

## DESARROLLO DE REDES DE PERÍODO LARGO EN FIBRAS ÓPTICAS POR METODOS MECÁNICOS

Angelica M. Mesa Yandy(\*)<sup>1,2</sup>, Daniel Aredes<sup>1,2</sup>, Nelida A. Russo<sup>1</sup> y Ricardo Duchowicz<sup>1,2</sup>

### Resumen

Las Redes de Período Largo (LPG - por sus siglas en inglés) grabadas en fibra óptica, poseen variaciones periódicas del índice de refracción del núcleo o de la cubierta de la fibra. Dichos periodos son de decenas o cientos de micrones y longitud total de algunos centímetros. Ellas acoplan modos co-propagantes del núcleo y de la cubierta de la fibra óptica, por esto sus resonancias sólo pueden medirse en el espectro de transmisión. A diferencia de las redes de Bragg, las LPG no reflejan luz, sino que se constituyen en filtros ópticos de atenuación en una región particular del espectro. En este trabajo, se utiliza un sistema mecánico para producir una perturbación periódica del índice de refracción en la fibra por efecto de la foto-elasticidad. Se realizaron pruebas experimentales en las que se lograron obtener redes en la zona de 1500 nm a 1600 nm, generando periodos de 500, 600 y 700 micrones, que resultan muy útiles para trabajos de investigación y para dispositivos de campo en las áreas de interés como comunicaciones y sensores.

### Introducción

Uno de los tipos de redes de difracción en fibra óptica son las redes de período largo [1], [2]. En estas redes el núcleo puede mantener varias perturbaciones a lo largo de la fibra hasta obtener una red con una longitud de 2 a 4 cm y una perturbación típica  $\Delta n$  de aproximadamente  $10^{-4}$ . Estas perturbaciones tienen la función de atenuar algunas longitudes de onda particulares, las cuales dependerán directamente del período de la red. Esto genera como resultado que las redes tengan aplicaciones como filtros ópticos en línea, para bloquear ciertas longitudes de onda, como un reflector de longitudes de onda específicas o en el área de sensores [3]. Las LPG estándar de telecomunicaciones presentan una alta sensibilidad a la temperatura en el rango de 3 nm / 100 °C a 10 nm / 100 °C [4].

Las LPG son más sensibles a perturbaciones externas que las redes de Bragg (FBG) debido a que, en estas últimas los modos acoplados se generan en ambos sentidos, co-propagantes y contra-propagantes. En cambio, en las LPGs, están en función de las propiedades de la fibra y el período de la red. Si algún parámetro cambia debido a variaciones ambientales externas como, por ejemplo, temperatura, tensión, índice de refracción, etc., la longitud de resonancia cambia en concordancia. Este es el principio sobre el cual este tipo de redes pueden ser empleadas como sensores [3], [5]. Por ejemplo las LPG son más sensibles al cambio del índice de refracción de un medio en comparación con las FBGs, por lo que cualquier variación del índice de refracción circundante modifica el espectro de transmisión [6]. En el control de la contaminación ambiental se utilizan sensores de fibra óptica para detectar gases, tales como, hidrocarburos, óxido de nitrógeno, óxido de azufre y amoníaco [2].

Se han estudiado y propuesto muchos métodos para la fabricación de LPG tales como luz ultravioleta, descarga de arco eléctrico, radiación con láser de CO<sub>2</sub>, micro-curvatura y el método por inducción mecánica [3]. En este trabajo se utilizó la técnica de generación por presión mecánica, por ser una técnica flexible de muy bajo costo además de que tiene el beneficio de ser un proceso reversible, lo que significa que una vez que la pieza mecánica se remueve, se recupera la integridad mecánica de la fibra.

angelicam@ciop.unlp.edu.ar, aredesd@ciop.unlp.edu.ar, nelidar@ciop.unlp.edu.ar,  
ricardod@ciop.unlp.edu.ar

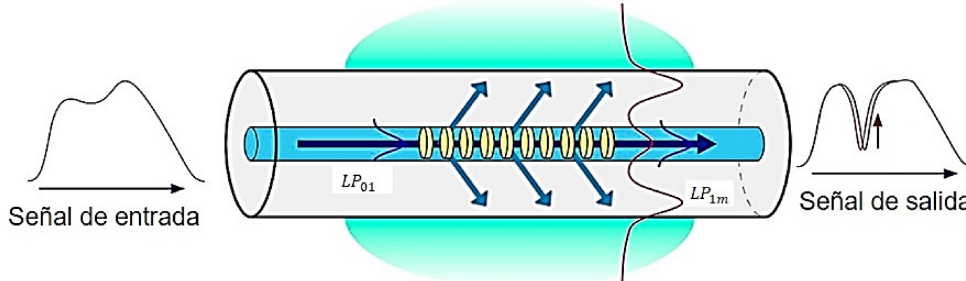
1 Centro de Investigaciones Ópticas (CONICET, CIC, UNLP)

