

SENSOR DE FIBRA ÓPTICA INTERFERÓMETRICO: FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN

Pizarro Rada Andrea Carolina (1), Mata Chávez Ruth Ivonne (2)

¹ Ingeniería industrial, Universidad Simón Bolívar | apizarro4@unisimon.edu.co

² Departamento de Estudios Multidisciplinarios, División de ingenierías, Campus Irapuato- Salamanca, Universidad de Guanajuato | ruth@ugtomx.onmicrosoft.com

Resumen

El objetivo del presente trabajo es generar una metodología para la fabricación de sensores de fibra óptica basados en interferómetros de Mach-Zehnder. Estos sensores se fabricaron utilizando fibras monomodo estándar SMF-28 mediante la técnica de empalme por fusión con diferentes variaciones de los parámetros que intervienen en el proceso, tales como: Potencia de arco, tiempo de fusión, Z push y tiempo de prefusión. Posteriormente, dichos dispositivos se caracterizaron con un analizador de espectros ópticos (YOCOGAWA) y una fuente de luz blanca (Ando, AQ-43038). Debido a las pérdidas de potencia producidas en los empalmes, se utilizó el método de Taguchi con el fin de determinar los valores óptimos de los parámetros que redujeran las pérdidas de potencia de cada dispositivo. Finalmente, con estos parámetros, se fabricó un interferómetro con una reducción de pérdidas a 0.09 dBm que, con luz blanca, funciona como sensor de calidad para la medición de tensiones mecánicas.

Abstract

The objective of this work is to generate a methodology for the manufacture of optic fiber sensors based on Mach-Zehnder interferometers. These sensors were manufactured from standard SMF-28 single-mode optic fibers through fusion splicing with varying parameters that intervene in the process, such as: arc power, fusion time, Z push and pre-fuse time. Such fibers were characterized with an optic spectrum analyzer (YOCOGAWA) and a white light source (Ando, AQ-43038). However, due to power losses from the splicing procedure, the Taguchi method was used to determine the optimal values of the parameters that would reduce the power losses of each device. Finally, with these parameters, an interferometer was constructed with a reduction of losses down to 0.097dBm which using white light, it functions as a high-quality sensor for the measurement of mechanical stress.

Palabras Clave

Empalme, interferómetro, fibra óptica, sensor

INTRODUCCIÓN

En los últimos años diversos tipos de interferómetros de fibra óptica han sido propuestos para aplicaciones de sensado de distintos parámetros como presión, temperatura, curvatura, índice de refracción y torsión [1, 2]. Uno de los interferómetros en fibra óptica más atractivo es el de Mach-Zehnder (MIZ) debido a que son simples de fabricar y presentan excelentes características para detectar cambios de índice de refracción, variaciones en temperatura, tensión y torsión [3, 4]. Asimismo, estos dispositivos pueden utilizarse en moduladores, filtros multicanal y dispositivos de multiplexado por división de longitud de onda [5].

Para la fabricación de estos sistemas de fibra óptica es necesario utilizar técnicas y dispositivos de interconexión tales como los conectores y empalmes. Los conectores son dispositivos mecánicos utilizados para recoger la mayor cantidad de luz, estos realizan la conexión del emisor y receptor óptico. Los empalmes son uniones permanentes de dos tramos de fibra óptica. Existen dos tipos de empalmes: por fusión y mecánico [6]. El empalme por fusión ofrece el nivel de atenuación más bajo y la unión más confiable, para su realización se utiliza la técnica de calentamiento de las fibras con una descarga eléctrica hasta llegar al punto de fusión. Por otra parte, el empalme mecánico se utiliza para restauraciones temporarias, para este tipo de empalme se utiliza un soporte mecánico y un aglomerante en el punto de conexión, que se establece de forma mecánica.

Existen muchos factores que pueden influir en la calidad del proceso de fabricación, por lo que se pueden encontrar varios métodos para el diseño de optimización del proceso experimental, entre estos el método de Taguchi. Este método utiliza técnicas que implican bajos costos y que son aplicables a los problemas y requerimientos de la industria moderna [7].

