

## Fuente sintonizable de fibra óptica para aplicaciones en Banda-C

PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina<sup>†\*</sup>, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, SANDOVAL-ROMERO, Gabriel Eduardo<sup>†</sup> y MEJÍA-ISLAS, José Adolfo

*Universidad Autónoma Metropolitana, Departamento de Electrónica*  
*Universidad Nacional Autónoma de México, CCADET*

Recibido 13 de Abril, 2017; Aceptado 15 de Junio, 2017

### Resumen

En la actualidad los servicios de comunicaciones demandan altas velocidades de transmisión y altos volúmenes de información, por lo que se requieren dispositivos eficientes y de bajo costo que operen conforme a los estándares de telecomunicaciones. En este trabajo se realizó el diseño e implementación de una fuente sintonizable para aplicaciones en comunicaciones ópticas. El sistema consta de un láser de bombeo a 980nm, 40cm de fibra co-dopada con Erblio/Iterbio que genera una señal superluminiscente en la tercera ventana de comunicaciones ópticas, un acoplador óptico, una rejilla de Bragg centrada a de 1556.56nm; la cual es sometida a una tensión simétrica mediante un arreglo de poleas colocadas a cada extremo de la rejilla. Cada polea se controla con motores a pasos para obtener un estiramiento de 0.8mm de fibra. Los motores son controlados por un microcontrolador donde el usuario selecciona la longitud de onda de emisión correspondiente a las rejillas ITU-WDM dentro de la banda-C con espaciado de 100GHz, esto, mediante una interfaz que consta de un teclado y una pantalla LCD. La sintonización del sistema logra un rango dinámico de 4 longitudes de onda. La metodología de diseño y caracterización del sistema se muestran en el presente trabajo.

**Fuente sintonizable, fibra óptica, Banda-C**

### Abstract

Now a days communications services demand high transmission speeds and high volumes of information, furthermore, the development of high-efficiency, low-cost devices that operate in accordance with telecommunication standards has become essential for both service operators and researchers. This paper shows the work developed for the design and implementation of a tunable source for applications in optical communications. The system consists of a pumping laser centered at 980 nm, a 40 cm fiber section co-doped with Erbium/Ytterbium that generates a superluminescent signal in the third optical communications window, an optical coupler, and a Bragg grating centered at a 1556.56 nm wavelength. The latter is subjected to a symmetrical tension by an arrangement of pulleys placed at each end of the grating. Each pulley is controlled with stepper motors to achieve a 0.8 mm fiber stretch. The motors are controlled by a microcontroller where the system user selects the source emission wavelength corresponding to the ITU-WDM gratings within the optical communications C-band, 100 GHz channel spacing, using an interface consisting of a keyboard and a display LCD. System tuning achieves a dynamic range of 4 different wavelengths. The design methodology and characterization of the system prototype are shown in this work.

**Tunable Source, optical fiber, c-band**

**Citación:** PÉREZ-SÁNCHEZ, Grethell Georgina, ANDRADE-GONZÁLEZ, Edgar Alejandro, SANDOVAL-ROMERO, Gabriel Eduardo y MEJÍA-ISLAS, José Adolfo. Fuente sintonizable de fibra óptica para aplicaciones en Banda-C. Revista de Ingeniería Innovativa 2017. 1-2:17-23

\*Correspondencia al Autor (Correo Electrónico: ggps@correo.azc.uam.mx)

† Investigador contribuyendo como primer autor.

## Introducción

Las fuentes ópticas sintonizables y láseres sintonizables son ampliamente utilizados para la calibración de instrumentos ópticos, espectroscopía, sensores ópticos, sistemas de comunicaciones por fibras ópticas, entre otras.

Las señales utilizadas actualmente en comunicaciones ópticas, se encuentran centradas en las regiones espectrales de 1310 nm y 1550 nm, con un ancho de banda de 30 nm a 40 nm y una separación entre longitudes de onda de 100 GHz (0.8nm), 50 GHz, 25 GHz y 12.5 GHz.

El funcionamiento de las fuentes ópticas sintonizables existentes se basa en láseres de estado sólido sintonizados mediante efectos opto-acústicos, mecánicos o electro-ópticos, se han desarrollado fuentes sintonizables que constan de un amplificador de fibra óptica dopada con erbio (EDFA) y un chip CMOS integrado controlado térmicamente para la sintonización de canal. Debido a que estas fuentes emplean procesos complejos no lineales para el control de variables, el costo de éstas es elevado. No obstante, los requerimientos actuales plantean la necesidad de buscar alternativas para la sintonización de la señal de control, de fácil implementación y bajo costo, por lo que, una opción viable es el desarrollar fuentes de fibra óptica con rejillas de Bragg variables.

