

Sensor Láser con Rejillas de Bragg de Fibra Óptica Caracterizado con Celdas Peltier para Aplicarse como un Sensor de Alarma de Temperatura

Rubén A. Vázquez-Sánchez,^a Carlos M. García-Lara,^a Alfredo Romero-Pérez,^b Manuel May-Alarcón^c
Jorge L. Camas-Anzueto^d

^a Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas
Libramiento Norte Poniente S/N, Col. Lajas Maciel, 29000, Chiapas, México.
ravsa100@hotmail.com

^b Universidad Iberoamericana de Puebla
Blvd. del Niño Poblano 2901, U. Territorial Atlixcayotl, 72430, Puebla, México.

^c Universidad Autónoma del Carmen
Av. 56 No. 4, por Av. Concórdia, Col. Aviación, 24180, Campeche, México.

^d Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez
km 1080 Carretera Panamericana, 29000, Chiapas, México.

RESUMEN

Se presenta un arreglo de fibra óptica que puede ser aplicado como un sensor de alarma de temperatura. El sistema óptico es un láser de fibra, el cual utiliza un amplificador óptico empotrado entre dos rejillas de Bragg y un láser semiconductor de bombeo. El sistema electrónico está compuesto por un sistema de adquisición de datos utilizando un PIC (circuito integrado programable) y una fuente de voltaje que alimenta a una celda Peltier. Las dos rejillas que se utilizan tienen diferente longitud de onda de reflexión y bajo condiciones normales no existe traslape de sus respectivos espectros, por lo tanto no existe emisión láser hasta cuando la temperatura de la rejilla con menor longitud de onda de reflexión, se cambia, lo cual hace que la longitud de onda de reflexión se modifique. Así, a medida que la longitud de onda de reflexión se incrementa, se empieza a generar una emisión láser (laseo). Para cambiarle la temperatura a la rejilla de Bragg, se utilizó la celda Peltier, la cual genera un cambio de temperatura gradual hacia mayores temperaturas o a menores.

1. INTRODUCCIÓN

Las fibras ópticas han aportado fuertemente un mejoramiento al desarrollo de la industria de las telecomunicaciones, así como en el área de sensores desde hace ya más de tres décadas [1-4]. Debido a que se necesita seguir obteniendo mayor aprovechamiento de las características especiales que tiene la fibra óptica, se han construido dispositivos de fibras ópticas tales como acopladores WDM's (*Wavelength Division Multiplexing*), filtros, amplificadores, que han contribuido al desarrollo de sistemas de fibras ópticas debido a que son intrínsecamente de baja pérdida y pueden ser interconectados a otros sistemas de fibra que transportan señales complejas. Con estos sistemas, llamados "todo de fibra", se ha disminuido una de las limitantes que tiene cualquier sistema de comunicación a larga distancia, la cual es la pérdida por atenuación de las señales. Gracias a la ciencia de los materiales, se han podido fabricar fibras especiales que amplifican señales viajando dentro de la fibra sin la necesidad de una conversión óptica-eléctrica y

eléctrica-óptica. Estas fibras especiales son llamadas fibras dopadas con tierras raras o simplemente amplificadores ópticos. Uno de los dispositivos especiales de fibra óptica son las denominadas "rejillas de Bragg de fibra óptica" las cuales pueden ser utilizadas para reflejar, filtrar ó dispersar luz, evitando la necesidad de utilizar espejos dieléctricos de volumen y rejillas de difracción, disminuyendo con esto las no-deseadas pérdidas de energía. Estos dispositivos son ideales para un amplio rango de aplicaciones siendo un elemento clave en el campo de las telecomunicaciones ópticas y en sensores de fibra óptica, además de tener aplicaciones como espejos en láseres de fibra óptica [5]. En aplicaciones en láseres de fibra, un medio amplificador (fibra dopada con tierras raras) es colocado entre dos rejillas las cuales cumplen con el principal papel de formar la cavidad resonante [6]. En sensores de fibra óptica basados en rejillas de Bragg, las rejillas funcionan como elementos sensores de temperatura y tensión. El principio básico comúnmente utilizado en estos sistemas es el de monitorear los cambios en la longitud de

