

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

SENSOR DE CURVATURA BASADO EN UNA FIBRA DE CRISTAL FOTÓNICO DOBLE NÚCLEO CON PERFIL CHIRPADO

FREIMAN ANDRÉS GÓMEZ CALDERÓN

TECNOLOGÍA EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. ERICK ESTEFEN REYES VERA

**INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO
COLOMBIA
2016**

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

Se diseñó un sensor de curvatura empleando una fibra de cristal fotónico doble núcleo con perfil chirpado de los agujeros a lo largo de la sección transversal, buscando obtener un sistema de sensado altamente sensible y compacto a la hora de determinar pequeñas variaciones en desplazamiento. Para ello, se utilizó el software COMSOL Multiphysics para diseñar, simular y analizar el comportamiento elasto-óptico de la fibra de cristal fotónico propuesta en este trabajo. Apoyados en el método de elementos finitos vectorial se realizó un análisis de la sensibilidad del sensor cuando éste era sometido a diferentes curvaturas; adicionalmente fue necesario realizar un análisis de curvatura en diferentes direcciones debido a la no simetría de la fibra empleada, lo cual a su vez arrojó nuevos avances en esta tecnología, ya que gracias a la particularidad de la estructura propuesta es posible medir e identificar la dirección de la curvatura.

Palabras clave: **Fibra de cristal fotónico, Sensor, Curvatura.**

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Deseo agradecer a mi familia, por el apoyo incondicional y por sus consejos, gracias a ellos este logro fue posible, particularmente a mi hermano quien compartió sus herramientas tecnológicas las cuales me ayudaron a realizar tareas que solo eran posibles en la universidad. Asimismo, expresar mi gratitud al estudiante Juan Esteban Úsuga por sus aportes y críticas constructivas. Al docente Erick Reyes Vera como docente tutor que en su calidad tanto profesional como humana motivaron este trabajo con su contribución y asesoría intelectual los cuales dieron fundamentos para la realización de este proyecto.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

PCF Fibra de cristal fotónico

DC-PCF Fibra de cristal fotónico doble núcleo

FEM Método de elementos finitos

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	6
2. MARCO TEÓRICO	8
2.1 FIBRA ÓPTICA.....	8
2.2.1 Núcleo.....	8
2.2.2 Revestimiento.....	8
2.2.3 Recubrimiento.....	8
2.2 FIBRA MICROESTRUCTURADA.....	9
2.3 TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA.....	10
2.4 PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA FIBRA ÓPTICA.....	11
2.4.1 Constante de propagación $[\beta]$	11
2.5 TEORÍA DE MODOS ACOPLADOS.....	11
2.6 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM).....	13
3. METODOLOGÍA.....	14
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	20
5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO	28
REFERENCIAS	29
APÉNDICE A.....	30
APÉNDICE B.....	31
ANEXOS.....	32

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, la fibra óptica ha venido revolucionando el mundo de las telecomunicaciones, mejorando de manera abismal los tiempos de transmisión, aumentando la velocidad y la eficacia de los datos. Pero hoy en día no solo se usa para transmisión de datos, también es empleada para desarrollar sensores ópticos altamente eficientes y compactos que han revolucionado el mercado. En este trabajo se pretende simular una fibra de cristales fotónicos doble núcleo, que al ser curvada presenta ciertas características que no se pueden encontrar en las fibras ópticas estándar; como la alta sensibilidad y el acoplamiento de la luz a través de dos núcleos permitiendo el desarrollo de acopladores ópticos. (D. Chen, 2011)

La industria cada vez es más exigente en cuanto a la precisión, estabilidad y confiabilidad que deben poseer este tipo de dispositivos, ya que se le han dado diferentes usos: para medidas de presión, temperatura, nivel de fluidos y masa; incluso han sido de gran utilidad en brazos robóticos y dispositivos utilizados en el área de la salud (Yanhui Qi, 2014). Por esta razón es indispensable que los resultados entregados por este tipo de sensores sean precisos y confiables.

Gracias al desarrollo de las fibras microestructuradas, se han logrado grandes avances, los cuales han permitido excelentes propiedades ópticas en birrefringencia, debido a esto se ha alcanzado precisión y sensibilidad en los sensores fabricados con este tipo de fibra. (D. Chen, 2011)

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

En este trabajo se diseñó una fibra de cristal fotónico doble núcleo con perfil chirpado; para analizar el modo de acoplamiento entre los dos núcleos de la fibra propuesta, la cual es sensible a la dirección en la que es curvada.

Se analiza las características de curvatura en la fibra, incluyendo índices efectivos, longitud de acoplamiento, transmitancia dependiente de la variación en la longitud de onda y la sensibilidad que hay en cada caso de curvatura, ya que de esta depende la capacidad de detectar pequeños cambios.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que opera a diferentes frecuencias, que consiste en un material cilíndrico transparente y largo el cual confina y propaga la luz. Básicamente la fibra óptica está compuesta por tres capas; el núcleo, el revestimiento y el recubrimiento.

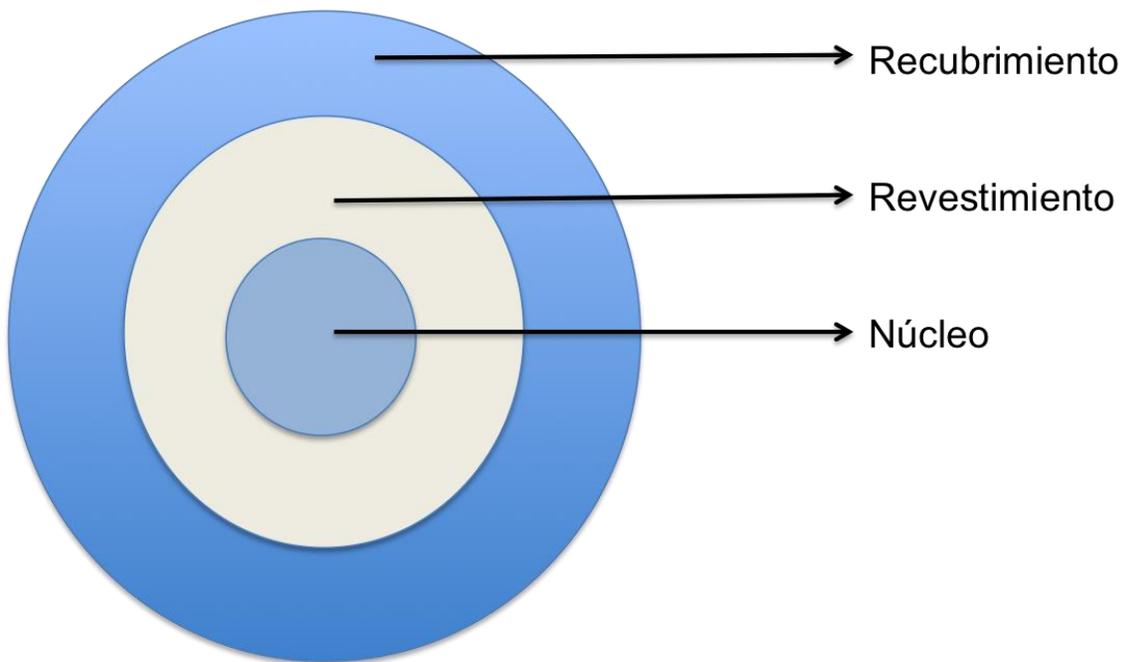


Figura 1. Estructura general de una fibra óptica convencional.

2.2.1 Núcleo: El núcleo está conformado generalmente por vidrio de sílice (combinación de dióxido de sílice, cuarzo fundido o plástico). El núcleo es el encargado de llevar la luz. Su tamaño puede variar dependiendo del tipo de fibra óptica; para fibras monomodo el diámetro puede ser entre 8 y 10 μm , y para fibras multimodos entre 50 y 10 μm .

2.2.2 Revestimiento: El revestimiento está fabricado al igual que el núcleo por vidrio de sílice, pero éste difiere ligeramente en su composición, debido a que se le agrega pequeñas

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

cantidades de germanio o boro, para cambiar el índice de refracción y así, dar lugar a las propiedades de confinamiento para la propagación de la luz a través del núcleo. El diámetro del revestimiento puede ser de 120 μm y 140 μm .

2.2.3 Recubrimiento: El recubrimiento es un plástico o cubierta acrílica, encargado de dar protección al revestimiento, normalmente esta coloreado, usando códigos de colores estándar, para identificar la fibra fácilmente; el recubriendo pueden tener valores de 250 μm y 500 μm . (Chomycs, 1998)

2.2 FIBRA MICROESTRUCTURADA

Conocida como fibra de cristal fotónico, es una fibra óptica que está compuesta por diferentes agujeros huecos estructurados periódicamente, los cuales pueden guiar la luz. Entre sus propiedades podemos destacar; que puede presentar rangos de frecuencia en los que la propagación de la radiación electromagnética no está permitida. (Dahl, 2011)

La primera vez que se fabricó una fibra microestructurada fue en los años 90's y en 1995 en Southampton, Inglaterra, se reportó la primera fibra de cristal fotónico con agujeros periódicos alrededor del núcleo. Se le da el nombre de cristal fotónico, ya que tiene un efecto similar al efecto fotónico del bandgap en los cristales. A diferencia de las fibras ópticas convencionales, las fibras de cristal fotónico poseen una característica especial, la cual es la alta flexibilidad en su diseño, es decir, que se puede cambiar la distancia de separación de los agujeros o el diámetro de los mismos para dar diferentes propiedades ópticas a la fibra. (J.C. Knight, 1996)

Las PCF o fibras microestructuradas se caracterizan por la distribución de los agujeros, que pueden ser elípticos o circulares, por el paso entre los agujeros (Λ) y el diámetro de los agujeros (d) (Maya, 2013), aunque en un inicio los agujeros eran de aire, hoy pueden ser infiltrados con diferentes tipos de líquidos, dando así, nuevos avances y beneficios que no se pueden obtener con la fibra convencional. Todas estas características hacen que este tipo de fibra se pueda fabricar y diseñar de acuerdo a las necesidades del mercado, desarrollando dispositivos más compactos, eficientes y de bajo consumo de energía.