Camino Centenario y 506, Manuel B. Gonnet, Buenos Aires, Tel. 0221-484-0280

2 Facultad de Ingeniería – UNLP

## Redes de periodo largo

Una LPG es una red de fibra, cuyo período se elige para acoplar la luz desde el modo guiado fundamental del núcleo a los modos de la cubierta co-propagantes de alto orden. Dado que la energía de los modos de la cubierta se pierden debido a la absorción y la dispersión en el entorno, una banda de rechazo se mide en el espectro de transmisión, su funcionamiento se ilustra en la *Figura 1* [1], [2], [7].



*Figura 1. Principio de funcionamiento de una LPG*

La condición de ajuste de fase es dependiente de la longitud de onda en una LPG y se rige por la siguiente relación:

$$\lambda_{LPG}^m = (n_{neff\_LP01} - n_{reveff\_LP1m})\Lambda_{LPG} \quad (1)$$

Donde  $\lambda_{LPG}^m$  es el pico de longitud de onda (o longitud de resonancia) de la *m*-ésima banda de atenuación,  $n_{neff\_LP01}$  y  $n_{reveff\_LP1m}$  representa los índices efectivos del modo guiado fundamental  $LP_{01}$ , y  $LP_{1m}$ , es el *m*-ésimo modo del revestimiento, respectivamente, el  $\Lambda_{LPG}$  es el período de la red. Estas redes tienden a ser más largas que las redes reflectoras de Bragg (decenas de milímetros) ya que, los periodos son unos cientos de veces más largos [1], [2].

El mínimo de transmisión de la banda reflejada a  $\lambda_{LPG}^m$  es calculado como:

$$T^m = 1 - \text{sen}^2(k_m L) \quad (2)$$

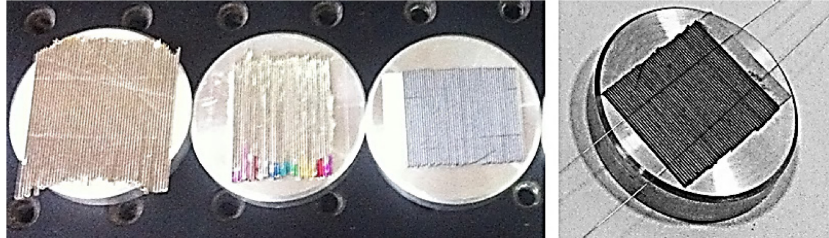
donde  $L$  es la longitud de la LPG y  $k_m$  es el coeficiente de acoplamiento para el *m*-ésimo modo de la cubierta el cual, es determinado por el solapamiento integral de los modos de la cubierta y del núcleo y por la amplitud de la modulación periódica de la constante del modo de propagación.

## Esquema experimental

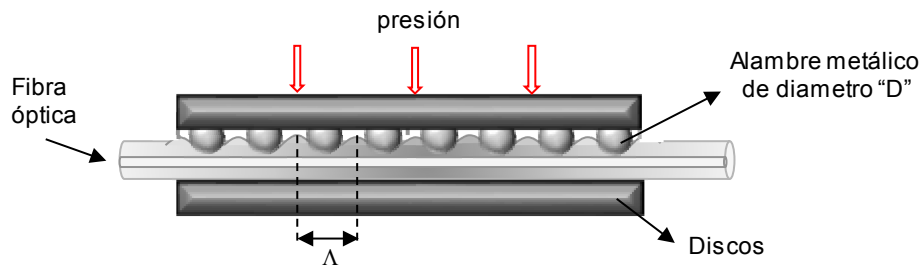
Para la escritura de redes de periodo largo se utilizó la técnica de presión mecánica. Como el índice de refracción del vidrio puede ser modulado cuando el vidrio está expuesto a tensión, este cambio en el índice de refracción óptica se debe a la respuesta foto-elástica del vidrio. En este caso, la foto-elasticidad puede utilizarse para inducir una modulación periódica temporal del índice de refracción en el núcleo y en el revestimiento para generar las LPG. De acuerdo con esto se pueden utilizar puntos de presión de micro-curvaturas tales como: placas ranuradas metálicas, ondas acústicas de flexión, en fin, presenta muchas variantes en el diseño ondulado. La foto-elasticidad del vidrio permite la inscripción de LPGs prácticamente en cualquier tipo de fibra, esto incluye, fibras de telecomunicación estándar, fibras de cristal fotónico, entre otras [8], [9].