Las rejillas de Bragg son elementos ópticos grabados en el núcleo de una fibra óptica que tienen la capacidad de realizar funciones como: reflexión, dispersión y filtrado de señales de manera eficiente y con bajo nivel de atenuación (Figura 1). Estas pueden desempeñarse de manera óptima dentro del bloque transmisor o receptor en sistemas de comunicaciones ópticas.

La condición de Bragg es aquella donde se genera una señal en reflexión a una longitud de onda específica, dada por:

$$\lambda_B = 2n_{eff}\Lambda \quad (1)$$

Dónde

$\beta$ : Es la longitud de onda central de la luz reflejada por la rejilla de Bragg

$n_{eff}$ : Es el índice de refracción efectivo del núcleo de la fibra óptica

$\Lambda$ : Es el periodo de la rejilla

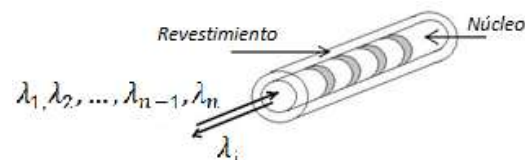


Figura 8 Rejilla de Bragg

Sin embargo la estabilidad espectral de la señal se rige por el principio de funcionamiento de cualquier dispositivo basado en fibras fotosensitivas, relacionado directamente con los cambios en la longitud de onda de Bragg como respuesta a una perturbación inducida externa.

Como se puede ver en la Ecuación (1), la  $\lambda_B$  es directamente proporcional al periodo de la rejilla y al valor del índice de refracción efectivo, por lo tanto, cualquier cambio en alguno de estos parámetros causará una alteración directa en la longitud de onda de Bragg. Téngase en cuenta que los cambios en las dimensiones a lo largo del eje longitudinal de la rejilla debido a la elongación, ocasionan los mayores cambios en la respuesta espectral.

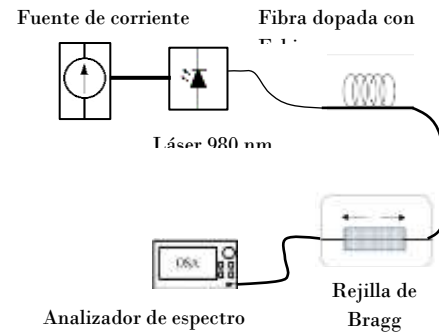
Por otro lado, la sensibilidad que presentan las rejillas a las variaciones de temperatura es relativamente baja,  $<0.02 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ , pero si se tiene un rango de temperatura de  $100^\circ\text{C}$ , el canal de operación estará oscilando en un factor de 2 nm, por lo que, dependiendo de los requerimientos de la aplicación, se vuelve necesario desarrollar esquemas para contrarrestar estas variaciones debidas a la temperatura.

La electrónica y la informática, se han vuelto herramientas esenciales en sistemas de comunicaciones ópticas, biofísica y fotónica. En el desarrollo de los proyectos tecnológicos se requiere de hardware personalizado, ya que las herramientas comerciales a veces son inadecuadas o demasiado costosas para un desarrollo experimental muy específico. Por lo que, la perspectiva "hazlo tú mismo" se ha convirtiendo en parte fundamental para estas ciencias interdisciplinarias en donde plataformas de código abierto son cada vez más útiles en las áreas de investigación de óptica y fotónica.

En este trabajo se propone una fuente óptica sintonizable con espaciamiento de 0.8nm basada en el control de elongación de una rejilla de Bragg con Arduino UNO, motores a paso y un sistema de poleas.

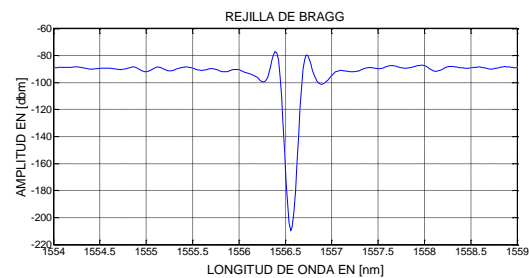
### Caracterización Óptica de la Rejilla de Bragg

La rejilla utilizada para la fuente óptica se caracterizó espectralmente con un analizador de espectros óptico véase Figura 2.