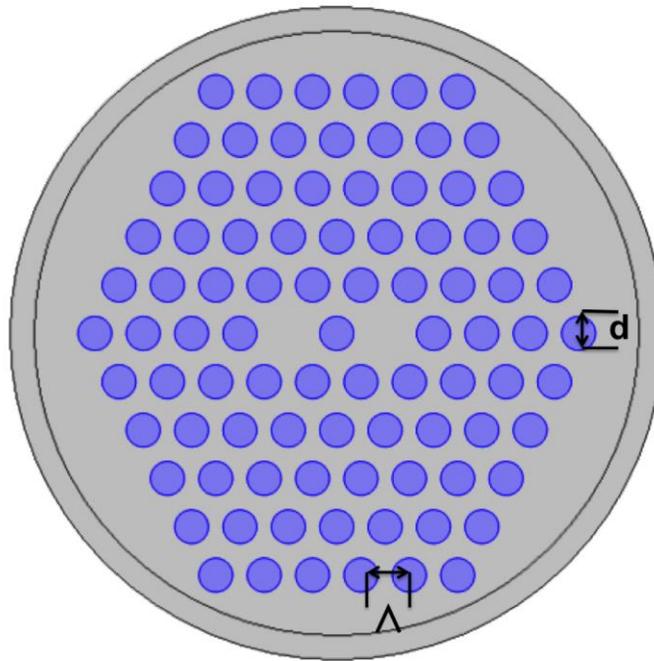


Figura 2. Estructura de una Fibra de cristal fotónico doble núcleo.

2.3 TEORÍA ELECTROMAGNÉTICA

Las ondas electromagnéticas describen la luz y su propagación, reflexión, refracción e interacción con el medio; velocidad de propagación, polarización, fase, intensidad de la luz, absorción y dispersión.

La propagación de las ondas electromagnéticas está regida por la ecuación de onda:

$$\nabla^2 E = \mu\epsilon \frac{\partial^2 E}{\partial t^2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

donde $\mu\epsilon$ define la velocidad de propagación.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.4 PARÁMETROS IMPORTANTES EN LA FIBRA ÓPTICA

2.4.1 Constante de propagación [β]: E el componente correspondiente al vector de onda en la dirección de propagación. Y está definida por la siguiente ecuación:

$$\beta = K_0 n_{eff} \quad \text{Ecuación 2.}$$

β : Constante de propagación

n_{eff} : Índice efectivo

$$k_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Ecuación 3.}$$

k_0 : Vector de onda

λ : Longitud de onda

2.5 TEORÍA DE MODOS ACOPLADOS

Cuando se tiene dos guías de onda que están paralelas y están muy cercanas entre sí, el campo evanescente del haz de luz logra pasar a la otra guía de onda, de este modo, la energía se transfiere entre las dos guías de onda. Esta transferencia de energía se genera periódicamente, en el caso de una fibra doble núcleo, cuando se inyecta luz por uno de sus núcleos, ésta luz pasa hacia el otro núcleo, así, la distancia que se necesita para que la potencia óptica se transfiera al otro núcleo se le conoce como longitud de batido o longitud de acoplamiento (Maya, 2013)

La longitud de acoplamiento está definida por la ecuación 4.

$$Lc = \frac{\lambda}{|n_e - n_o|} \quad \text{Ecuación 4.}$$

λ : Longitud de onda de operación

n_e : Índice efectivo del modo par

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

no: Índice efectivo del modo impar

Cuando los núcleos de la fibra son monomodo, el número de supermodos por polarización es igual al número de los núcleos que tiene la fibra, es decir, en una fibra doble núcleo puede propagarse dos supermodos, llamados modos pares y modos impares, en la que la sumatoria de los modos de propagación serán igual al campo total. (J. Li, 2009)

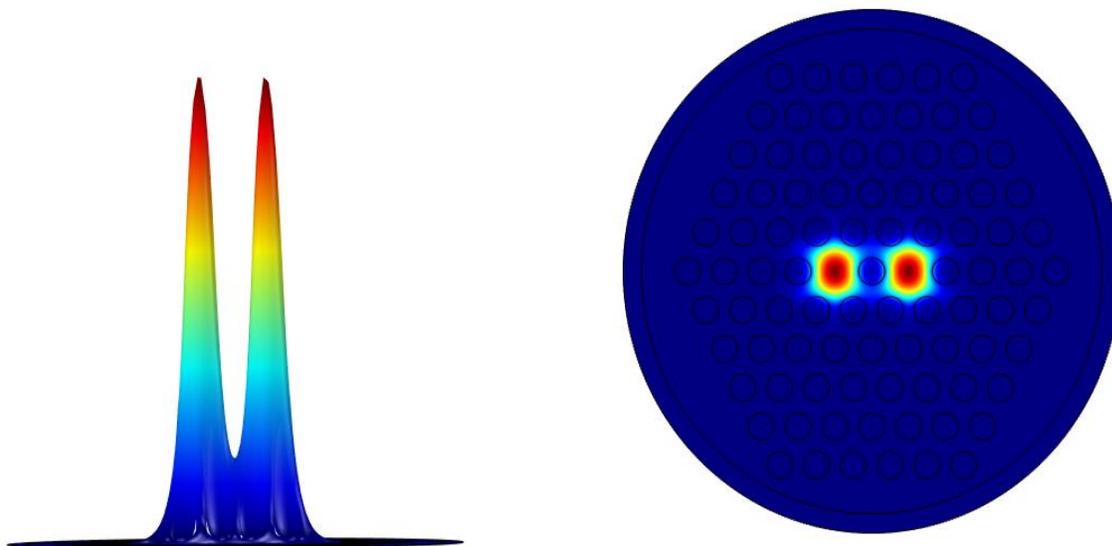


Figura 3. Modo par

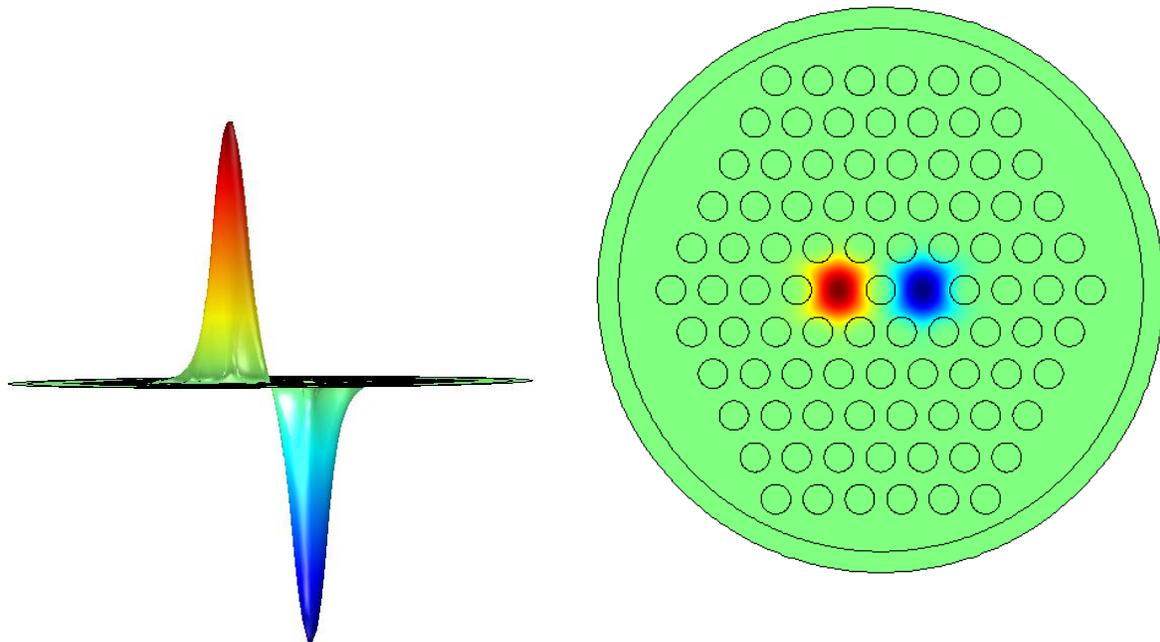


Figura 4. Modo impar.

2.6 MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS (FEM)

El método de elementos finitos es utilizado para la resolución de problemas con geometrías complicadas, convirtiendo un problema diferencial en un problema algebraico que sea equivalente. Este método funciona dividiendo o discretizando el problema en varios elementos, tratando a cada uno separadamente; la solución del problema de cada elemento se da en términos de valores en las esquinas de los elementos, conocidos como nodos.