El método Taguchi considera tres pasos en el desarrollo del proceso: diseño del sistema, diseño de parámetros y diseño de tolerancias [8]. En el diseño del sistema se determina la configuración básica de los componentes, luego en el diseño de parámetros, se determina la combinación de todos los parámetros para el nivel óptimo, y las herramientas clave son matriz ortogonal y SNR (relación señal-ruido). Al elegir la matriz ortogonal apropiada para organizar los tiempos de experimento, cada factor que influye en las características del objetivo se concluye utilizando menos experimentos.

El presente proyecto de investigación tiene como objetivo obtener los parámetros adecuados como: Potencia de arco, tiempo de fusión, Z push y tiempo de prefusión mediante el método de Taguchi, con el fin de fabricar un sensor basado en interferómetros con luz blanca de alta precisión para la medición de tensiones mecánicas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para llevar a cabo la fabricación de los MZI se retiró el recubrimiento de dos secciones de fibra para dejar al descubierto la longitud de fibra necesaria. Luego, las dos secciones se montaron en una empalmadora Fitel S175 donde se realizaron las operaciones de empalme manual. En primer lugar, los dos núcleos de fibra se alinearon y luego el lado izquierdo se movió 30 micras a lo largo de la dirección X negativa como se muestra en la Figura 1, aplicando varias descargas con los parámetros presentados en la tabla 1.

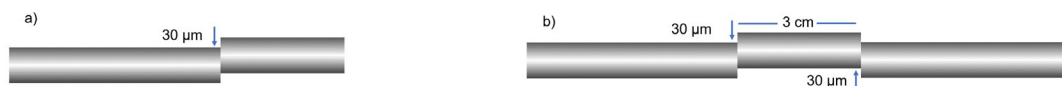


Figura 1: Diagrama esquemático del interferómetro

Posteriormente, se retiró el recubrimiento de un segmento de las fibras empalmadas, cortando una de ellas 3 cm desde el empalme. Luego, los dos segmentos de fibra se colocaron de nuevo en la empalmadora, los núcleos de fibra se alinearon, y el lado izquierdo se movió 30 micras en dirección X positiva como se muestra en la Figura 1, realizando un segundo empalme con los parámetros utilizados anteriormente.

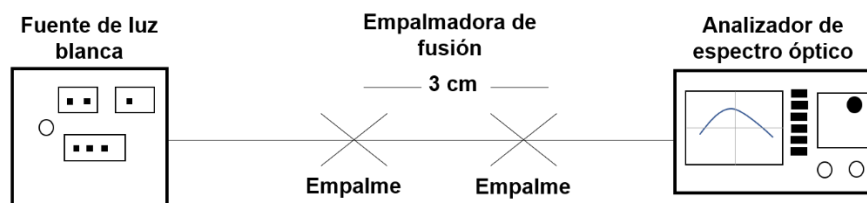


Figura 2: Esquema de montaje experimental

Tabla 1: Parámetros de empalme de cada MZI

MZI	Potencia de arco (dBm)	Tiempo de fusión (ms)	Z push (μm)	Tiempo de prefusión (ms)
1	91	750	11	240
2	101	1150	17	180
3	101	1450	17	200
4	96	1450	15	240
5	101	1150	15	240
6	91	1450	11	180
7	101	1150	15	200
8	91	1450	17	200
9	96	750	11	240

Cada uno de los empalmes realizados se analizaron mediante un analizador de espectro óptico AQ6370C y una fuente de luz blanca AQ-43038 como se muestra en la figura 2, en el cual se pudo observar la potencia de salida del empalme y así mismo obtener las pérdidas de potencia de cada empalme. Debido a la gran cantidad de pérdidas obtenidas observadas en la figura 3, se procedió a optimizar los parámetros obtenidos. Para esto, se utilizó el método taguchi, mediante el cual se analizaron los 4 factores que influyen en la calidad del proceso: Potencia de arco, tiempo de fusión, Z push y tiempo de prefusión. En la tabla 2 se observan los factores estudiados, sus respectivos niveles y el código con que se identificarán.