**Figura 2** Diagrama del arreglo experimental para la caracterización de la rejilla de Bragg

La longitud de onda central del filtro es 1556.56 nm, con un ancho de línea de 0.3 nm como se muestra en la Gráfica 1.



**Gráfico 1** Espectro óptico de la rejilla de Bragg

### Diseño del control de elongación

El diagrama a bloques del sistema de control de elongación diseñado para la fuente sintonizable se muestra en la Figura 3, el cual consta de:

- Rejilla de Bragg: Centrada en la longitud de onda de 1556.56 nm.
- Sistema de control: Captura los datos proporcionados por el usuario para calcular el número de pasos y activar los motores, para obtener la longitud de onda seleccionada.
- El teclado y la pantalla LCD son la interfaz entre el usuario y el sistema de control de elongación.

- Motores a paso: Producen la tensión necesaria para elongar la rejilla de Bragg y modificar el valor de la longitud de onda de Bragg.
- Sistema de poleas: diseñado para incrementar la resolución de sintonización de la longitud de onda.
- Fuente de tensión: alimenta a los circuitos impresos de control.
- Fuentes de corriente: Suministra la corriente necesaria a los motores.

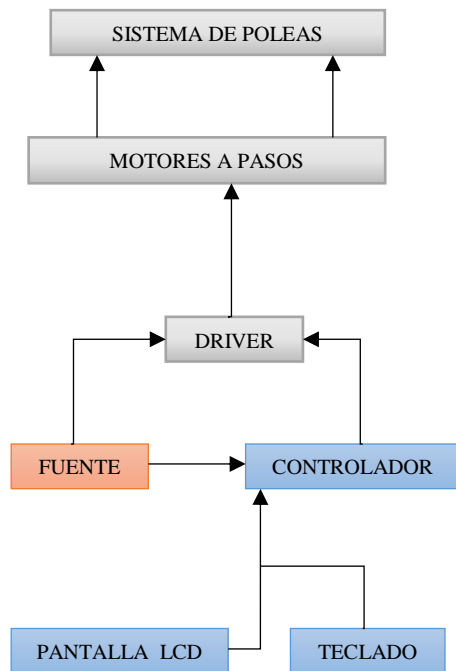


Figura 3 Diagrama físico del control de elongación

El sistema de poleas fue diseñado para obtener desplazamiento de 0.8 mm ( $\Delta s$ ) en la Rejilla de Bragg, el cual corresponde a 0.08 nm de separación entre longitudes de onda, para cada paso del motor ver Figura 4.

Considerando 200 pasos para cada motor con 1.8 grados, obtenemos la siguiente relación.

$$\Delta s = \theta * R \tag{2}$$

Dónde

$\Delta s$ : Es el desplazamiento de fibra

$\theta$ : Los grados dados para cada paso en el motor

R: Es el radio de la polea

Despejando R de la ecuación (2) y reemplazando los valores, obtenemos:

$$R = \Delta s / \theta$$

$$R = (0.8\text{mm}) / 1.8(\pi/360)\theta \tag{3}$$

$$R = 50 \text{ mm}$$



Figura 4 Sistema de Poleas

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo del programa utilizado para el control de elongación, para alcanzar la longitud de onda de emisión deseada.

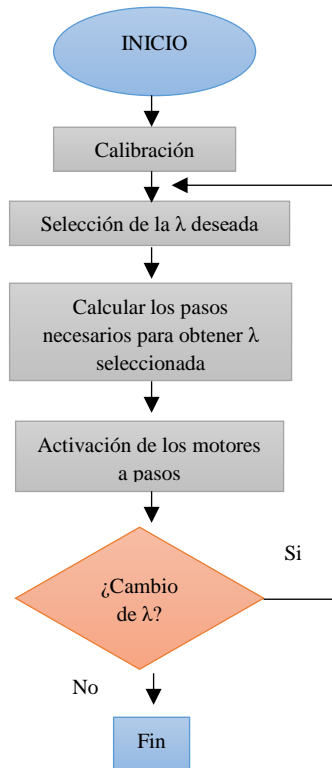


Figura 5 Diagrama a flujo del control de elongación

### Caracterización Óptica del Control de Elongación

El control de elongación diseñado para la fuente óptica se caracterizó espectralmente con un analizador de espectros óptico. Logrando sintonizar cuatro longitudes WDM-ITU Gráfica 2.