El método de elementos finitos en su análisis tiene implícitamente tres aproximaciones, que están relacionadas con la definición del dominio, tanto físico como geométrico, con la discretización de las ecuaciones gobernantes y con los diferentes algoritmos que se emplean en la solución del sistema de ecuaciones algebraicas. (Fonseca, 2011)

Ese método ha sido de gran utilidad en diferentes aplicaciones, generalmente se ha destinado su uso para la resolución de problemas de electromagnetismo y multifísicas. (C.J. Reddy, 1994)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para comprender y desarrollar este trabajo fue necesario realizar una validación basada en el artículo “*Bending analysis of a dual-core photonic crystal fiber*” el cual adicionalmente, fue el documento base para poder cumplir el objetivo de este proyecto. El artículo propone una DC-PCF con los siguientes parámetros; Λ igual a $2\ \mu\text{m}$ y un diámetro en los agujeros de aire de $1,4\ \mu\text{m}$. En esta fibra se realizó un análisis de curvatura entre 0 y $20\ \text{m}^{-1}$, a una longitud de onda de operación de $1,55\ \mu\text{m}$; cabe aclarar que los materiales utilizados fueron la sílice y el aire, con índices de refracción de $1,44$ y 1 respectivamente. Como resultados se obtienen gráficas que muestran la variación que hay en la longitud de acoplamiento cada vez que la curvatura es mayor.

Para poder realizar la validación fue necesario investigar sobre cada uno de los factores relevantes para el desarrollo de la misma, mediante libros y bases de datos electrónicas, en las cuales se encontraron diferentes artículos relacionados con la aplicación de curvatura a la fibra para el diseño de sensores ópticos. La curvatura es el factor más importante ya que esta define un índice de refracción resultante pues la fibra, al ser curvada, gana densidad en la zona interna y pierde densidad en la zona externa de la curvatura, haciendo una pequeña variación en el índice de refracción original, esta variación del índice está definida por las siguientes ecuaciones:

$$n_{e(x,y)}^2 = n_{(x,y)}^2 \left(1 + \frac{x}{R} \right) \quad \text{Ecuación 5.}$$

Esta ecuación es usada cuando la fibra es curvada en sentido horizontal.

n_e : Índice efectivo

n : Índice de refracción del material

R : Radio de curvatura

Cuando la fibra es curvada en dirección vertical se utiliza la ecuación.

$$n_{e(x,y)}^2 = n_{(x,y)}^2 \left(1 + \frac{y}{R} \right) \quad \text{Ecuación 6.}$$

Estas ecuaciones pueden ser reescritas teniendo en cuenta la ecuación 7 (Ecuación de curvatura).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$C = \frac{1}{R} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Entonces, las ecuaciones resultantes para la variación del índice de refracción son:

$$n_{e(x,y)}^2 = n_{(x,y)}^2 (1 + Cx) \quad \text{Ecuación 8.}$$

$$n_{e(x,y)}^2 = n_{(x,y)}^2 (1 + Cy) \quad \text{Ecuación 9.}$$

Una vez definidos los parámetros para este análisis, se utiliza el software COMSOL MULTIPHYSICS, el cual permite hacer un barrido paramétrico teniendo como variable la curvatura que se le aplicará a la fibra, donde las ecuaciones para la variación de los índices son utilizadas en la descripción del índice efectivo de la sílice, ubicada en la zona de tareas del software, en materiales.

Al obtener los resultados de la simulación se lleva a cabo el análisis de la longitud de acoplamiento, usando la ecuación 4.

Al analizar minuciosamente los diferentes resultados obtenidos en el software, se tiene en cuenta la polarización del campo, los supermodos y los índices, pues para que haya un acoplamiento de modos es necesario la aparición de los modos par e impar. Una vez realizados los cálculos, se procede a realizar la gráfica que muestra la variación de la longitud de acoplamiento dependiente de la curvatura, obteniendo así resultados similares al artículo validado.

Una vez validado el artículo se procedió a diseñar una fibra de cristal fotónico con configuración chirpada.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

▼ Tamaño y forma

Radio: μm

Ángulo de sector: deg

Figura 5 (a). Parámetro agujero más grande en la línea 1.

▼ Tamaño y forma

Radio: μm

Ángulo de sector: deg

Figura 5 (b). Parámetro agujero más pequeño en la línea 1.

▼ Tamaño y forma

Radio: μm

Ángulo de sector: deg

Figura 5 (c). Parámetro agujero más grande en la línea 2.

▼ Tamaño y forma

Radio: μm

Ángulo de sector: deg

Figura 5 (c). Parámetro agujero más pequeño en la línea 2.

En la figura 5 se muestran cómo se asignó el radio a los diferentes agujeros para lograr la configuración chirpada donde los valores d_{menor} y d son constantes (tabla 1). En la figura 5(a) y 5(b) corresponden a la asignación de la primera fila, el valor 28 disminuye dos veces para cada agujero hasta llegar al valor 0, como se ve en la figura 5(b). En la segunda línea se usa el mismo método, con la diferencia que el valor mayor cambia por 27 y disminuye dos veces cada agujero hasta llegar al valor 1. La línea 1 y la línea 2 se interpolan para lograr la configuración deseada (figura 6).

Pitch (Λ)	4 [μm]
d_menor	0.6 [μm]
d	0.08571428571 [μm]

Tabla.1 Parámetros geométricos utilizados en el diseño de esta fibra

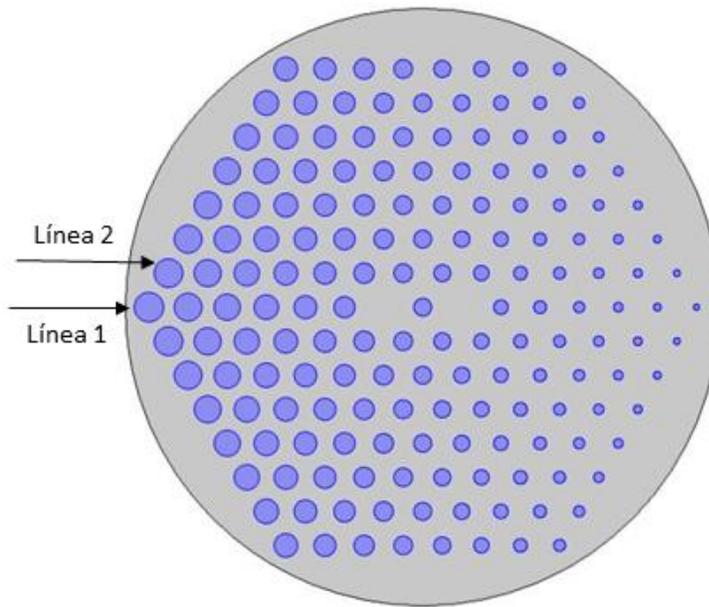


Figura 6. Estructura de la DC-PCF con configuración chirpada.

El software COMSOL MULTIPHYSICS, permite modificar y agregar nuevos materiales, en nuestro caso, a los agujeros se les asignó un índice de refracción de 1.4 y al resto de la estructura un índice de refracción resultante de la ecuación de Sellmeier. En el índice de refracción de los agujeros fue necesario realizar algunas pruebas variando el índice de refracción para poder obtener resultados que permitan el estudio de los cambios que recibe la fibra de acuerdo a la curvatura aplicada.

Para poder obtener el resultado esperado, se realizó la discretización de la geometría o enmallado, haciendo que los núcleos de la fibra tengan una sección más densa. De tal

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

manera se garantiza que la luz sea guiada en la zona esperada. Fue necesario realizar varias pruebas con el enmallado, ya que en el inicio no daban soluciones a las esperadas.

Una vez realizado el enmallado correcto, se prosiguió a realizar el análisis de curvatura en todas las direcciones, realizando un estudio de curvatura desde 0 a 10 m^{-1} , a una longitud de onda de operación de $1,55 \text{ }\mu\text{m}$.

Finalmente se estudia la potencia normalizada de salida mediante un método que está basado en la medida del espectro, es decir, se toma una longitud de referencia, en este caso 1 [cm] y se aplica la ecuación 10. Este método nos permite observar los desplazamientos de los picos en cada curvatura aplicada a diferentes longitudes de onda, y así determinar la sensibilidad de la fibra debido a la curvatura.

$$P = \sin^2(Sz) \quad \text{Ecuación 10.}$$

Donde

$$S = \frac{|n_e - n_o| \pi}{\lambda} \quad \text{Ecuación 11.}$$

Y

z: Longitud de referencia (1 [cm])

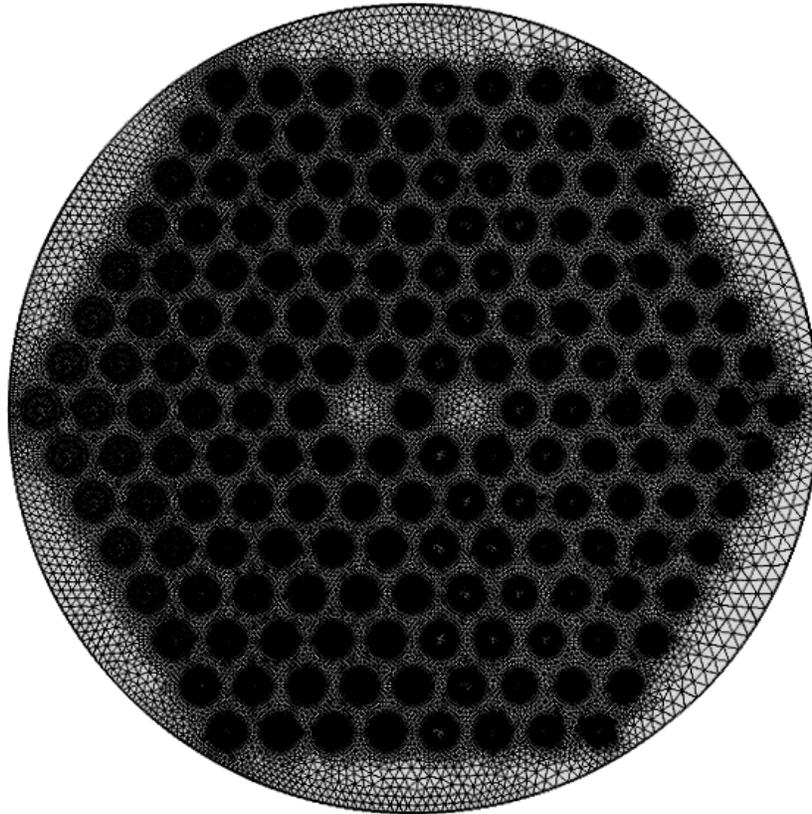


Figura 7. Enmallado final. DC-PCF con perfil chirpado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos en la simulación, fueron analizados cada uno de los modos, hallando los supermodos par e impar, para poder cumplir con la ecuación 4. Este estudio se realizó en ambas polarizaciones y analizando cada una de las direcciones de curvatura. Debido al diseño de la estructura, la forma de propagación nos muestra un comportamiento ambiguo de la longitud de acoplamiento para cada tipo de polarización Y dirección de curvatura.