En este caso, se utilizaron dos superficies (discos) una plana y una corrugada. La superficie corrugada se obtiene colocando un número determinado de alambres metálicos de diámetro  $D$ , ubicados en forma paralela (*Figura 2*). Una fibra óptica es ubicada, en primera instancia, perpendicularmente al arreglo de alambres. Al presionar la fibra entre ambas superficies se produce una variación periódica (de período  $D$ ) del índice de refracción (*Figura 3*). Con un valor de  $D$  adecuado, el cual varía de decenas a centenas de micrones, se genera una LPG que acopla el modo del núcleo de la fibra con modos del revestimiento, produciendo pérdidas selectivas en

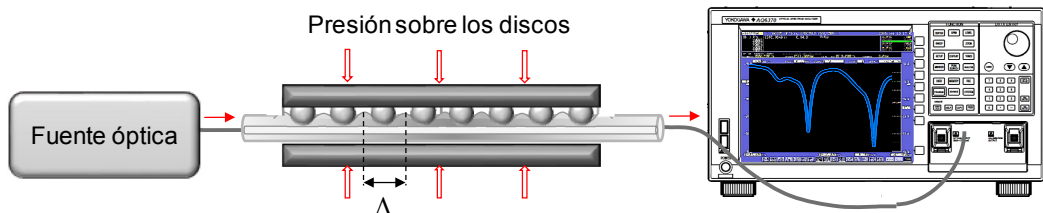
ciertos rangos de longitud de onda. El sistema utiliza una fuente de banda ancha en la región de 1550 nm para acoplar luz en el dispositivo el cual es monitoreado en transmisión con un analizador de espectros (*Figura 4*). Se realizaron, pruebas experimentales con alambres de diferentes diámetros, logrando obtener redes con diferentes períodos (500, 600 y 700 micrones), utilizando 34 alambres adheridos en uno de los discos. Además de generar este tipo de LPG temporales con un período determinado, también es posible variar el período, cambiando el ángulo en el cual se coloca la fibra, este fue variado (0 - 40) grados, cambiando de esta manera, la longitud de onda de transmisión entre 1532.6 a 1581.8 nm.



*Figura 2. superficies utilizadas para presionar la fibra*



*Figura 3. Esquema de la generación de una LPG*



*Figura 4. Esquema de monitoreo de la LPG*

### Resultados experimentales

A continuación, se muestran los resultados experimentales obtenidos al posicionar la fibra, inicialmente perpendicularmente y luego, se fue cambiando la posición de la misma en diferentes ángulos (8°, 20° y 40°), observando entonces en la (*Figuras 5 y 6*) como va variando el período cuando se cambia la posición de la fibra desplazándose el pico de trasmisión a longitudes de onda mayores.

