

# REDES DE DIFRACCION DE PERIODO LARGO EN FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO INDUCIDAS POR MICROCURVATURAS

José Luis Arce Diego

David Pereda Cubian

Javier Pérez Campo

Departamento de TEISA  
Universidad de Cantabria

Departamento de TEISA  
Universidad de Cantabria  
[dpcubian@teisa.unican.es](mailto:dpcubian@teisa.unican.es)

Departamento de TEISA  
Universidad de Cantabria  
[javisolares@terra.es](mailto:javisolares@terra.es)

## ABSTRACT

We report the analysis of mechanically induced long-period fiber gratings made by pressing a plate with period grooves against a short length of fiber.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los sensores basados en microcurvaturas están en el grupo de los sensores ópticos que primero se diseñaron, por sus aplicaciones potenciales y sus ventajas sobre otros sensores [1]. Las pérdidas por microcurvaturas en fibras multimodo, están causadas por el acoplo de los modos guiados con los radiados, y para pequeñas deformaciones de la fibra se puede considerar que se deben al acoplamiento del modo guiado de orden superior con el primer modo radiado.

Cuando se inducen mecánicamente microcurvaturas en fibras monomodo es necesario explicar las pérdidas que se producen de manera distinta. En este caso se considera que las pérdidas se ocasionan como consecuencia de un acoplamiento del modo fundamental a modos cubierta discretos, tal como se analiza en [2]. En este trabajo se analiza el comportamiento de fibras ópticas monomodo sometidas a microcurvaturas y se demuestra que desde un punto de vista fenomenológico se comportan como redes de difracción de periodo largo fotoinducidas con la diferencia de que el acoplo se produce a modos cubierta con diferente simetría.

## 2. MODELADO DE MICROCURVATURAS EN FIBRAS MONOMODO

El dispositivo propuesto, se muestra en la figura 1. Las microcurvaturas originan una modificación en la distribución del índice de refracción de la fibra monomodo que puede modelarse como:

$$n(r, \phi, z) = n_0(r) + \frac{\partial n_0}{\partial r} \cdot f(z) \cos \phi \quad (1)$$

Esta variación periódica es la causante del acoplamiento de parte de la energía del modo fundamental  $LP_{01}$  a modos cubierta del tipo  $LP_{1p}$ .

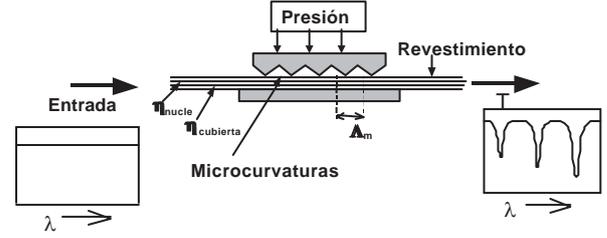


Figura 1. Dispositivo basado en microcurvaturas propuesto

Mediante la teoría de modos acoplados se puede modelar el proceso como un mecanismo de pérdidas  $\alpha_m$ [3]:

$$2\alpha_m = \sum_{p=1}^{\infty} C_{1p}^2 \cdot \Phi(\Delta\beta_{1p}) \quad (2)$$

en la expresión  $C_{1p}$  es el coeficiente de acoplo entre el modo  $LP_{01}$  y el modo cubierta  $LP_{1p}$  mientras que  $\Phi(\Delta\beta_{1p})$  es el espectro de deformación a la frecuencia espacial  $\Delta\beta_{1p}$ , que es la diferencia entre las constantes de propagación de los dos modos, el guiado y el cubierta.

El coeficiente de acoplo se puede expresar como:

$$C_{1p}^2 = \frac{k^2 \left( \int_0^{\infty} \frac{\partial n_0}{\partial r} E_{01} E_p^1 r dr \right)^2}{2 \int_0^{\infty} E_{01}^2 r dr \int_0^{\infty} (E_p^1)^2 r dr} \quad (3)$$

Los campos eléctricos del  $LP_{01}$  y del modo cubierta  $LP_{1p}$  con el que se acopla son  $E_{01}$  y  $E_{1p} = E_p^1 \cos(\phi)$ . Tanto  $E_{01}$  y  $E_p^1$  se calculan mediante la aproximación multicapa.

Normalizando campos y considerando además que el campo guiado es prácticamente nulo en la interfase de la cubierta con el medio exterior, el coeficiente de acoplo entre los dos modos resulta :

$$C_{1p}^2 = \frac{k^2}{2} (n_2 \Delta_1 E_{01}(a_1) E_p^1(a_1) a_1)^2 \quad (4)$$

En cuanto al espectro de deformación  $\Phi(\Omega)$ , que se produce por la deformación  $f(z)$  del eje de la fibra:

$$\Phi(\Omega) = \frac{1}{2L} \left| \int_{-L}^L f(z) \cdot \exp(-j\Omega z) dz \right|^2 \quad (5)$$

Si este espectro de deformación se forma para que aparezcan picos, esto conduce a que a determinadas longitudes de onda estos picos coincidan con la posición de los coeficientes de acoplamiento por lo que aparezcan pérdidas apreciables a esas  $\lambda$ 's.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los datos de los que se parte para realizar la simulación son los siguientes, en cuanto al perfil del índice de refracción de la fibra monomodo:  $n_1=1,458$ ,  $n_2=1,4518$ ,  $n_3=1$ ; en cuanto a los datos de las microcurvaturas introducidas:  $m = 0.05$ ,  $L = 0.24m$  es la longitud de la zona de microcurvaturas y el número de periodos es 511; además el periodo de la red de difracción de periodo largo se toma como  $\Lambda=585,871934 \mu\text{m}$ . El espectro de pérdidas obtenido se muestra en la figura 2.