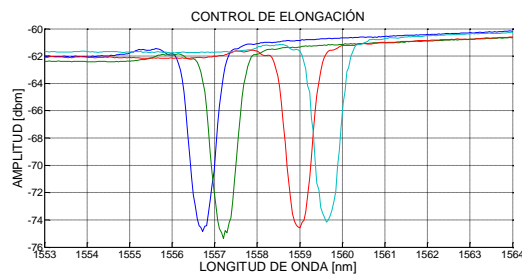


Gráfico 2 Caracterización espectral del control de elongación

La Figura 6 muestra el prototipo de la fuente óptica sintonizable con el control de elongación diseñado.



Figura 6 Control de elongación para una fuente óptica sintonizable

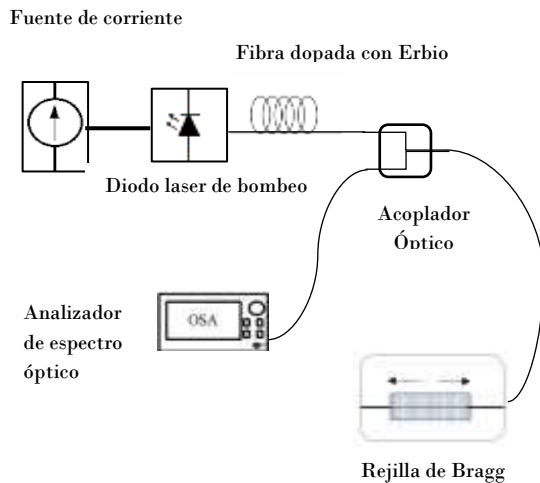
### Implementación de la Fuente Óptica Sintonizable

Utilizando un acoplador óptico conectado a la entrada de la rejilla de Bragg, como se observa en la Figura 7, se logra obtener las componentes espectrales reflejadas en núcleo de la misma, sometida al proceso de elongación para 3 distintas deformaciones generadas por los motores a pasos (paso1, paso2 y paso3). Así, la fuente óptica logra generar 4 longitudes ( $\lambda_p$ ) ver Gráfica 3; una correspondiente al valor de fabricación 1556.6 nm, más 3 que se originan por deformación.

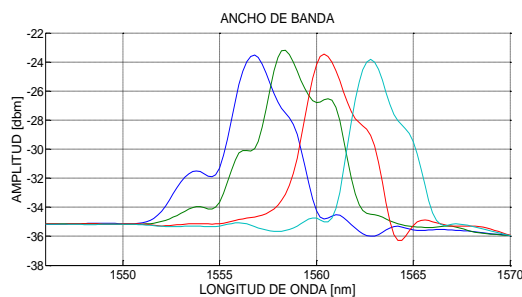
La tabla 1 muestra los valores de las longitudes sintonizadas la cuales coinciden con las longitudes homologadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones sector de Telecomunicaciones (ITU-T).

Longitudes homologadas ITU-T	Longitudes sintonizadas mediante el control de elongación
1556.56	Paso 0 = 1556.56
1557.36	Paso 1 = 1557.36
1558.98	Paso 2 = 1558.98
1559.79	Paso 3 = 1559.79

Tabla 1 Longitudes sintonizadas y homologadas por la ITU-T



**Figura 7** Diagrama de experimentación para caracterizar la fuente sintonizable



**Gráfico 3** Espectro óptico de las componentes reflejadas

## Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco, al PRODEP y CONACyT por el apoyo y las becas otorgadas para la realización de este trabajo.

## Conclusiones

En este trabajo se presenta el desarrollo, implementación y caracterización de una fuente óptica sintonizable con estructura optoelectrónica, orientada a la tercera ventana de comunicaciones ópticas. La cual tiene un comportamiento estable para cuatro longitudes de onda.

Con el análisis de resultados se determina que el comportamiento del sistema presenta espaciado entre canales de 0.08 nm que corresponden a las rejillas WDM ITU-T con cuatro canales para sintonizar. Téngase en cuenta que el rango de sintonización está limitado por la máxima tensión que generan los motores a pasos seleccionados para este trabajo. Otro punto no menos importante y que respalda este trabajo, es la estabilidad que presenta en cada una de las tensiones aplicadas.