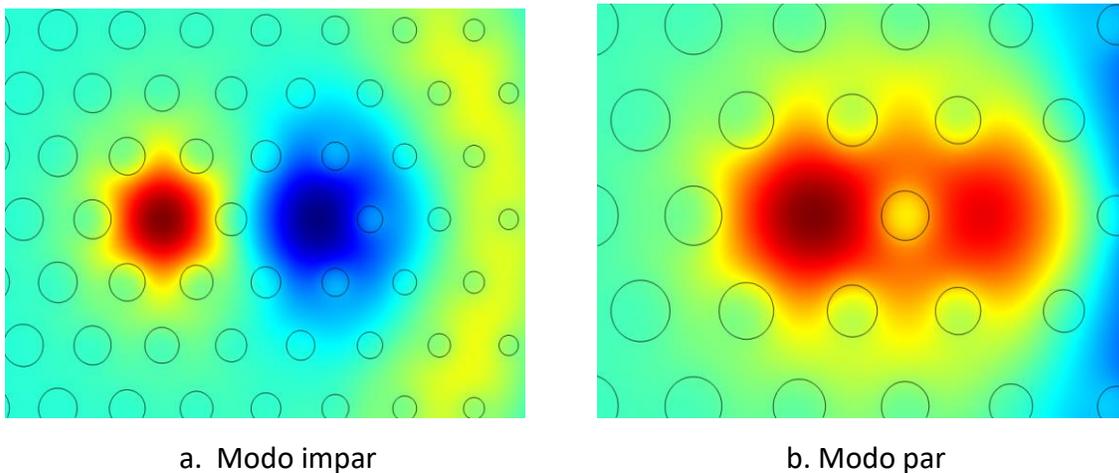


Figura 8. Modos para e impar para una curvatura en dirección X con polarización Y

Se puede apreciar en la Figura 8 la distribución del campo eléctrico de los supermodos par e impar cuando se curva en dirección X, como se mencionó anteriormente es necesario que haya la aparición de los modos par e impar para que se cumple la teoría de modos acoplados.

En la Figura 9 se obtiene las variaciones de la longitud de acoplamiento para las polarizaciones X y Y cuando la fibra es curvada en dirección X; para la polarización Y, se observa como la longitud de acoplamiento tiene una tendencia decreciente, lo cual es debido a que diferencia de los valores de los supermodos par e impar es mayor que la

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

polarización X. La longitud de acoplamiento en polarización Y, es menor en relación con la polarización X.

Para la polarización X se tiene que longitud solo varia $1,5e-5$ m, la gráfica muestra que a medida que se curva la fibra la longitud de acoplamiento disminuye, pero después de una curvatura de $5,5 \text{ m}^{-1}$ hay un cambio de tendencia y empieza a crecer dicha longitud de acople. Es decir que para valores de curvatura inferiores a $5,5 \text{ m}^{-1}$ se provoca que la energía escape más fácil de los núcleos e interactúe con mayor velocidad con el núcleo vecino. Sin embargo para curvaturas superiores a $5,5 \text{ m}^{-1}$ al parecer las pérdidas son muy grandes y esta interacción se dificulta más entre los dos núcleos, lo cual se ve reflejado en un leve incremento en la longitud de batido a partir de este punto.

En la Figura 10, se evidencia el comportamiento del sensor, cuando es curvado en dirección $-X$, los resultados muestran que para la polarización Y se tiene una longitud de acoplamiento mayor, y crece exponencialmente con la curvatura, la polarización X va decreciendo de acuerdo a la curvatura aplicada; la diferencia en los resultados obtenidos en las direcciones de curvatura X y $-X$, se debe a la estructura de la fibra, ya que como se puede observar en la Figura 6, la sección alrededor del núcleo derecho tiene mayor espacio debido al chirpado de la fibra, esto se debe a que los agujeros tienen un radio menor, entonces, cuando se curva en dirección X, el haz de luz tiene una mayor área de propagación haciendo que se esparza un poco y salga del núcleo generando cambios en las longitudes de acoplamiento; caso contrario sucede al curvarse en dirección $-X$, ya que al ser curvada, tiene un área menor alrededor del núcleo debido a que el radio de los agujero es mayor en el lado izquierdo, permitiendo un mejor confinamiento.

En la Figura 11 se ilustran los resultados obtenidos para la longitud de batido, cuando el sensor es flexionado en el eje Y (Los resultados obtenidos al flexionar en dirección Y u $-Y$ son exactamente igual gracias a la simetría de la estructura). Aquí, tenemos que las longitudes de acoplamiento decrecen en ambas polarizaciones, donde al igual que en los otros dos casos las longitudes de acople de las dos polarizaciones son diferentes, mostrando

que para el caso de la polarización Y son mayores las distancias que debe recorrer la radiación para acoplarse al otro núcleo.

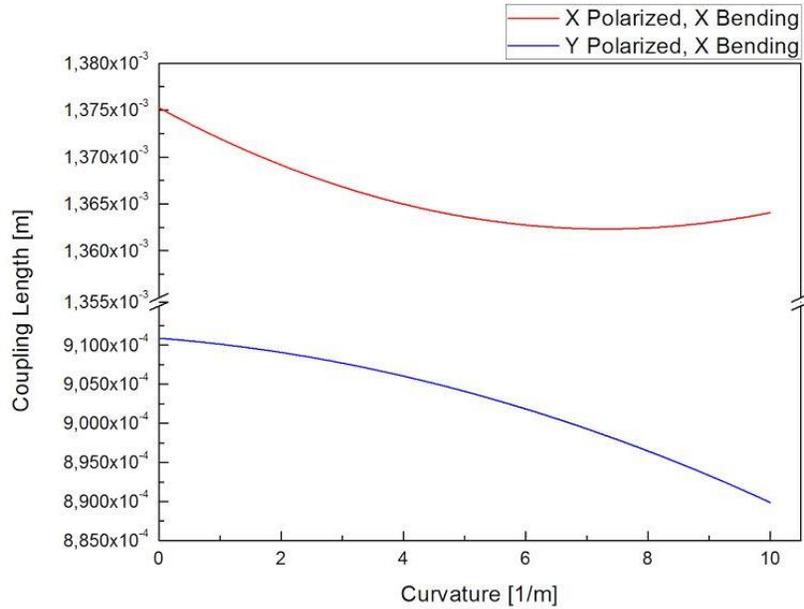


Figura 9. Longitud de acoplamiento para polarización X y Y, curvatura en dirección X.

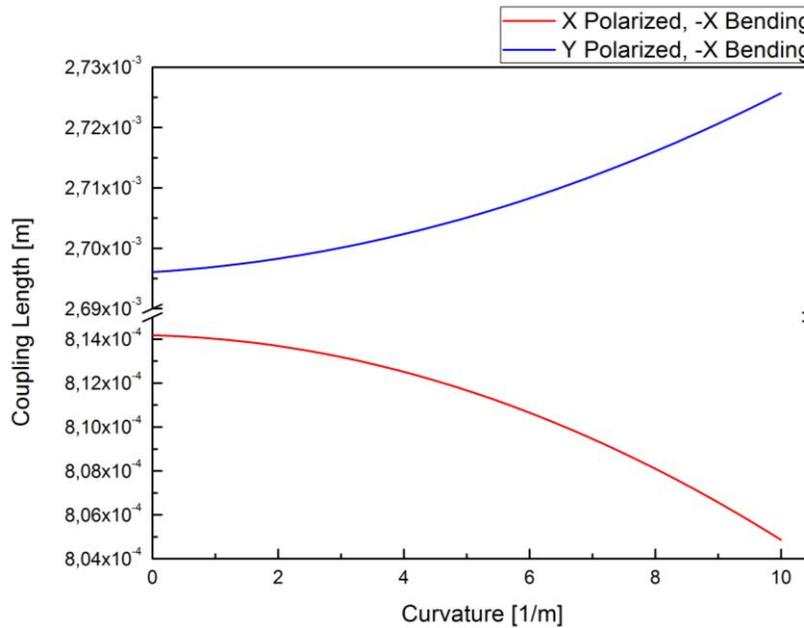


Figura 10. Longitud de acoplamiento para polarización X y Y, curvatura en dirección -X.