onda de Bragg reflejada por la rejilla con los cambios en las mediciones (tensión, temperatura, presión) [7-10]. Una rejilla de Bragg puede definirse como una modulación periódica (o modulación de periodo no-uniforme) del índice de refracción del núcleo de una fibra óptica, por lo general monomodo, lo cual también puede verse como un arreglo periódico de placas o películas de dos índices de refracción diferentes, denominados índice de refracción alto n_H (~ 1,456 3) e índice de refracción bajo n_L (~ 1.456) [11].

En este trabajo se aprovecha una de las características que tienen las rejillas de Bragg cuando son sometidas a cambios de temperatura en su estructura física. Esta característica es que la longitud de onda central de la rejilla se cambia de acuerdo a la cantidad de temperatura aplicada. Un cambio de 13,7 pm/°C es esperado para rejillas centradas alrededor de una longitud de onda de 1 550 nm [8], y para rejillas cercanas a 1530 nm, por cada 100 °C de aumento de temperatura, la longitud de onda central de la rejilla se desplazará aproximadamente 1 nm [12].

2. METODOLOGÍA

El primer paso fue el de construir el sistema óptico tratando de que fuera lo mas sencillo posible para evitar, mas que nada, el aumento del costo así como la complejidad.

El sistema propuesto es el mostrado en la Fig. 1. Un tramo de 10 m de fibra óptica dopada con erbio se empalma por fusión a una rejilla de Bragg R1 que tiene una longitud de onda central de 1535,04 nm. Esto último significa que la rejilla R1 solo reflejará luz que tenga la misma longitud de onda que la rejilla.

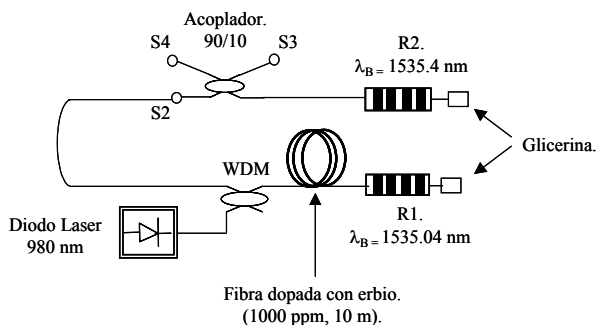


Fig. 1. Sistema óptico propuesto.

Uno de los puertos de un acoplador por división de longitud de onda (WDM) se empalma a la punta libre de la fibra dopada. El acoplador WDM se utiliza para introducir al sistema la luz de un diodo láser de semiconductor que sirve para bombear a la fibra dopada. Como puede observarse, un puerto del WDM queda libre y los otros tres son utilizados. El puerto que es paralelo al puerto en donde se introduce la luz de bombeo, se empalma con uno de los puertos (S2) de un acoplador divisor 90/10 el cual sirve para monitorear las señales que genera el láser. Otro de los puertos del divisor 90/10 se empalma con la otra rejilla de Bragg R2 que tiene una longitud de onda central de 1 535,4 nm, significando que la luz que se propague en la fibra y que coincida con esta longitud de onda, será reflejada por la rejilla R2. La relación 90/10 del acoplador divisor significa que si en el punto S2 se tiene un 100 % de intensidad de señal óptica, en la terminal S3 se tendrá un 10 % y el otro 90 % seguirá la ruta hacia la rejilla de Bragg R2. De igual forma, de la luz que es reflejada por la rejilla R2 sólo el 10 % del total de intensidad será detectada en S4, el 90 % restante seguirá hacia el WDM. Las puntas libres de las dos rejillas son inmersas en glicerina, el cual es un liquido que acopla el índice de refracción de la fibra con el del aire, evitando con esto que exista luz que se refleje hacia la rejilla y degrade el funcionamiento del sistema.