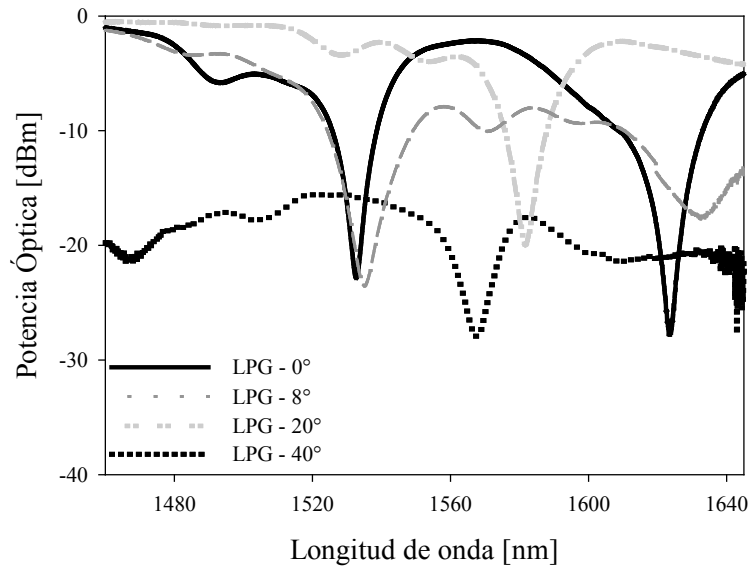


Figura 5. Medidas de transmisión de LPGs con diferentes períodos

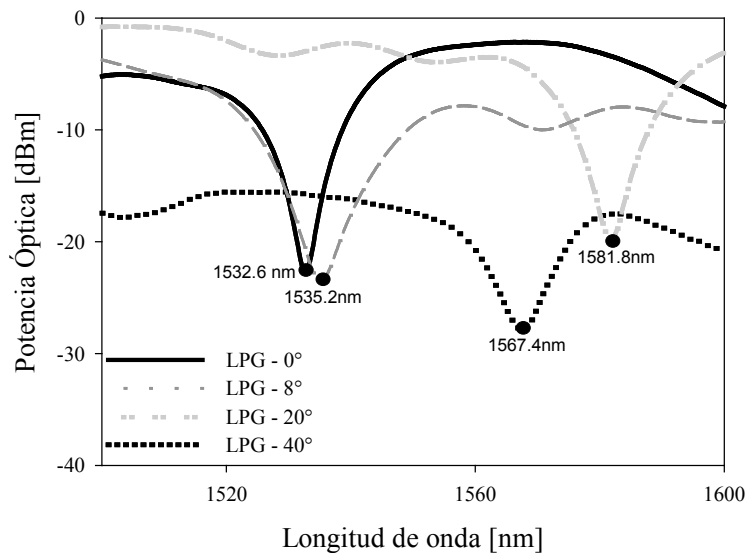


Figura 6. Detalle de la longitud de onda de cada uno de los picos de transmisión

### Conclusiones

Fue posible generar redes de período largo, a través, de la técnica de presión mecánica. Siendo de nuestro interés por ser, este tipo de sensores altamente sensibles, simples y económicos ofreciendo ventajas únicas al ser sintonizables, reversibles y reconfigurables. Muy útiles en el estudio de sensores de fibra óptica en la determinación de parámetros como deformación y temperatura.

### Agradecimientos

Este trabajo ha contado con el apoyo del CONICET (PIP 112- 201101-00397), Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de La Plata (Proyecto I169/12) y la Comisión de Investigaciones Científicas de la Pcia. de Buenos Aires - CIC (Resolución N° 1266/15), Argentina. D. Aredes es Personal de Apoyo del CONICET, A. Mesa Yandy es becaria doctoral de la CIC, N. A. Russo y R. Duchowicz son investigadores de CIC y CONICET, respectivamente.

## Referencias

- [1] R. Kashyap, *Fiber Bragg gratings*. San Diego, California, 2010.
- [2] G. Rajan, "Optical Fiber Sensors Advanced Techniques and Applications," p. 564, 2015.
- [3] M. G. P. Navarro, "Medición de deformación mecánica y torsión en fibras ópticas monomodo," Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, Ciudad de México, 2015.
- [4] S. W. J. and R. P. Tatam, "Optical fibre long-period grating sensors: characteristics and application," *Meas. Sci. Technol.*, vol. 14, pp. R49–R61, 2003.
- [5] T. Mizunami, T. Mori, and T. Fujiyoshi, "Long-period fiber gratings and their sensing applications," *2012 Int. Conf. Fiber Opt. Photonics, PHOTONICS 2012*, pp. 3–5, 2012.
- [6] C. Berrettoni, C. Trono, V. Vignoli, and F. Baldini, "Fibre tip sensor with embedded FBG-LPG for temperature and refractive index determination by means of the simple measurement of the FBG characteristics," *J. Sensors*, 2015.
- [7] F. Chiavaioli, C. A. J. Gouveia, P. A. S. Jorge, and F. Baldini, "Towards a uniform metrological assessment of grating-based optical fiber sensors: From refractometers to biosensors," *Biosensors*, vol. 7, 2017.
- [8] A. Martínez-rios, D. Monzon-hernandez, I. Torres-gomez, and G. Salceda-delgado, "Long Period Fibre Gratings," in *Fiber Optic Sensors*, InTech., no. C, D. M. Yasin, Ed. México, 2012, pp. 275–294.
- [9] S. Savin, M. J. Digonnet, G. S. Kino, and H. J. Shaw, "Tunable mechanically induced long-period fiber gratings.," *Opt. Lett.*, vol. 25, no. 10, pp. 710–712, 2000.