

## Efecto de la polarización en fibra óptica plástica de diámetro reducido para aplicaciones de sensado

Aurora Álvarez Samano<sup>1</sup>, Jesús Antonio Cisneros Rivera<sup>1</sup>, Alexandra Giselle Sánchez Nieto<sup>1</sup>, José Francisco Estrada Segura<sup>1</sup>, Nancy Martínez Gonzalez<sup>1</sup>, Ruth Ivonne Mata Chávez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad de Guanajuato, División de Ingenierías Campus Irapuato-Salamanca. Departamento de Estudios Multidisciplinarios. Av. Universidad s/n. Col. Yacatitas. Yuriria, Gto.

a.alvarezsamano@ugto.mx<sup>1</sup>

ja.cisnerosrivera@ugto.mx<sup>1</sup>

ag.sancheznieto@ugto.mx<sup>1</sup>

jf.estradasgura@ugto.mx<sup>1</sup>

nmartinezgonzalez@ugto.mx<sup>1</sup>

ruth@ugto.mx<sup>1</sup>

### Resumen

En este trabajo se propuso estudiar el efecto de la polarización en una fibra óptica de diámetro reducido. Para esto, se redujo el diámetro de una Fibra Óptica Plástica en una longitud de alrededor de 3 cm. El revestimiento se desbastó mecánicamente después de hacer pruebas de degradación por contacto de acetona en tiempos de exposición de 10 minutos para alcanzar una profundidad del 10% al 30%. Se analizó la intensidad de salida en los dispositivos resultantes haciendo mediciones de potencia para determinar los cambios en relación con la fuente y la polarización. En los experimentos se aplicó polarización lineal a la entrada de la fibra de un láser He-Ne a 632nm. Se observó una inversión en los valores de intensidad con la FOP desbastada indicando un cambio en la dirección del estado de polarización y del estado de polarización, obteniendo polarización circular al aplicar curvatura sobre la fibra óptica. Estos resultados preliminares seguirán en estudio para aplicarse en sensores de corto alcance en fibra óptica plástica.

**Palabras clave:** Fibra óptica; Sensores.

### Introducción

El estado de polarización de la luz puede tener un efecto característico en dispositivos de fibra óptica en cuanto a la transmisión y la reflexión, y el comportamiento de esta, puede ser bastante complejo en medios dieléctricos, dependiendo de las características ópticas del material. La polarización de la luz es un fenómeno muy importante cuando se trabaja con fibras ópticas ya que puede ser útil o perjudicial dependiendo de la aplicación que como resultado podría presentarse, por ejemplo: en la atenuación por modos de polarización.

Se sabe que la alteración del estado de polarización de la luz puede darse por deformaciones causadas en las fibras ópticas, así como cambios en variables físicas ambientales como temperatura y tensión que contribuyen a la dispersión de los modos de polarización (DMP). La DMP da como resultado un retardo diferencial de grupo de modos que en respuesta, en un sistema óptico como de comunicaciones, producen la distorsión y el traslape de los pulsos por lo que causa una limitación a la velocidad y transmisión de datos de la información transmitida<sup>[1]</sup>

En aplicaciones de sensado, el estado de la polarización de la luz se ha utilizado para el monitoreo de tensiones y deformaciones de estructuras mecánicas con fibra óptica de vidrio estándar, por medio de sensado remoto<sup>[2]</sup>. También se ha utilizado en aplicaciones de imágenes biomédicas y el control industrial debido a que el estado de polarización proporciona información valiosa, de las escenas, que no se puede obtener directamente a partir de imágenes espectrales o de intensidad<sup>[3]</sup>.

En este proyecto, se trabajó con fibra óptica plástica para determinar, de forma preliminar, los efectos de la polarización en medios de transmisión basados en la intensidad de luz, con la finalidad de aplicar los resultados, en un futuro cercano, a dispositivos de sensado hechos del mismo tipo de fibra óptica.