En la terminal S3 fue colocado un fotodetector 818-IG de InGaAs con un ancho de banda de sensibilidad de 800 nm a 1 650 nm. Esto significa que todas las señales ópticas que se encuentren dentro de este rango pueden detectarse. La señal generada por el láser es detectada y convertida a variaciones de corriente por el fotodetector (transductor). Un pre-amplificador convierte estas variaciones de corriente a variaciones de voltaje dándole una amplificación apropiada para ser enviadas al microcontrolador (PIC).

En la Fig. 2 se observa todo el sistema construido el cual muestra al sistema óptico y en bloques al sistema electrónico.

Se muestra un sistema electrónico que adquiere datos de dos sensores de semiconductor (LM35). Estos sensores miden la temperatura a la que se encuentran las dos rejillas. Se puede ver que la rejilla R2 siempre esta a temperatura constante (ambiente) y la rejilla 1 se encuentra a una temperatura que va de acuerdo a la temperatura de la celda Peltier. También, el sistema

electrónico adquiere datos de la señal de salida del láser (terminal S3) los procesa y los envía a una computadora para poder ser analizados. La celda Peltier es un dispositivo termoeléctrico que convierte un flujo de corriente en calor. Por dimensiones tiene: 4 cm de longitud, 4 cm de ancho y 1 cm de espesor. La celda esta compuesta de material semiconductor y tiene dos caras. Cuando una de las caras esta calentándose, la otra se esta enfriando, todo esto debido a que existe una transferencia de temperatura de una cara a otra. La celda requiere una fuente de tensión de 15 V y una corriente máxima de 4 A.

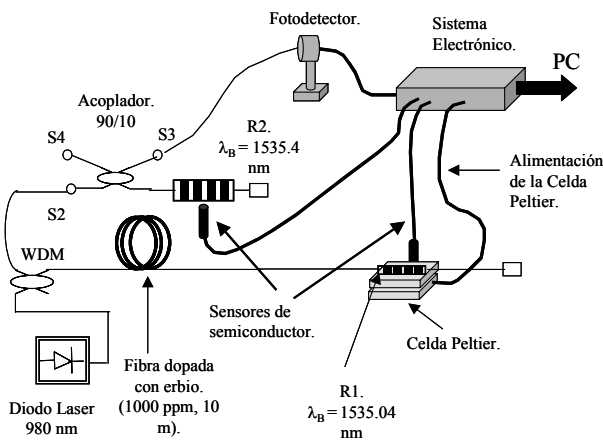


Fig. 2. sistema óptico y electrónico.

Para activar a las celdas Peltier, fue necesario construir una fuente de voltaje. Esta fuente consiste, además del sistema rectificador, de dos relevadores manejados por una señal del microcontrolador para con ello lograr que la polaridad del voltaje aplicado a la celda Peltier cambie y que con ello la cara que se estaba calentando ahora se enfríe. Esto es importante, ya que para cada prueba que se realiza, se necesita que la celda Peltier regrese rápidamente a una temperatura baja y con ello se tengan varios resultados con las mismas condiciones.

La comunicación entre el microcontrolador y la PC es una comunicación serial de alta velocidad a una tasa de transferencia de 9 600 bits/s.