Tabla 2: Factores del proceso y niveles

Factores del proceso	Identificación	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3
Potencia de arco	A	91	96	101
Tiempo de fusión	B	750	1150	1450
Z push	C	11	15	17
Tiempo de prefusión	D	180	200	240

Luego, se seleccionó un arreglo ortogonal L9 para la matriz interna presentado en la tabla 3, permitiendo estudiar los cuatro factores a tres niveles cada uno mediante minitab. Finalmente, al obtener los mejores parámetros, se procedió a fabricar un interferómetro.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

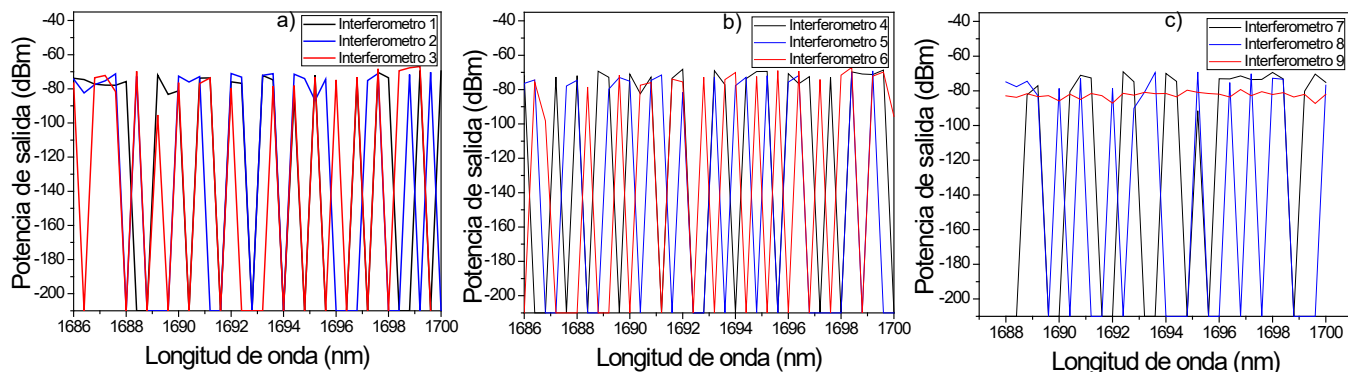


Figura 3: Espectro óptico de interferómetros MZ

En la figura 3 se puede observar la potencia de salida de cada interferómetro con respecto a la longitud de onda, mediante las cuales se obtuvieron las pérdidas de cada dispositivo teniendo en cuenta que la potencia inicial del espectro óptico es de 68 dBm.

Tabla 3: Arreglo ortogonal L9 para el método de Taguchi y pérdidas de potencia de cada MZI

MZI	A	B	C	D	Pérdidas (dBm)	Relación S/R	Media
1	1	1	1	3	1.319	-2,4049	1,319
2	3	2	3	1	3.058	0,4822	0,946
3	3	3	3	2	0.266	-0,7724	1,093
4	2	3	2	3	0.208	13,6387	0,208
5	3	2	2	3	1.086	-7,0937	2,263
6	1	3	1	1	0.946	-9,7087	3,058
7	3	2	2	2	1.401	11,5024	0,266
8	1	3	3	2	1.093	-0,7166	1,086
9	2	1	1	3	2.263	-2,9288	1,401

En la tabla 3 se puede ver el arreglo experimental seleccionado junto con los resultados obtenidos, y los valores de la media y la razón señal-ruido correspondiente.

Tabla 4: Tabla de respuesta para medias

Nivel	A	B	C	D
1	1,821	1,360	1,926	2,002
2	0,804	1,158	0,9123	0,8150
3	1,1420	1,3613	1,0417	1,2978
Delta	1,0165	0,2029	1,0137	1,1870
Clasificación	2	4	3	1

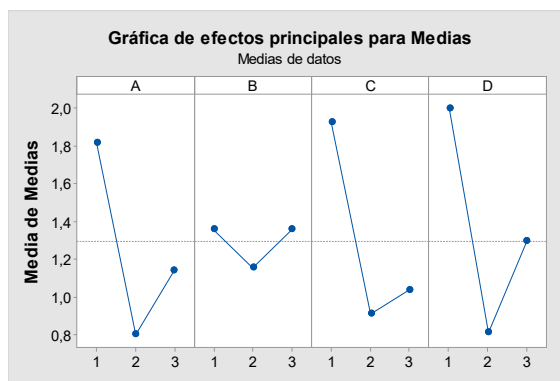


Figura 4: Efectos de cada parámetro sobre la media

Los resultados presentados en la tabla 4 y figura 4, permitieron observar que los factores que mayor efecto tienen sobre la media de datos son el tiempo de pre-fusión y la potencia de arco, así como permitieron establecer los parámetros óptimos de fabricación. Como consecuencia, se fabricó un interferómetro con una potencia de arco de 96 dBm, tiempo de fusión de 1150 ms, Z push de 15 μm y tiempo de pre-fusión de 200 ms.