## Materiales y Métodos

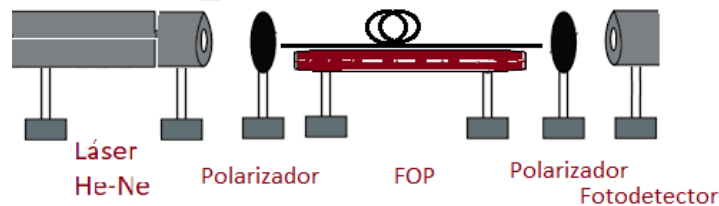


Figura 1. Esquema experimental para el análisis del estado de polarización.

El esquema experimental de la figura 1 muestra parte del material y equipo que se utilizó en este trabajo, a continuación se muestra una lista:

1 láser He-Ne de 5mW

1 medidor de potencia

1 polarizador giratorio  $\pm 90^\circ$

1 mica polarizada de 3 x 3 cm

Fibra óptica plástica de 900 micras de diámetro

Acetona pura

Lijas de grano fino

Para poder determinar el estado de polarización de la luz, a la salida de una fibra óptica, en este trabajo se aplica la ley de Malus que nos dice que con el uso de polarizadores, al rotar uno de ellos, la intensidad varía de un máximo a un mínimo de la forma:

$$I(\theta) = I_0 \cos^2(\theta) \quad (1)$$

En donde  $I_0 = A_0^2$  y estas graficas suelen presentarse en la literatura de forma normalizada<sup>[4]</sup>.

Existen tres posibles tipos de polarización que pueden encontrarse al hacer el análisis. La polarización lineal (PL) se podrá definir si se obtiene una variación periódica de la intensidad, a la salida de la fibra, con extinción completa de la luz en dos valores de  $\theta$ . Este estado de polarización (EP) está orientado a  $\theta = \theta_0$ , lo que corresponde a la intensidad máxima de salida. Si la luz, a la salida de la fibra, no cambia a ningún ángulo de rotación del polarizador se puede inferir que los posibles EP son: luz circularmente polarizada (CP) o luz no polarizada (NP), o una combinación de ambas. Si la intensidad de la luz cambia periódicamente pero sin mostrar una extinción completa de la luz a cualquier valor de  $\theta$ , los posibles EP serían a) una combinación de luz no polarizada (NP) y PL, b) polarización elíptica (PE) o una combinación de luz NP con PE<sup>[5]</sup>.

Para iniciar con el trabajo, la fibra plástica se pulió usando una lija de grano fino con movimientos en forma de 8, hasta obtener un acabado liso y sin fracturas. Se caracterizaron los polarizadores para estudiar el efecto de la polarización en la fibra óptica plástica (FOP) y se hicieron los siguientes experimentos:

Experimento # 1: Se analizó el estado de polarización del láser He-Ne usando un polarizador y el de la fibra óptica plástica de 10 y 40 cm de largo colocada en forma recta y sin modificar su diámetro. Después se dobló a un radio de  $< 3\text{cm}$  haciendo 4 curvas y se analizó la luz de salida con un polarizador.

Una vez analizado el estado de polarización del láser y de la FOP, se procedió a retirar el recubrimiento de la fibra y colocarla por al menos 10 minutos en un recipiente con acetona. Inicialmente solo se observó que se deshizo el revestimiento, sin modificar en mucho el núcleo plástico. Entonces se decidió terminar el desbaste del plástico del núcleo de forma mecánica usando un aparato de lija giratoria hasta alcanzar el 10%, el 20% y 30%.

Experimento # 2: Se implemento el esquema experimental de la foto 1 fijando el polarizador 1 en  $0^\circ$  y rotando el polarizador 2 a  $180^\circ$ . Se analizó el estado de polarización de la fibra óptica plástica desbastada al 10% colocada de forma recta y cada vez que se rotaba en polarizador se tomaba la lectura de la intensidad de la luz a la salida de la fibra.