3. FUNCIONAMIENTO

Al momento de empezar a bombear a la fibra dopada, se genera una inversión de población y se empieza a generar una señal óptica espontánea aleatoria con un ancho de banda que

va de 1 520 nm a 1 560 nm. Esta señal espontánea es generada por la fibra dopada y es transmitida en ambas direcciones hacia las dos rejillas. Debido a que las dos rejillas tienen diferente longitud de onda de reflexión sus espectros reflejados nunca se traslapan y por lo tanto bajo esas condiciones no se genera una emisión láser. Para que se genere una emisión láser es necesario que los dos espectros coincidan y una forma de lograrlo es cambiándole la temperatura a la rejilla que tiene menor longitud de onda de reflexión. Así, si se empieza a calentar gradualmente a la rejilla 1 (R1), en un momento la longitud de onda de reflexión se desplazará hacia valores mayores y a una temperatura específica se tendrá una emisión láser (Fig. 3), observándose por el aumento de señal en la terminal S3. Los sensores de semiconductor nos sirven para medir la temperatura a la que están las dos rejillas. Los datos que estos proporcionan son procesados por el PIC y además, con el PIC se puede controlar la temperatura a la que se somete la celda Peltier.

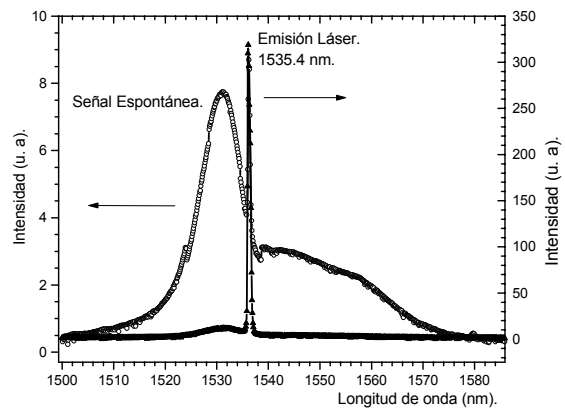


Fig. 3. Señal espontánea y emisión láser.

Para tener una idea de la forma en que se desplaza el espectro de las rejillas de acuerdo al cambio de temperatura, se realizó una caracterización que consiste en monitorear el espectro de las rejillas con la ayuda de un monocromador. Se utilizó otra rejilla de Bragg de referencia con una longitud de onda de 1 536,04 nm. En la Fig. 4 se observan estos resultados. Se tienen los tres picos de reflexión de las rejillas. Para este caso, la rejilla que se cambio su temperatura fue la R2, por lo que se observa un movimiento de su pico de reflexión hacia la derecha (longitudes de onda mayores) hasta alcanzar al pico de reflexión de la rejilla de referencia que es cuando ocurre un laseo. De esta

forma también se caracterizó a la rejilla R1, logrando obtener la cantidad de nanómetros que se desplaza el espectro de reflexión de estas dos rejillas en función del cambio gradual de la temperatura, dicho valor fue de aproximadamente 1 nm para cada 100 °C ± 5°C de temperatura. Este error es debido a que no es posible mantener casi constante la temperatura de la rejilla mientras se monitorea con el monocromador.

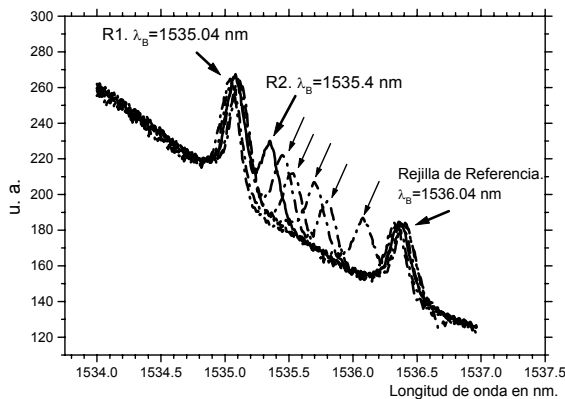


Fig. 4. Desplazamiento del espectro de la rejilla R2, al aumentar la temperatura.

Para aplicar este sensor de temperatura en sistemas donde se necesite mayor resolución se requiere contar con un sistema interrogador de la longitud de onda, esto es, traducir la lectura a niveles de voltaje que puedan ser leídos fácilmente con sistemas electrónicos sencillos, esto debido a que un sistema de monitoreo en tiempo real de la longitud de onda es costoso, como es el caso de un analizador de espectros ópticos (OSA).