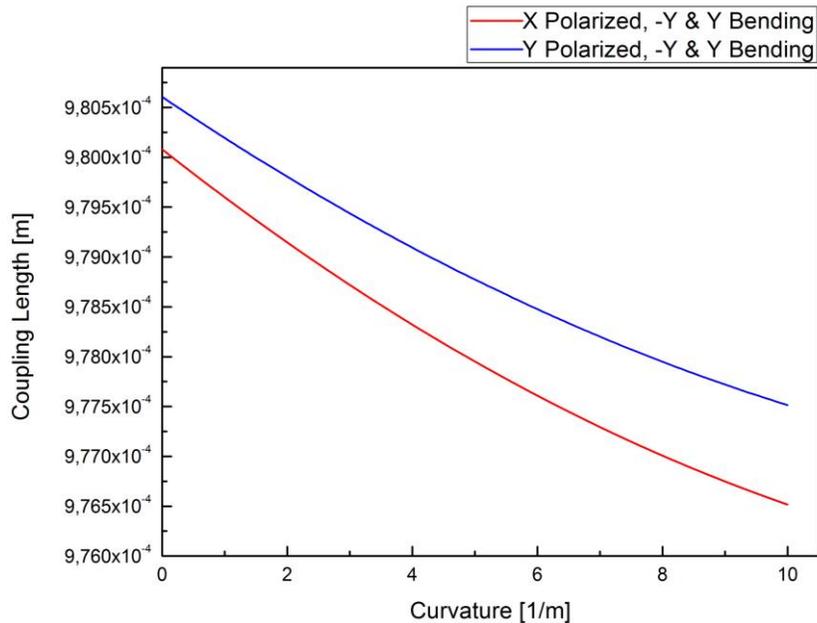


Figura 11. Longitud de acoplamiento para polarización X y Y, curvatura en dirección Y.

Al observar que la fibra curvada en dirección $-X$ y X tienen mejores resultados, se realizó un análisis de transmitancia en ambas direcciones de curvatura haciendo uso de la ecuación 10. La figura 12 muestra la curva de transmisión cuando la fibra es flexionada en la dirección $-X$ para la polarización en X , la cual genera un leve cambio en la longitud de onda cuando es curvada a 0, 2, 4, 7 y 10 m^{-1} , este cambio puede ser visto en la figura 12. Allí, es claro que se induce un corrimiento espectral de aproximadamente 14.5 nm. Ahora para el caso de la polarización en Y , de esta misma dirección de curvatura se puede observar que en la Figura 13 se genera un corrimiento aproximado de 18 nm. Estos cálculos fueron realizados para un sensor cuya longitud total es de tan solo 1 cm.

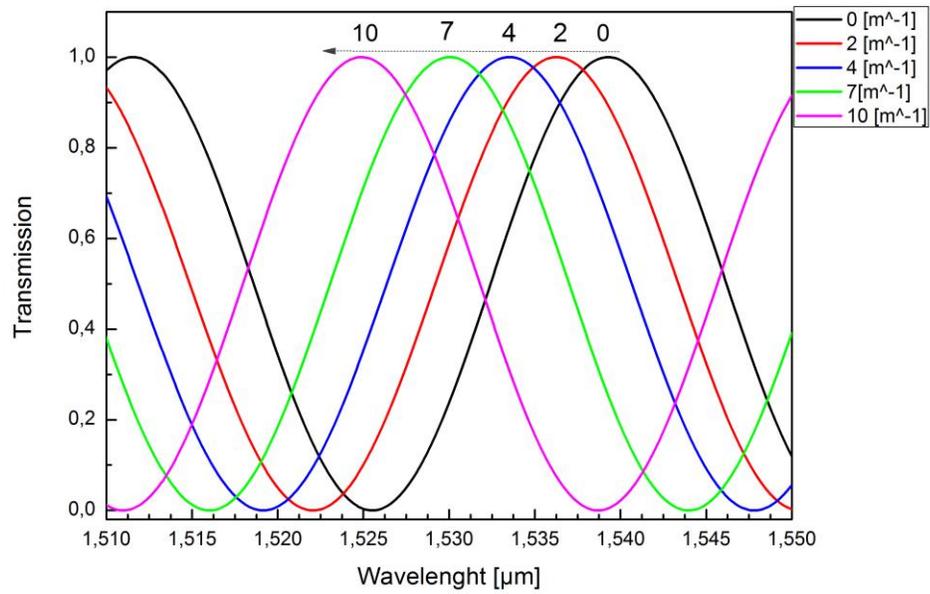


Figura 12. Transmitancia para la polarización X, curvatura -X

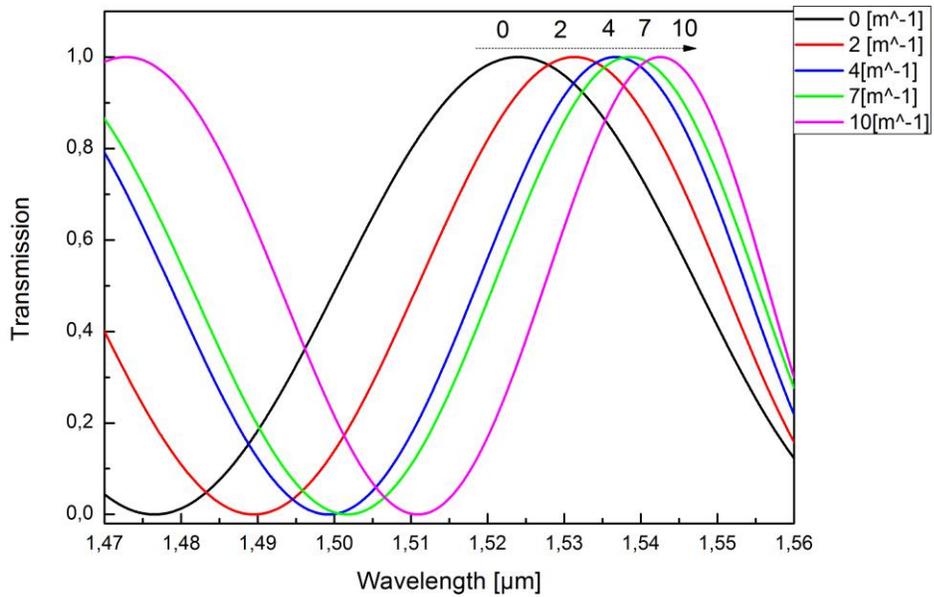


Figura 13. Transmitancia para la polarización Y, curvatura -X

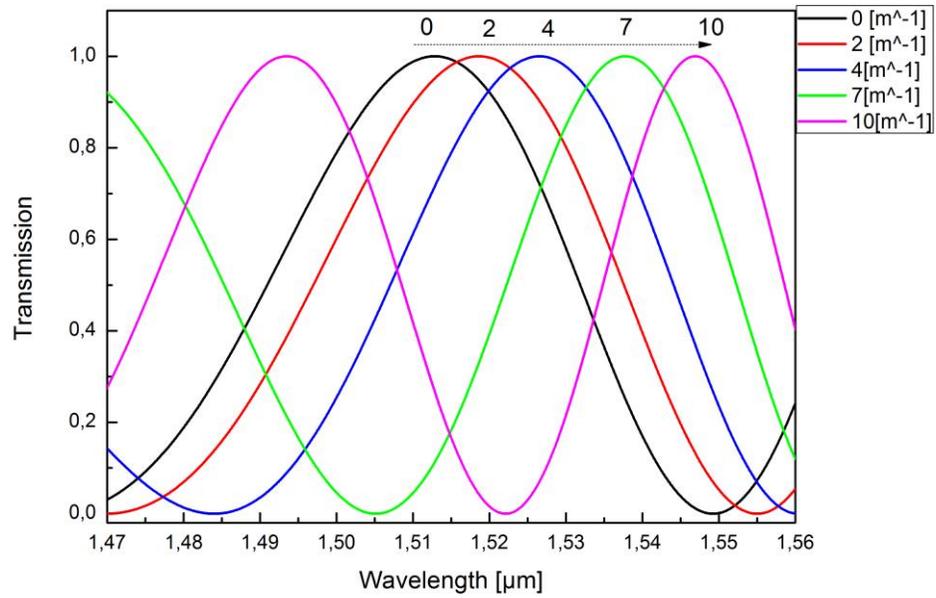


Figura 14. Transmitancia para la polarización X, curvatura +X

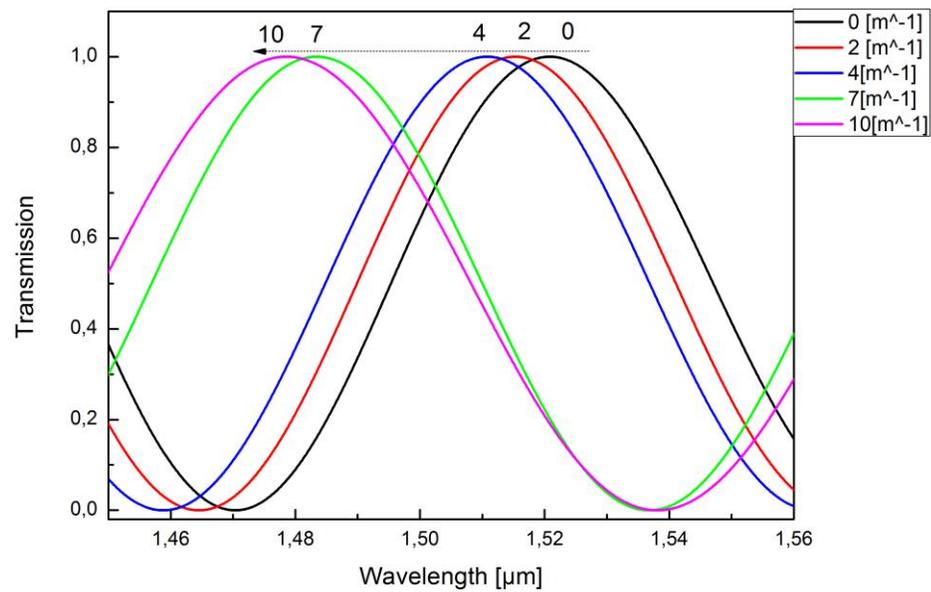


Figura 15. Transmitancia para la polarización Y, curvatura X

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Ahora cuando analizamos nuestro sensor al ser curvado en dirección +X. Obtenemos mayores cambios, pues por ejemplo al ser analizado el comportamiento cuando la luz esta linealmente polarizada en X, se obtuvieron los espectros ilustrados en la Figura 14, de los cuales podemos observar un corrimiento aproximado de 34 nm. Este corrimiento como puede verse es más del doble del obtenido en el caso en el cual el sensor fue flexionado en dirección -X (Polarización X). Adicionalmente, si se analizan la polarización en Y de este caso, se obtienen los espectros ilustrados en la Figura 15, donde claramente el corrimiento es muy superior a los casos ya presentados, llegando a tener corrimientos cercanos a 43 nm.