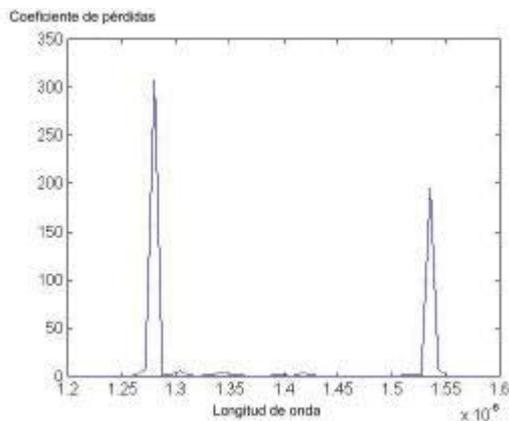


Figura 2. Espectro de pérdidas en la fibra monomodo debido a microcurvaturas

Este espectro de pérdidas debido a la perturbación periódica inducida mecánicamente por las microcurvaturas se puede interpretar desde un punto de vista fenomenológico como una red de difracción de periodo largo que acopla el modo fundamental guiado por la fibra  $LP_{01}$  a los modos cubierta discretos  $LP_{lm}^{cub}$  de la misma, y el acoplo de modos tiene lugar a las longitudes de onda que satisfacen la condición de ajuste de fase

$$\lambda_m = \left( n_{effLP01}^{nucleo} - n_{LP1m}^{cubierta} \right) \Lambda_m \quad (6)$$

donde  $n_{effLP01}$  y  $n_{LP1m}^{cubierta}$  son los índices efectivos del modo guiado  $LP_{01}$  y del  $m$ th modo cubierta a  $\lambda_m$ , respectivamente y  $\Lambda_m$  es el periodo de la red de difracción inducida mecánicamente. En la figura 3 se muestra el espectro en transmisión de la red de difracción de periodo largo inducida mecánicamente debido al acoplo al modo  $LP_{14}$ . Este comportamiento ha sido verificado experimentalmente [4] y aplicado al diseño de transductores y dispositivos para comunicaciones ópticas [5].

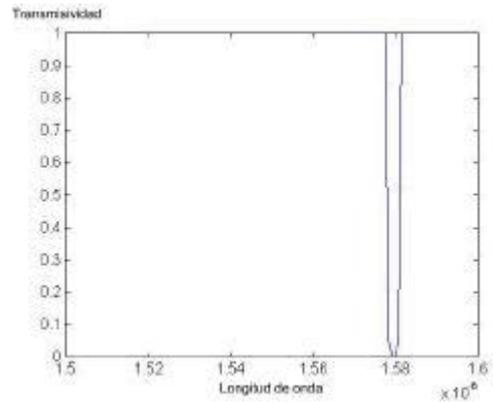


Figura 3. Espectro en transmisión de una fibra monomodo sometida a microcurvaturas debido al acoplo al modo cubierta  $LP_{14}$ .

### 4. CONCLUSIONES

Se ha analizado el efecto de las microcurvaturas en fibras ópticas monomodo y se ha verificado que se comportan como redes de difracción de periodo largo, con la diferencia respecto a las fotoinducidas, de que el mecanismo de acoplo en estas redes inducidas mecánicamente se debe al acoplo a modos de orden impar.

### 5. REFERENCIAS

- [1] John W. Berthold III. "Historical Review of Microbend Fiber-Optic Sensors". *Journal of Lightwave Technology*, vol. 13, n° 7, pp. 1193-1199, Jul. 1995.
- [2] C. B. Probst, A. Bjarklev, and S. B. Andreasen, "Experimental Verification of Microbending Theory using Mode Coupling to Discrete Cladding Modes", *Journal of Lightwave Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 55-60, 1989.
- [3] A. Bjarklev. "Microdeformation Losses of Single-Mode Fibers with Step-Index Profiles", *Journal of Lightwave Technology*, vol. LT-4, n° 3, pp. 341-346, 1986.
- [4] S. Savin, M. J. F. Digonnet, G. S. Kino, H. J. Shaw, "Tunable mechanically induced long-period fiber gratings", *Optics Letters*, vol. 25, no. 10, pp. 710-712, 2000.
- [5] J. L. Arce-Diego, J. Gonzalez Garcia, D. Pereda Cubian, Daniel A. Gonzalez Fernandez, "Optical Fiber Transducer based on LPFG and Microbends for Multi-Parameter Sensing", *Conference Proceedings IEEE/LEOS 2001*, pp. 782-3, 2001.