4. RESULTADOS

Basándonos en los resultados anteriores, se procedió a la caracterización del arreglo óptico propuesto como un sensor de alarma de temperaturas altas. Los resultados que se obtuvieron son los de la Fig. 4. Se puede observar que la señal en un momento dado adquiere una intensidad mayor debido a que es cuando se genera una emisión láser. La temperatura de la rejilla 2 se mantuvo casi constante a un valor de aproximadamente 25 °C mientras que la temperatura de la rejilla 1 fue

cambiando gradualmente. Cuando se tiene una temperatura cercana a los 58.5 °C se observa que la señal crece repentinamente significando que el espectro de la rejilla 1 alcanzó al espectro de la rejilla 2. Así, a esa temperatura una emisión láser es creada y midiéndola se encontró un valor de aproximadamente 600 μ W.

Una observación que se hace es que la temperatura que se presenta es una temperatura completa, es decir, incluye a la temperatura del medio ambiente en el que se desarrollaron los experimentos que es de aproximadamente 25 °C.

Por lo tanto, si se realiza lo siguiente: Temperatura de láser – Temperatura ambiente = Temperatura aplicada, tenemos:

$$58.5\text{ °C} - 25\text{ °C} = 33.5\text{ °C}, \quad (1)$$

que es la temperatura que se le aumentó a la rejilla 1.

Si en la caracterización anterior se encontró que la longitud de onda de las rejillas utilizadas se desplace 1 nm por 100 °C de aumento de temperatura, para lograr que los dos espectros se traslapen se necesitan aproximadamente:

$$1535.4\text{ nm} - 1535.04 = 0.36\text{ nm}, \quad (2)$$

de desplazamiento del espectro de la rejilla R1, o sea que si la rejilla se calentó a una temperatura de 33,5 °C; esto significa que el espectro se desplazó aproximadamente:

$$Desp.Espec. = \frac{(33.5\text{ °C})(1\text{ nm})}{100\text{ nm}} = 0.335\text{ nm} \quad (3)$$

Lo que coincide aceptablemente con la separación entre los dos espectros de las rejillas. Una explicación de los errores en las mediciones puede ser debido a que los sensores de semiconductor tienen una respuesta lenta comparada con la respuesta del cambio de la longitud de onda de Bragg de las rejillas. Además, la exactitud de estos sensores es de 0,5 °C a una temperatura de + 25 °C. Esto significa que a temperaturas altas esta exactitud disminuye.