Por último, hemos resumido en la Figura 16, el corrimiento espectral vs la curvatura para el sensor cuando es curvado en dirección -X y +X, teniendo en cuenta las dos polarizaciones, ya que como es evidente de los resultados previamente explicados hay una diferencia por estado de polarización de la luz. Se puede apreciar los corrimientos espectrales que se dan en las longitudes de onda dependiente de la curvatura, el cambio en la longitud de onda se da en un rango de 1,477 μm hasta 1,5469 μm ; donde se puede ver la relación con la figura 10, donde la polarización Y aumenta su longitud de batido proporcionalmente con la curvatura en -X, y como la polarización X decrece inversamente proporcional a la curvatura, pero al ser curvada en dirección X pasa lo contrario, mostrando su relación con la figura 9. Los cambios en las longitudes de onda son relativamente pequeños, lo cual es ideal ya que permite detecciones en pequeños cambios. Al comparar la figura 9 y 10 donde el comportamiento de las diferentes polarizaciones dependiendo de la curvatura tienen el mismo comportamiento mostrado en la figura 16 evidencia la estrecha relación que existe entre la longitud de acoplamiento y el comportamiento en los cambios de la longitud de onda dependiente de la curvatura.

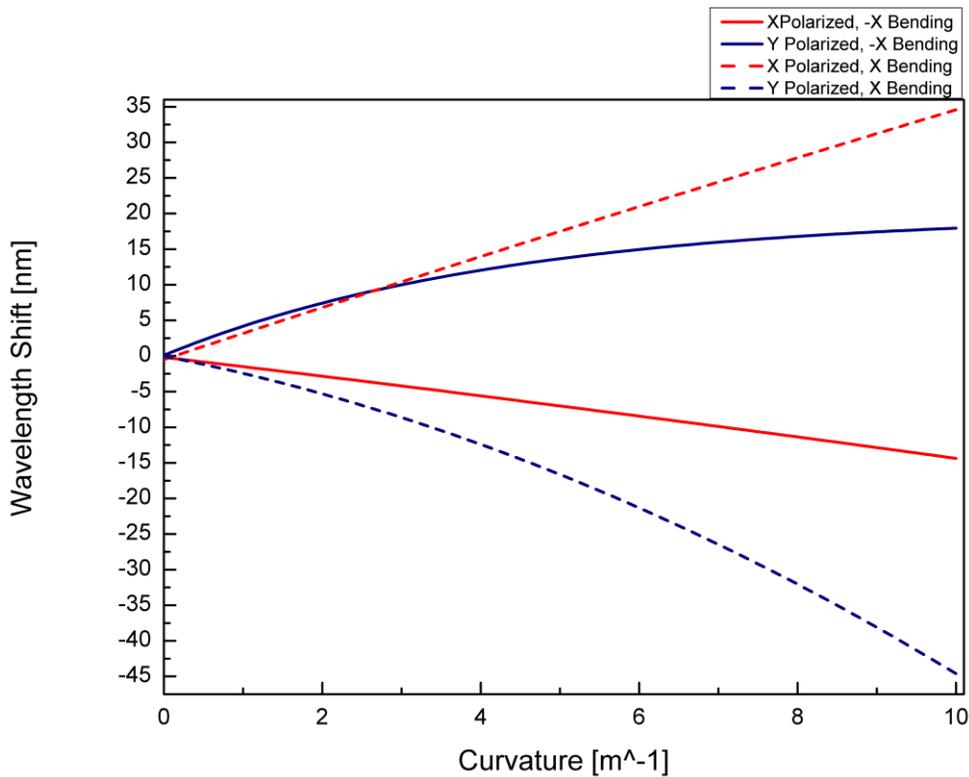


Figura 16. Análisis de sensibilidad de nuestro sensor cuando es curvado en las dos direcciones de X.

Para obtener datos más precisos de sensibilidad es necesario analizar los cambios en la longitud de onda y los cambios en la curvatura, expresada en la ecuación 12.

$$S = \frac{\Delta\lambda}{\Delta C} \quad \text{Ecuación 12.}$$

Dirección de Curvatura	Polarización	Sensibilidad [nm/m^{-1}]
-X	X	1.458255
-X	Y	1.860664
X	X	3,42474
X	Y	4,408046

Tabla 2. Valores de sensibilidad

Los resultados obtenidos en la tabla 2 al ser comparados con otro tipo de sensores ópticos muestran una mayor sensibilidad, ya que en otros estudios se encontraron sensibilidades entre $1,388 \text{ nm}/m^{-1}$ y $2,776 \text{ nm}/m^{-1}$. (D. Chen, 2011)

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Se diseñó una fibra de cristal fotónico doble núcleo con propiedades de sensado que permiten ser sensibles a la curvatura para una longitud de onda de 1,55 [μm]
- El estudio al sensor de curvatura basado en una fibra de cristal fotónico doble núcleo con perfil chirpado propuesta tiene propiedades especiales que permiten obtener un sensor más compacto capaz de captar pequeños cambios, con una capacidad de respuesta mayor, lo cual se debe a sus longitudes de acoplamiento en la dirección de curvatura $-X$ y X .
- La recomendación para la institución es incentivar los diferentes grupos de investigación y generar recursos que permitan el desarrollo práctico de este tipo de investigaciones. Ya que hubiera sido ideal la implementación física del trabajo investigativo realizado.
- El desarrollo de este trabajo investigativo aportó avances importantes para el desarrollo de nuevos diseños de sensores basados en fibra de cristales fotónicos, se desea seguir trabajando con el propósito de formar una línea de investigación que tenga un impacto a nivel mundial. Algunas ideas se basan en realizar cambios paramétricos en este diseño; buscando mejorar las capacidades elasto-ópticas para el desarrollo de sensores en diferentes ramas del conocimiento.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

REFERENCIAS

- C.J. Reddy, M. D. (1994). Finite Element Method for Eigenvalue Problems in Electromagnetics. *NASA Technical* , 38.
- Chomycs, B. (1998). *Instalaciones de fibra óptica: fundamentos, técnicas y aplicaciones*. España: McGraw-Hill.
- D. Chen, G. G. (2011). Bending analysis of a dual-core photonic crystal fiber. *Progress In Electromagnetics Research*, 120, 293-307.
- Dahl, W. L. (2011). *Photonic crystal: optical properties, fabrication and applications*. New York: Nova Science Publishers.
- Fonseca, Z. d. (2011). *El metodo de elementos finitos: una introduccion*. Maracaibo: Fondo editorial biblioteca Universidad Rafael Urdaneta.
- J. Li, K. D. (2009). Design of a single-polarization, single-mode photonic crystal fiber double-core coupler. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 120, 490-496.
- J.C. Knight, T. B. (1996). All silica singles mode optical fiber with photonic crystal cladding,. *Optics Letters*, 21.
- Maya, Y. C. (2013). *Dispositivo completamente de fibra óptica basado en fibra de cristal fotónico con electrodos integrados e infiltrada selectivamente con cristales líquidos*. Universidad Nacional de Colombia. Medellin: UNAL.
- Yanhui Qi, L. M. (2014). Highly sensitive curvature sensor based on a multicladdin fiber sandwiched dual no-coe fiber structure. *Applied Optics*, 53(28), 1.

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE A

CÁLCULO LONGITUD DE BATIDO.

$$Lc_0 = \frac{0,0000155}{|1,439504234 - 1,438377289|} = 0,0013754$$

$$Lc_1 = \frac{0,0000155}{|1,439516118 - 1,438386323|} = 0,00137193$$

$$Lc_2 = \frac{0,0000155}{|1,439527966 - 1,438395788|} = 0,001369043$$

$$Lc_3 = \frac{0,0000155}{|1,439539786 - 1,438405675|} = 0,001366709$$

$$Lc_4 = \frac{0,0000155}{|1,439551583 - 1,438415977|} = 0,00136491$$

$$Lc_5 = \frac{0,0000155}{|1,439563365 - 1,438426683|} = 0,001363616$$

$$Lc_6 = \frac{0,0000155}{|1,439575136 - 1,438437781|} = 0,001362811$$

$$Lc_7 = \frac{0,0000155}{|1,439586901 - 1,438449255|} = 0,001362462$$

$$Lc_8 = \frac{0,0000155}{|1,439598668 - 1,438461092|} = 0,001362546$$

$$Lc_9 = \frac{0,0000155}{|1,43961044 - 1,438473275|} = 0,001363039$$

$$Lc_{10} = \frac{0,0000155}{|1,439622224 - 1,438485787|} = 0,001363912$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

APÉNDICE B

CÁLCULOS DE SENSIBILIDAD.