El prototipo desarrollado muestra la ventaja de ser desarrollado a un bajo costo, con una fácil implementación y repetitividad en los valores arrojados. Cabe mencionar que se puede mejorar la resolución y el rango dinámico sistema actual obteniendo mayor número de longitudes de onda, si se modifica el radio del sistema de poleas y buscando mayor fuerza de torsión cambiando los motores a pasos.

## Referencias

Ambriz, F., Avilés, J., Flores, J. & Rodríguez, M. (2016). Plataforma de Experimentación para Instrumentación y Control. *Revista de Investigaciones Sociales, ECORFAN- Republic of Nicaragua*, Vol. 2, No. 3, 66-70. ECORFAN. ISSN: 2414-4835

Barnes, W., Poole, S., Townsend, J., Reekie, L., Taylor, D. & Payne, D. (1989). Er<sup>3+</sup>-Yb<sup>3+</sup> and Er<sup>3+</sup> doped fiber lasers. *J. Lightwave Technology*, 7(10), 1461-1465.

Bertaina, A., Sillard, P., de Montmorillon, L. & Nouchi, P. (2001). Line fibers for new transmission windows. 14th Annual Meeting of the IEEE Lasers and Electro-Optics Society. USA.

Cano, M., Armenta, M., Cabal, E. & Juárez, H. (2016). Diseño y simulación de un sistema de control Smart Home. *Revista de Aplicación Científica y Técnica, ECORFAN- Spain, Vol. 2, No. 4, 13-19. ECORFAN. ISSN 2444-4928*

Ching-Fuh, L., Yi-Shin, S. & Chin-Hui, C. (September 2002). Extremely Broadband Tunable Semiconductor Lasers for Optical Communication. *Optoelectronics and semiconductor integrated Devices. Recuperado de <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=1601219>*

D'Amato, F. & Dunphy, J. (1992). Tunable Semiconductor Laser Sources Using Fiber Bragg Gratings. *IEEE Lasers and Electro-Optics Society, 1992 Annual Meeting. USA.*

Dewra, S., Grover, V. & Grover, A. (2015). Fabrication and Applications of Fiber Bragg Grating- A Review. *Advanced Engineering Technology and Application, 4 (2), 15-25.*

Digonnet, M. (2001). *Rare-Earth-Doped Fiber Laser and Amplifiers (2<sup>nd</sup> Edition)*. New York: Ed. Marcel Dekker Inc.

Guzmán, A., Vargas, E. & López, C. (2016). Acetylene sensor based on a fiber laser finely tunable with a silicon wafer. *ECORFAN-Bolivia Journal, Vol.3, No.4, p.p. 10-14. ECORFAN. ISSN-2410-4191.*

Hill, K. & Meltz, G. (August 1997). Fiber Bragg Grating Technology Fundamentals and Overview. *Journal of Lightwave Technology, 15(8), 1263-1276.*

Jheng, D., Wang, S., Ho, T., Yang, T., Hsu, K. & Huang, S. (2015). Broadband tunable laser and high-brightness light sources. *International Symposium on Next-Generation Electronics (ISNE). Taiwan.*

Jing, G., Guanghui, Y., Xin, Z., Ming, L., Tingwu, G., Siyuan, L. & Zhiyong W. (July 2015). All-Fiber Tunable Supercontinuum Laser Source. *IEEE Photonics Technology Letters, 27(14), 1553-1556*

Jung, S., Jiang, A., Jiang, Y., Vijayraghavan, K., Wang, X., Troccoli, M. & Belkin M. (2014). Widely-tunable monolithic terahertz quantum cascade laser sources based on difference-frequency generation. *2014 Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO). USA.*

Jungbluth, B., Geiger, J., Hoffmann, D., Loosen, P. & Poprawe, R. (2003). Widely Tunable, Narrow Linewidth All-Solid-state Laser System. *Conference on Lasers and Electro-Optics Europe. Germany.*

Kashyap, R. (1999), *Fiber Bragg Gratings*, San Diego, USA: Optical fotonics Academic Press.

Kurobe, T., Kimoto, T., Muranushi, K., Kagimoto, T., Kagi, N., Kasukawa, A., ... Tsuji, S. (2007). Tunable laser source for fast wavelength switching using a short-cavity DBR laser packaged with wavelength locker Sign In or Purchase. *Optical Fiber Communication and the National Fiber Optic Engineers Conference. USA.*

Mašanović, M. & Johansson, L. (2015). Widely Tunable Semiconductor Lasers and Transmitters. *Photonics Conference (IPC). USA.*