Foto 1. Experimento # 2 para el análisis de la polarización de la luz en la fibra óptica plástica

Experimento # 3: La fibra se dobló a un radio de  $< 3\text{cm}$  haciendo 3 a 4 curvas sobre la superficie sujetadora, Se estudió la luz de salida en el extremo de la fibra con el analizador para determinar el estado de polarización de la fibra en esas condiciones. Ver foto 2.

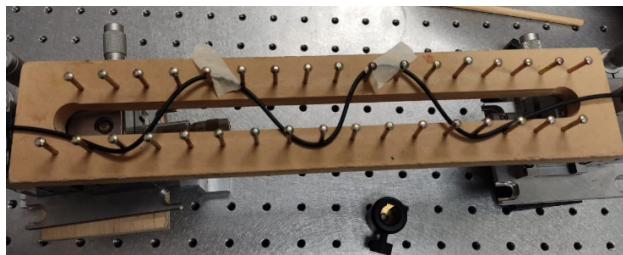
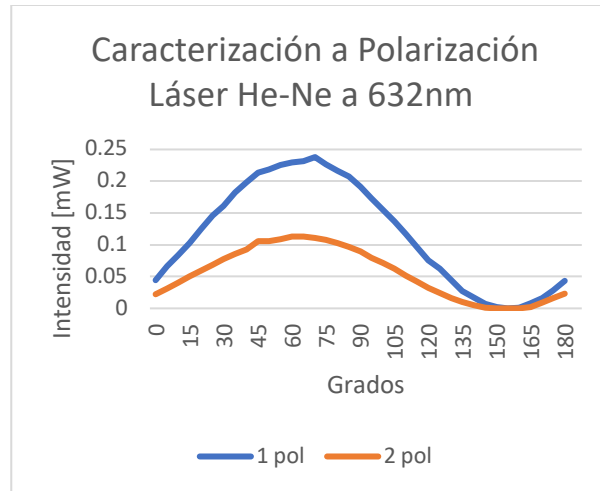


Foto 2. Experimento # 3 para el análisis de la polarización de la luz con curvatura en la fibra óptica plástica.

Se repitieron los experimentos # 2 y # 3 con la fibra óptica plástica desbastada en su diámetro al 20% y 30%. Se registraron las lecturas de la luz de salida de la fibra con el medidor de potencia.