$$S = \frac{1,53938053 - 1,52479798}{10} = 1,458255 \text{ [nm/m}^{-1}\text{]}$$

$$S = \frac{1,5424861 - 1,52387946}{10} = 1,860664 \text{ [nm/m}^{-1}\text{]}$$

$$S = \frac{1,54693616 - 1,51268876}{10} = 3,42474 \text{ [nm/m}^{-1}\text{]}$$

$$S = \frac{1,52121839 - 1,47713793}{10} = 4,408046 \text{ [nm/m}^{-1}\text{]}$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ANEXOS

1. ACTA DE ENTREGA

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES Andrés Gómez

FIRMA ASESOR Erick Peces Vera

FECHA ENTREGA: 16 Nov 2016

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2. REGISTRO DE HORAS

 Institución Universitaria	MODALIDAD TRABAJO DE GRADO PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM		Código	FDE 146
	Registro de actividades y cumplimiento de horas / Talleres o Laboratorios de DOCENCIA		Versión	02
			Fecha	2015-09-30

Documento de identidad:	1017186788		
Nombre completo del estudiante:	FREIMAN ANDRÉS GÓMEZ CALDERÓN		
Programa académico ITM:	TECNOLOGÍA EN TELECOMUNICACIONES		
Nombre completo del Docente Asesor:	ERICK REYES VERA		
Fecha de iniciación del producto (aaaa/mm/dd):	2016/08/08	Fecha de terminación del producto (aaaa/mm/dd):	2016/11/11
Nombre Taller o Laboratorio:	LABORATORIO DE ÓPTICA, FOTÓNICA Y VISIÓN ARTIFICIAL		
Ubicación:	PARQUE I, SÓTANO 2.		
Campus:	FRATERNIDAD		

Fecha			Actividad desempeñada por el estudiante	Hora ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboratorista	Firma Estudiante
A	M	D						
16	8	9	Investigación sobre fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	11	Investigación sobre fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	15	Investigación sobre fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	16	Investigación sobre fibra curvada	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	18	Investigación; funcionamiento Comsol	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	22	Simulación en Comsol (Tutorial)	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	23	Simulación en Comsol (Tutorial)	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	25	Simulación en Comsol (Tutorial)	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	29	Simulación en Comsol (Tutorial)	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	8	30	Investigación sobre sensores ópticos	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez

16	10	18	Diseño de gráficas de sensibilidad	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	20	Redacción Trabajo de grado	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	21	Redacción Trabajo de grado	14:00	17:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	24	Simulación Fibra propuesta	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	27	Simulación Fibra propuesta	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	28	Redacción Trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	10	31	Análisis de graficas	15:00	19:00	4	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	1	Análisis de gráficos	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	2	Investigación sobre curvaturas	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	3	Redacción trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	7	Redacción trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	9	Redacción trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	10	Diseño de gráficas sensibilidad	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
16	11	11	Redacción trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrew Gomez
TOTAL HORAS								

Firma Estudiante

Erick Reyes

Nombre y firma Laboralista

Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios

16	9	5	Validación; artículo fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	6	Validación; artículo fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	8	Simulación; artículo fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	12	Simulación; artículo fibra curvada	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	13	Diseño de la Fibra propuesta	14:00	18:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	20	Diseño de la Fibra propuesta	10:00	14:00	4	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	21	Investigación sobre sensores ópticos	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	26	Investigación sobre ecuaciones	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	9	27	Simulación Fibra propuesta	10:00	13:00	3	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	10	4	Simulación Fibra propuesta	10:00	12:00	2	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	10	10	Redacción Trabajo de grado	14:00	19:00	5	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	10	11	Redacción Trabajo de grado	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	10	13	Diseño de gráficas de curvatura	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrés Gómez
16	10	17	Diseño de gráficas de curvatura	15:00	18:00	3	Erick Reyes	Andrés Gómez
TOTAL HORAS								

Andrés Gómez
Firma Estudiante

Erick Reyes
Nombre y firma Laboratorista

Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

 Institución Universitaria	CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	Código	FGB 019
		Versión	02
		Fecha	2014-08-13

Carta de Autorización de Reproducción y Publicación de Trabajos de Grado

El (los) abajo firmante(s), autores del trabajo de grado Sensor de Curvatura Basado en una Fibra de Cristal Fónico Doble Núcleo con Perfil Chirpado

_____, autorizo (mos) al INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO –Institución Universitaria, para que almacene, reproduzca, comunique públicamente, publique, permita la reproducción y descarga de la obra, la divulgue o dé a conocer, por cualquier medio conocido o por conocer, sin restricción de tiempo, modo, lugar, número de ejemplares y medio, incluyendo pero no limitándose a su reproducción, comunicación y divulgación, en el Repositorio Institucional o en cualquier otra plataforma gestora de contenidos conocida o por conocerse y adoptada por la Institución, facilitando así que la totalidad de la obra sea conocida y permitiéndole al público en general su consulta, descarga e impresión gratuita, con fines académicos pero aclarando que pese a lo anterior -y en cualquier caso- se respetarán sus derechos morales de autor y nadie podrá usar la obra o explotarla para fines diferentes a la consulta o investigación sin fines de lucro, ni alterarla o transformarla generando una obra derivada, sin la autorización expresa y previa de sus autores.

El(los) abajo firmante(s) declara(n) que la obra es original y fue realizada por él/ella/ellos/ellas de forma individual, sin violar o usurpar derechos de propiedad intelectual o derechos legales o contractuales de terceros. En caso de presentarse cualquier tipo de reclamación o acción por parte de un tercero en cuanto a los derechos de Propiedad Intelectual que recaigan sobre la obra, el/los firmante(s) asumirá(n) toda la responsabilidad legal y patrimonial y saldrá(n) en defensa del ITM. Por lo tanto, para todos los efectos legales, disciplinarios, administrativos y patrimoniales, el ITM actúa como tercero de buena fe.

Facultad: Ingeniería

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Nivel: Pregrado Especialización _____ Maestría _____ Doctorado _____

Modalidad de trabajo de grado: Practica de Laboratorio

Título del trabajo de grado: Sensor de Curvatura Basado en una Fibra de Cristal Fónico Doble Núcleo con Perfil Chirpado

Restricciones a la publicación de la Obra:

- a. Derechos de propiedad intelectual pertenecientes a terceros. Sí _____ No
- b. Acuerdos, contratos o cláusulas de confidencialidad suscritas con el ITM y/o con terceros.
Sí _____ No ¿Con quiénes? _____

Fecha _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

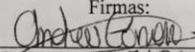
 Institución Universitaria	CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	Código	FGB 019
		Versión	02
		Fecha	2014-08-13

Lugar donde reposa el acuerdo, contrato o cláusula

- c. Licencias exclusivas concedidas a terceros. Sí ___ No X
- d. Cesiones totales o parciales realizadas con terceros. Sí ___ No X
- e. Contratos de edición o producción celebrados con terceros. Sí ___ No X
- f. ¿Ha publicado la obra o sometido la obra para aprobación en publicaciones científicas o académicas? Sí ___ No ___ Nombre de la(s) publicación (es) _____

- Fecha en la que se sometió la obra para su publicación _____
- Si ya fue publicada fecha en la que fue publicada _____
- ¿Los términos de referencia de la publicación exigen la cesión de los derechos patrimoniales de autor o la licencia exclusiva? Sí ___ No X
- g. ¿La obra ha sido o está siendo evaluada actualmente por la Oficina o encargados de Transferencia Tecnológica del ITM? Sí ___ No X
- h. La obra ha sido o está siendo evaluada por la Oficina o encargados de Emprendimiento del ITM? Sí ___ No X

Nombre(s) y Apellidos:
Freiman Andrés Gómez Calderón

Firmas:

 C.C. # 1017186788.

C.C. # _____

C.C. # _____

C.C. # _____

C.C. # _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

4. FORMALIZACIÓN TRABAJO DE GRADO

 Institución Universitaria	FORMATO PARA LA FORMALIZACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM	Código	FDE 026
		Versión	01
		Fecha	2015-09-30

Fecha: 30 de agosto de 2016

Nombres y apellidos: Freiman Andres Gomez Calderón
 Cédula: 1017186788 Carné: 13206104
 Teléfonos: 3192103755
 Programa: Tecnología en Telecomunicaciones
 Fecha de iniciación del producto (aaaa/mm/dd): 2016/08/30
 Fecha de terminación del producto (aaaa/mm/dd): 2016/10/31
 Docencia: ___ o Investigación X
 Nombre del Taller o Laboratorio: Laboratorio de óptica, fotónica y visión artificial
 Campus: Fraternidad
 Nombre del docente asesor: Erick Reyes Vera Cargo: Docente Ocasional TC
 E - Mail: erickreyes@itm.edu.co

Diligencie el siguiente campo:

A. Descripción del producto a desarrollar:

Resumen ejecutivo: (es un breve análisis de los aspectos más importantes del Trabajo de Grado, el cual describe el producto y sus beneficiarios, el contexto, los resultados esperados, las necesidades de financiamiento y las conclusiones generales).

En la actualidad los sistemas de monitoreo en tiempo real son ampliamente necesitados en diferentes ámbitos industriales. Sin embargo, cada vez se hace más necesario tener sistemas de sentido con mayor velocidad de respuesta ante cambios de variables físicas tales como, temperatura, deformación, curvatura, etc. Es por esta razón que en los últimos 20 años, diversos grupos de investigación han incrementado su interés en trabajar con sensores de fibra óptica, los cuales ofrecen muchas ventajas frente a tecnologías tradicionales.