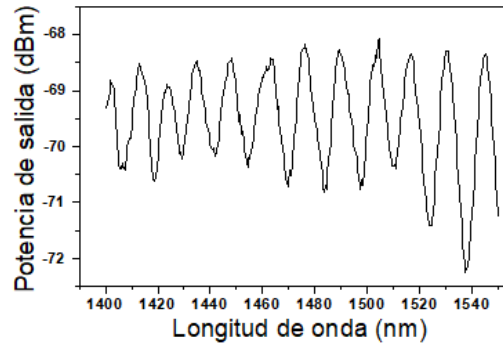


Figura 3: Espectro óptico de interferómetro MZI con parámetros óptimos de fabricación

CONCLUSIONES

Este documento propone un método para fabricar un sensor de fibra óptica basado en interferómetros de Mach-Zehnder mediante la técnica de variación de parámetros y el método de Taguchi. Por medio de los 4 parámetros de evaluación de calidad, se obtuvo la combinación óptima de factores de proceso A2B2C2D2 de acuerdo con el análisis de SNR. Teniendo en cuenta los resultados del método, se realizó la fabricación de un MZI con una potencia de arco de 96 dBm, tiempo de fusión de 1150 ms, Z push de 15 μm y tiempo de pre-fusión de 200 ms. El interferómetro fabricado obtuvo pérdidas de 0.09 dBm y permitió la medición de tensiones mecánicas, lo que posibilita emplear este dispositivo como sensor de alta calidad usando luz blanca.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, quiero agradecerle a Dios y a mis padres por permitirme disfrutar esta experiencia y guiarme en el camino trazado para mí.

A la Dra. Ruth Ivonne Mata Chávez, a quien le expreso mi más sincero agradecimiento por su tiempo y dedicación para llevar a cabo este proyecto.

Gracias a mis profesores y amigos, que me apoyaron en cada etapa de esta experiencia. Finalmente, a la Universidad de Guanajuato por permitirme ser partícipe del VI verano de la investigación científica y a la Universidad Simón Bolívar por su apoyo incondicional.

REFERENCIAS

- [1] W. Spillman y E. Udd, *Fiber optic sensors: an introduction for engineers and scientists*, New Jersey: John Wiley & Sons, 2011.
- [2] Z. Tian y S. S.-H. Yam, «In-line abrupt taper optical fiber Mach-Zehnder Interferometric strain sensor,» *IEEE Photonics Technology Letters*, vol. 21, n° 3, pp. 161-163, 2008.
- [3] A. M. Vengsarkar, J. R. Pedrazzani, J. B. Judkins, P. J. Lemaire, N. S. Bergano y C. R. Davidson, «Long-period fiber-grating-based gain equalizers,» *Optics Letters*, vol. 21, n° 5, pp. 336-338, 1996.

- [4] E. Huerta-Mascotte, J. M. Sierra-Hernandez, R. I. Mata-Chavez, D. Jauregui-Vazquez, A. Castillo-Guzman, J. M. Estudillo-Ayala, A. D. Guzman-Chavez y R. Rojas-Laguna, «A core-offset Mach Zehnder Interferometer based on a non-zero dispersion-shifted fiber and its torsion sensing application,» *Sensors*, vol. 16, nº 6, p. 856, 2016.
- [5] R. P. Murphy, S. W. James y R. P. Tatam , «Multiplexing of fiber-optic long-period,» *Journal of Lightwave Technology*, vol. 25, nº 3, pp. 825-829, 2007.
- [6] L. R. Villareal, *Sistemas de comunicación a través de fibras ópticas*, San Nicolas de los Garza: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1997.
- [7] A. B. Hernandez, M. d. I. P. Guillon y L. A. Garcia, «La metodología de Taguchi en el control estadístico de la calidad,» *Escuela de Perfeccionamiento en Investigación Operativa*, vol. 23, nº 37, pp. 65-83, 2015.
- [8] H. Yu, Q. Huang y J. Zhao, «Fabrication of an optical fiber micro-sphere with a diameter of several tens of micrometers,» *Materials*, vol. 7, nº 7, pp. 4878-4895, 2014.