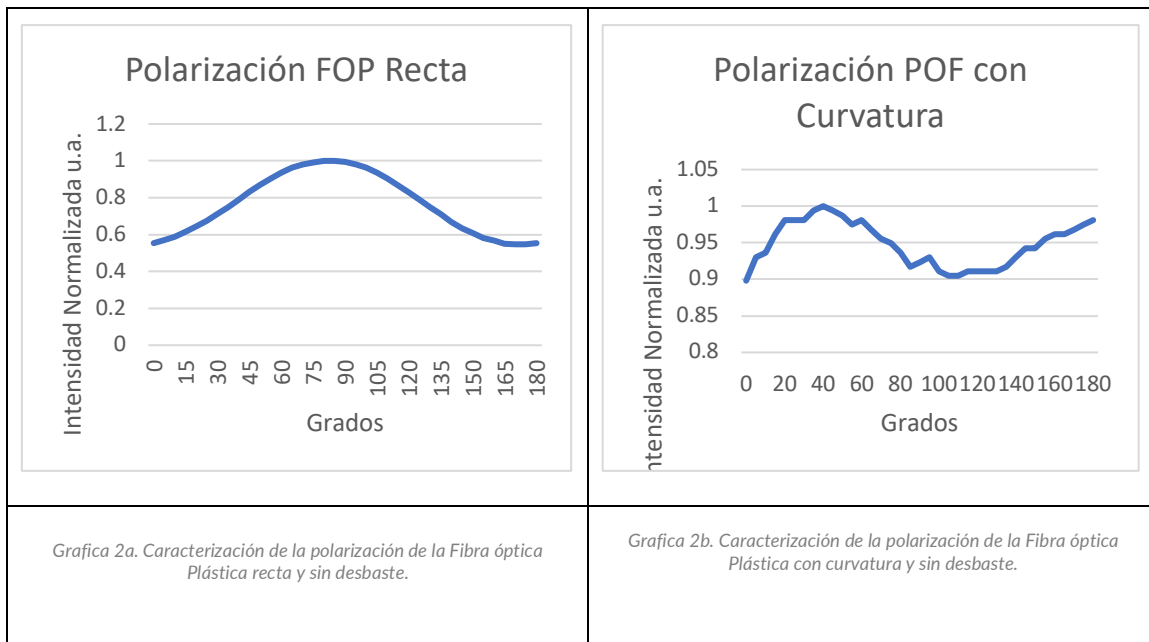
## Resultados y Discusión

Los resultados de la medición de la intensidad de la luz de la salida del láser con ambos polarizadores se observan en la gráfica 1.

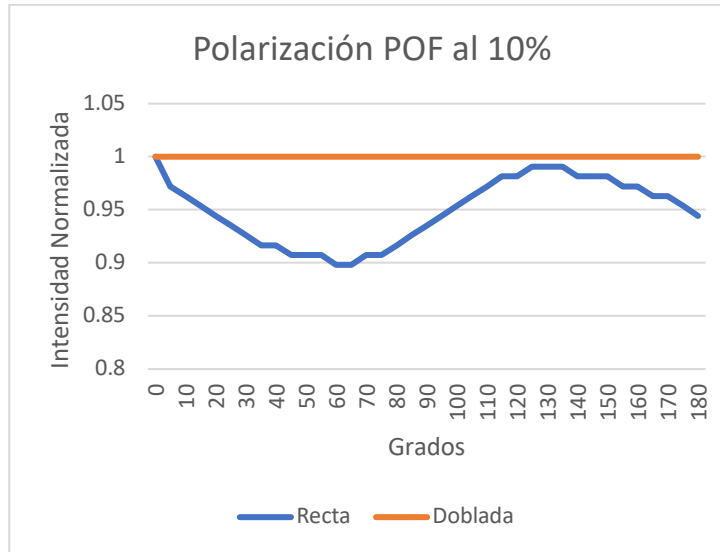


Grafica 1. Caracterización de la polarización del láser He-Ne.

Los resultados de la medición de la intensidad de la luz a la salida de la fibra sin desbaste, pulida y colocada recta y con curvatura, se observan en la gráfica 2a y 2b, respectivamente

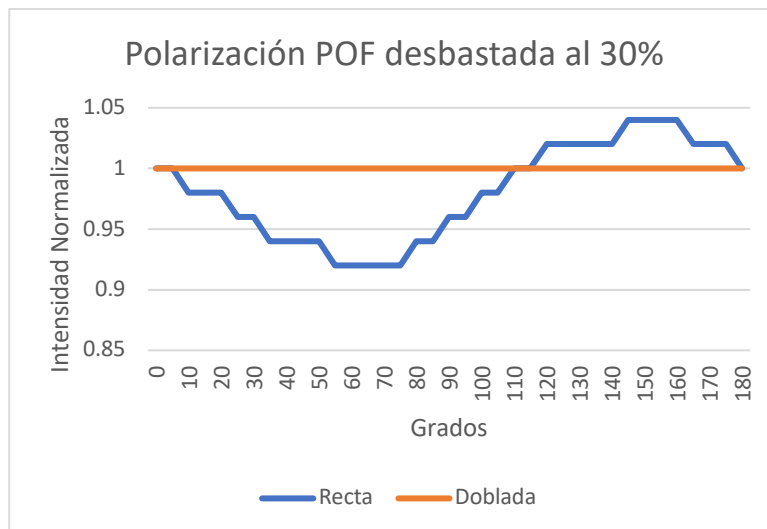


Los resultados de la medición de la intensidad de la luz a la salida de la fibra con desbaste al 10%, recta y curva, se observan en la gráfica 3.