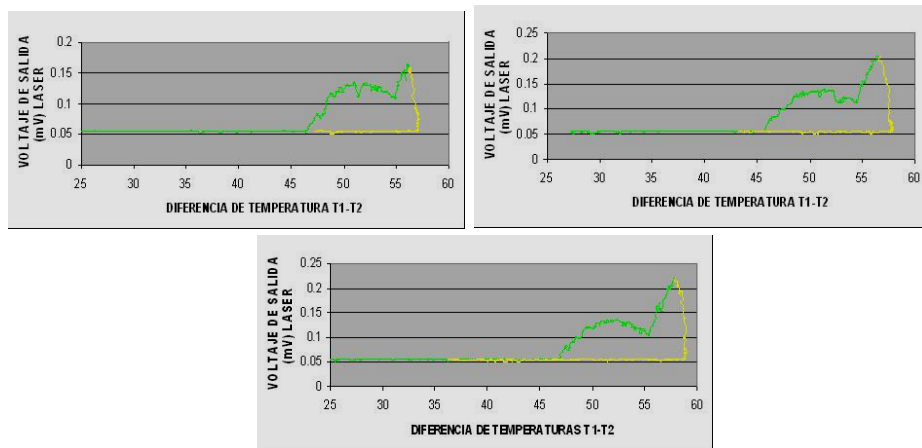


Fig. 5. Señales de salida que corresponden a la emisión láser del sistema.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se presentó un sistema que puede detectar cambios de temperatura a través de un dispositivo de fibra óptica llamado Rejilla de Bragg. El sistema óptico propuesto es sencillo y debido al tamaño de las rejillas la temperatura que pueden monitorear puede ser en lugares pequeños en donde cualquier otro sensor de volumen (semiconductor, de mercurio, etc.) no podría trabajar, además, en los experimentos se incluyeron aproximadamente 4 km de fibra pasiva entre la fibra dopada y la rejilla de Bragg 1, lo cual hace que el sensor sea remoto, es decir, se pueda monitorear la temperatura en lugares muy lejos del sistema de adquisición de datos. Debido a que el sistema es todo de fibra puede ser utilizado en lugares inflamables en donde cualquier sistema sensor que maneje electricidad estaría descartado. Como una aplicación se propone al sistema como un sensor de alarma en donde la temperatura de algún proceso pueda ser monitoreada y fijada para que no sobrepase una temperatura específica. La temperatura de la rejilla 2 puede aumentarse y fijarse en un valor para que al calentar a la rejilla 1, esta tenga que alcanzar un valor a un más grande. También puede decirse que el sistema electrónico es sencillo y de fácil construcción debido a que lo único que se necesita es un PIC y la programación, evitando con ello la utilización de tarjetas de adquisición de datos voluminosas.

REFERENCIAS

- [1] M. Cecilia Yappert. "A tutorial on fiber –optic chemical sensors. The Chemical Educator. Vol. 1, No. 6, 1996
- [2] Byoung-ho Lee. "Review of the present status of optical fiber sensors". Optical Fiber Technology. 9 (2003), pp. 57-59.
- [3] J. Tapia M, A. García W, M. L. Galindo C, A. V. Khomenko, M. A. García Z. "Sensor diferencial de fibra óptica". Revista Mexicana de Física. 50 (2), pp. 208-212, Abril 2004.
- [4] A. Treviño S, M. G. Shlyagin, F. J. Mendieta, V. V. Spirin, L. L. Niñi de Rivera. "Variación del espectro de transmitancia de una fibra óptica con recubrimiento de polímero por influencia de hidrocarburos y cambios de temperatura". Revista Mexicana de Física. 51 (6), pp. 600-604, Diciembre 2005.
- [5] Agrawal, G. P. *Nonlinear Fiber Optics*. Cap 10, Academic Press, London, 1995.
- [6] Jean-Luc Archambault and Stephen G. Grubb, "Fiber Gratings in Lasers and Amplifiers", Journal of Lightwave Technology. **15** (8), (1997), 1378.
- [7] Alan D. Kersey, M. A. Davis, H. J. Patrick, et al., "Fiber Grating Sensors", Journal of Lightwave Technology, **15** (8), (1997), 1442.
- [7] A. Othonos, K. Kalli. "Fiber Bragg gratings; fundamentals and applications in telecommunications and sensing". Artech House, Inc. 1999.
- [8] M. May Alarcón, et al, "Sensor láser de fibra óptica con una cavidad de 8.6 km formada por dos rejillas de Bragg usadas como espejos". Revista Mexicana de Física. 48 (5), pp. 434-437, Octubre 2002.

- [9] R. A. Vázquez S. Et al. "Láser de fibra óptica compuesto por dos cavidades acopladas: aplicación como sensor de fibra óptica". *Revista Mexicana de Física*. 54 (4), pp. 374-368, Agosto 2004.
- [10] H. H. Cerecedo Núñez y M. D. Iturbe Castillo. "Rejillas de Bragg en Núcleo de fibra

Óptica de Vidrio", *Revista Mexicana de Física*. 44 (2), (1998), 198.

- [11] R. A. Vázquez-Sánchez, "Sensor láser con rejillas de Bragg interrogado por la medición de la frecuencia de batido intermodal". Tesis de Doctorado. Cap. II. Pág. 20. INAOE 2004.