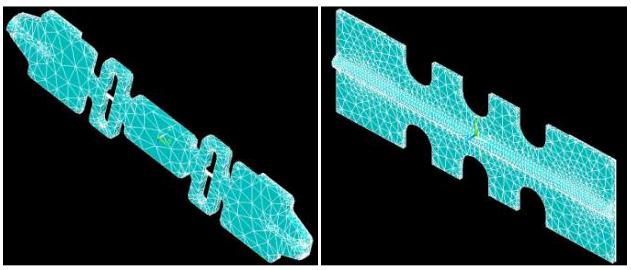


Fig. 3. Resultados experimentales y de simulación de la deformación de la viga estudiada.

Otra de las áreas de interés que se está comenzando a trabajar es en el diseño de transductores para FBG. En este trabajo se introduce el análisis realizado a uno de estos transductores de deformación para estructuras civiles con ayuda del software basado en el método de los elementos finitos, con el cual se puede comparar la respuesta de diferentes diseños ante una misma carga, e incluso la respuesta de toda la unidad sensora a cambios de temperatura. En la Fig. 4(a) se presenta un transductor comercial, mientras que en la Fig. 4(b) se muestra uno de los diseños propios que presentó una mejor respuesta ante las cargas aplicadas y una menor alteración de los cambios térmicos.



(a) (b)

Fig. 4. Modelo de transductores de esfuerzo para FBG que se pueden usar en estructuras civiles. (a) Dispositivo comercial; (b) diseño propio desarrollado por el grupo de investigación.

Entre algunas de las ventajas de los sensores a fibra óptica se encuentra su alta velocidad de respuesta, que en muchos casos es mayor que la de los sensores tradicionales. Esta característica hace que los sensores de deformación también puedan ser usados para medir las vibraciones en una estructura. En la Fig. 4 se observa una señal que representa el cambio de la respuesta espectral de un sensor comercial ante vibraciones provocadas en la viga. La interpretación de estas señales haría parte de las estrategias de mantenimiento de estructuras civiles.

Otro tipo de sensores para medir deformaciones basados en redes de Bragg son los sensores embebidos, los cuales se deben instalar durante el proceso de construcción de la estructura. Embeber los sensores en la estructura tiene la ventaja de que, además de quedar protegidos contra el medio ambiente y golpes, sin conllevan mayores problemas para el mantenimiento del sistema de detección, con ellos se busca medir las deformaciones dentro de la estructura misma. Actualmente, se viene adelantando el análisis de varios de estos sensores, siendo la respuesta espectral de uno de ellos presentada en la Fig. 5, los cuales fueron instalados en un edicifio en construcción. El análisis de esta estructura se deja para posteriores trabajos.

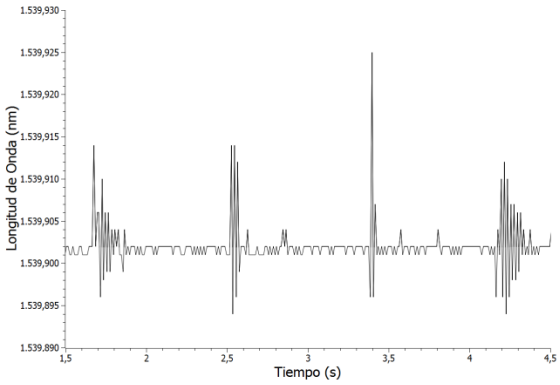


Fig. 4. Vibraciones en una viga de concreto.

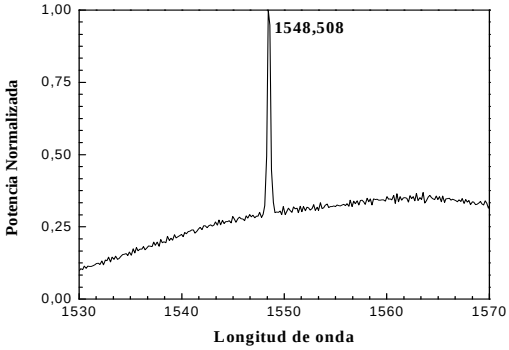


Fig. 5. Espectro de una FBG embedida en una viga de un edicio en construcción, como otro ejemplo de aplicación de esta tecnología en estructuras civiles.

4. Conclusiones

Los sensores basados en FBG son una alternativa para la medición de importantes parámetros en el monitoreo de estructuras civiles como son las deformaciones y vibraciones. Sus ventajas y características, que muchas veces superan a los sensores tradicionales, los hace elementos fundamentales en aplicaciones industriales

El diseño de sensores propios, permiten adaptar estos dispositivos a necesidades específicas, mejorando las características que poseen los sensores comerciales basados en esta tecnología.

5. Agradecimientos

Este trabajo fue parcialmente financiado por Colciencias, código 1118-330-18905.

Referencias

[1] M. D. Todd, J. M. Nichols, S. Trickey, M. Seaver, C. J. Nichols, L. N. Virgin. Bragg grating-based fibre optic sensors in structural health monitoring. En: Philosophical Transactions of The Royal Society A. No. 365 (2007); p. 317-343.

[2] P. Moyo, J.M.W. Brownjohn, R. Suresh, S.C. Tjin. Development of fiber Bragg grating sensors for monitoring civil infrastructure. En: Engineering Structures No. 27 (2005); p. 1828–1834.

[3] Malte Frövel. Sensores de fibra óptica tipo redes de Bragg embebidos en material compuesto para medir deformaciones y temperaturas criogénicas. Tesis (Tesis Doctoral). Universidad Politénica De Madrid (2006). Departamento de Motopropulsión y Termofluidodinámica.

[4] F. Colpo, L. Humbert, J. Botsis. An experimental numerical study of the response of a long fibre Bragg grating sensor near a crack tip. En: Smart Materials and Structures No. 16 (2007); p. 1423–1432.

[5] R. Acuña, (2003) Redes de Bragg: Fabricación, caracterización y aplicaciones. Tesis (Magíster en ciencias – Física). Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín. Facultad de Ciencias.

[6] J. Botsis, L. Humbert, F. Colpo, P. Giaccari. Embedded fiber Bragg grating sensor for internal strain measurements in polymeric materials. En: Optics and Lasers in Engineering No. 43 (2005); p. 491–510.

[7] M. C. L. Areiza, P. Torres, L. C. G. Valente, A. M. B. Braga. Construcción y calibración de un termómetro basado en redes de Bragg en fibras ópticas. En: Información Tenológica (Chile) Vol. 14, No. 2. (2003) p. 135-141.

[8] F. R. Shanley. Mecánica de Materiales. Primera edicion en español. Mexico: Alianza para el progreso. p 428.