Gráfica 3. Caracterización de la polarización de la Fibra óptica Plástica desbastada al 10%.

Los resultados de la medición de la intensidad de la luz a la salida de la fibra con desbaste al 20%, recta y curva no pudieron observarse adecuadamente. Los resultados de la medición de la intensidad de la luz a la salida de la fibra con desbaste al 30%, recta y curva, se observan en la gráfica 4.



Gráfica 4. Resultado de la caracterización de la polarización de la Fibra óptica Plástica desbastada al 30%.

Se observa de la gráfica 1 que la polarización mostrada por la fuente de 632nm se compone de un ciclo que no inicia en  $0^\circ$  y toca el eje aproximadamente en  $160^\circ$ . En la gráfica 2a se al introducir la luz a la fibra óptica plástica sin desbaste, colocada de forma recta sobre el sujetador, se observa un comportamiento similar sin extinción sobre el eje  $\theta$ . Cuando la fibra se curva, se observa en la gráfica 2b, que hay un comportamiento senoidal de onda completa, teniendo un ciclo positivo en el primer cuadrante y el negativo de  $90^\circ$  a  $180^\circ$  sin extinción sobre el eje  $\theta$ . Cuando la fibra se desbasta al 10%, se observa una inversión de la posición del ciclo, siendo casi completo. Al aplicar curvatura, se observa una línea recta que indica que se conserva el mismo valor de la intensidad a la salida de la fibra, grafica 3. En cuanto a los resultados de las lecturas de la fibra con desbaste al 20%, no se obtuvieron resultados claros para discutirse. La gráfica 4 que representa la medición en la fibra óptica plástica desbastada al 30%, se observa un comportamiento similar al de la fibra con desbaste al 10%, cambiando solamente los niveles de intensidad leídos con el medidor de potencia. En ningún resultado de los experimentos, con la fibra óptica plástica, se observa extinción de la onda de las gráficas sobre el eje  $\theta$ .

## Conclusiones

De acuerdo con la ley de Malus, se sabe que la fuente utilizada es de luz coherente con polarización lineal. Al entrar este tipo de luz a la fibra, el estado de polarización no se mantiene completamente, ya que, a la salida de esta, no se observan dos valores de extinción en  $\theta$ , por lo cual, los posibles EP serían a) una combinación de luz NP y PL o b) polarización elíptica (PE) o una combinación de luz no polarizada (NP) con PE. Lo mismo sucede para la fibra con curvatura. Al desbastar la fibra óptica plástica en 10% y 30%, la polarización en la FOP recta puede tener los siguientes EP a) una combinación de luz no polarizada y PL b) polarización elíptica o una combinación de luz NP con PE con un cambio en la dirección de la polarización. La fibra con curvatura, a estos porcentajes de desbastado, revela un estado de polarización circular. Es necesario verificar el EP real cuando se tiene la expectativa de que el resultado sea alguno de 2 o más estados de polarización para que sea útil para otras aplicaciones de fibra óptica. Los resultados son preliminares y con ellos se busca que puedan aplicarse en sensores de fibra óptica plástica de corto alcance.

## Referencias

- B. Culshaw and J. Dakin, Optical Fiber Sensors Components and Subsystems, Artech House, 1997
- J. M. López-Higuera, Handbook of Optical Fibre Sensing Technology, Nueva York: John Wiley & Sons, 2002
- Simon Thibault, Pierre Desaulniers. Polarization-based vision sensor for automotive, Proc. SPIE 8368, Photonic Applications' for Aerospace, Transportation, and Harsh Environment III, 93680L, (2012).
- E. Collett, Field Guide to Polarization, United States, SPIE Field Guides, SPIE PRESS, 2005
- A kumar, A. Ghatak, Polarization of light with Applications in Optical Fiber, Bellingham, Washington, USA: Spie Press, 2011