Una de las variables más interesantes es poder determinar cambios de posición de equipos u objetos. Para ello, se han venido reportando trabajos en los cuales se emplean sensores de curvatura. Por esta razón, en este trabajo se propone que el estudiante realice el diseño y análisis detallado de un sensor de curvatura basado en una fibra óptica microestructurada doble núcleo. A partir de la implementación de esta fibra se busca a futuro construir sensores altamente compactos, integrables y sensibles que permitan determinar cambios de posición, o peso a partir de la curvatura inducida de manera externa. Este análisis se llevara a cabo usando el método de elementos finitos vectorial.

B. Detalle claramente las evidencias o anexos a entregar al finalizar el Trabajo de Grado:

Al finalizar la practica en el laboratorio se espera del estudiante lo siguiente:

1. Proponer un modelo que permita analizar cambios de curvatura empleando un sensor de fibra óptica basado en una fibra de cristal fotónico con dos núcleos.
2. Validar modelo a través de la réplica de un trabajo previamente publicado por algún grupo de investigación reconocido a nivel mundial.

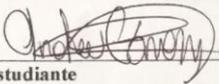
 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

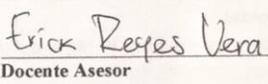
 Institución Universitaria	FORMATO PARA LA FORMALIZACIÓN DEL PRODUCTO OBTENIDO EN TALLERES O LABORATORIOS DEL ITM	Código	FDE 026
		Versión	01
		Fecha	2015-09-30

3. Análisis detallado de los resultados obtenidos. En donde se incluyan curvas de calibración y análisis paramétrico.
4. Informe final en el cual se recopile toda la información de la práctica de forma clara y sistemática.

Nota: Entregar a los ocho (8) días de su aprobación, en el Departamento Académico al cual se encuentra adscrito.

Firmas:


 Estudiante


 Docente Asesor

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5. EVALUACIÓN

 Institución Universitaria	EVALUACIÓN DE MODALIDAD TRABAJO DE GRADO Y PRÁCTICAS PROFESIONALES	Código	FDE 090
		Versión	04
		Fecha	2015-10-05

INFORMACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

1. Título:

SENSOR DE CURVATURA BASADO EN UNA FIBRA DE CRISTAL FÓTONICO DOBLE NÚCLEO CON PERFIL CHIRPADO			
Programa Académico:	Tecnología	x	Ingeniería

2. Modalidad Trabajo de Grado:

Proyecto de Grado		Práctica Profesional		Emprendimiento	
Producto de Investigación		Producto obtenido en Talleres o Laboratorios ITM	X	Pasantías	
Certificación		Reconocimiento Laboral		Cursos de Posgrado	
Ingeniería para la Gente					
Grupo de investigación:	AEYCC		Código proyecto	P1510B	
Tipo de Informe	Propuesta de Proyecto de Grado		Informe Final de Proyecto de Grado		X

3. Información estudiante(s):

Nombre	Cédula	Correo electrónico
Freiman Andrés Gómez Calderón	1017186788	Andrewt3c@gmail.com

4. Información asesor:

Nombre	Institución	Correo electrónico
Erick Reyes Vera	ITM	Erickreyes@itm.edu.co

CONCEPTO DEL JURADO EVALUADOR

Concepto inicial sobre el trabajo de grado		
Aprobado sin modificaciones	X	Se requieren modificaciones
		Mención honorífica
Observaciones		
Se puede anexar hojas adicionales para una descripción más amplia de las observaciones. Justificar en esta parte por qué otorgar mención honorífica.		
El trabajo fue exitoso, mostrando gran evolución del estudiante frente a problemáticas actuales de redes de sensado usando fibra óptica.		
Nombre jurados evaluadores	Erick Reyes Vera	
Firma	Erick Reyes Vera	
	FECHA: 16 de Noviembre del 2016.	

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

6. HOJA DE VIDA

 Institución Universitaria	HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2012-05-30

DATOS PERSONALES

Nombre y Apellidos Freiman Andrés Gómez Calderón
Lugar y Fecha de Nacimiento Medellín, 6 de Octubre 1990
Estado Civil Soltero
Cédula de Ciudadanía 101786788
Dirección y Barrio Carrera 40 n° 66c-51, Villa Hermosa
Teléfonos, celular 257-06-17, 319-210-37-55, 301-435-07-21
E-mail Andrewt3c@gmail.com



INFORMACIÓN ACADÉMICA

Terminé Estudios de Secundario en: Institución Educativa Alfonso López Pumarejo.

Estudiante de tecnología en Telecomunicaciones Nivel 6 Jornada Única.

Ha firmado Contrato de Aprendizaje anteriormente? Si No

EXPERIENCIA LABORAL

EMPRESA	CARGO	TELÉFONO	TIEMPO LABORADO	JEFE INMEDIATO
Inversiones Atlantic	Chef	444-28-48	4 años	Clara Castro
Wakai S.A.S	Chef	341-43-71	1 año	Yery Toro

REFERENCIAS PERSONALES Y/O FAMILIARES

NOMBRE Y APELLIDOS	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	PARENTESCO	LABORA EN
Gladis Calderón	Carrera 40 n° 66c-51	254-06-17	Madre	Creaciones Anjes
Natalia Pérez	Calle 42 n° 36a-34	217-04-07	Novia	Darser
Jairo Gómez	Carrera 40 n° 66c-51	312-244-07-82	Padre	Coonorte

FORMACIÓN Y COMPETENCIAS

Describe conocimientos y habilidades en los siguientes aspectos. ¿Cuáles?				
En informática: Excel, Matlab, Packet Tracer, Comsol Multiphysics				
Competencias en segunda lengua: (Marque E - excelente, B - bueno, R - regular)				
Idioma Ingles	Lee	E	Escribe	B Habla B
Idioma _____	Lee	_____	Escribe	_____ Habla _____

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2012-05-30

<p>Otros estudios realizados (Cursos, Seminarios, Diplomados, etc.): Tecnología en Gastronomía SENA 2008-2010</p> <p>Semillero Fibra Óptica Instituto Tecnológico Metropolitano 2016</p> <p>Perfil personal (cualidades y valores) y/o experiencias laborales significativas: Responsable, respetuoso, buen sentido de pertenencia, proactivo, trabajo en equipo, manejo de personal.</p>

Estudiante

Prácticas Profesionales

Nota: Señor empresario, recuerde que el objeto de las Prácticas es que éstas se conviertan en un espacio de aprendizaje en el que el estudiante pueda realizar actividades que permitan la aplicación de los conocimientos teóricos adquiridos durante el proceso de formación académica en la tecnología

FORMACION POR COMPETENCIAS

TECNOLOGIA EN TELECOMINUCACIONES.

1. OBJETO DE FORMACION DE LA TECNOLOGIA.

La formación del Tecnólogo en Telecomunicaciones está orientada hacia el transporte de la información electrónica, desde las perspectivas de la supervisión y el mantenimiento de los sistemas de comunicaciones, las redes de comunicaciones y los sistemas y las redes de radiocomunicaciones, con responsabilidad técnica, ambiental y ética.

2. Descripción de las competencias del saber o conocimientos básicos de la tecnología:

- Analiza el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para resolver un problema específico de un sistema de comunicación.
- Revisa cálculos y procedimientos utilizando elementos como generadores de señales análogos o digitales para operar o mantener sistemas de comunicaciones análogos o digitales.
- Aplica los conceptos de reflexión y refracción de la luz en la solución de problemas específicos de transmisión, reflexión y refracción. En un modelo concreto, relaciona los fenómenos de la luz con su naturaleza ondulatoria y corpuscular.
- Interpreta, Planea y modela la estructura del patrón de interferencia y aplica en solución de problemas técnicos y de ingeniería.
- En un caso específico, configura una red creando VLANs, plantea soluciones y propone tecnologías, aplica técnicas de subdivisión de redes y configuración de dispositivos de acuerdo a los requerimientos.
- Configura el conjunto de protocolos TCP/IP, para la operación adecuada de los dispositivos de usuarios y de red

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

 Institución Universitaria	HOJA DE VIDA ESTUDIANTE DE PRÁCTICAS	Código	FDE 071
		Versión	01
		Fecha	2012-05-30

- Configura dispositivos de usuario para conectarse a internet a través de una red.
 - Realiza pruebas de cableado, aplicando conceptos de ruido, para determinar el estado físico de una red.
 - Resuelve problemas de conexión a una red , utilizando los dispositivos adecuados
 - Recolecta y registra datos que le permitan reconocer y diferenciar características de patrones de radiación, utilizando medidores de campo.
 - Realiza procedimientos para la medición de niveles de ruido y onda reflejada en antenas.
 -
3. Descripción de las competencias del hacer profesional o las habilidades para desempeñarse en una empresa:
- Describir los conceptos básicos utilizados en un sistema de comunicaciones electrónicas.
 - Reconocer las propiedades básicas del análisis de señales y sistemas, en el dominio del tiempo y la frecuencia.
 - Implementar y operar diferentes circuitos osciladores para la generación de señales.
 - Aplicar los conceptos de las funciones de Bessel como una herramienta matemática para su profesión.
 - Diseñar e implementar circuitos lógicos combinacionales y secuenciales para la resolución de problemas empleando metodologías de diseño digital.
 - Manejar instrumentos, libros y manuales en el desarrollo de prototipos.
 - Instalar, operar y mantener diferentes medios de transmisión guiados, utilizados en el transporte de información de las redes de telecomunicaciones, teniendo en cuenta parámetros y métodos de medida.
 - Aportar soluciones prácticas, oportunas, adecuadas económicamente viables, a la operación instalación y mantenimientos de las redes, basadas en el conocimiento de la arquitectura de redes existentes, los modelos de referencia y los medios de transmisión.
 - Diseñar, seleccionar, instalar, mantener, soportar y supervisar sistema de telecomunicaciones y gestionarlos con criterios técnicos, económicos y acorde con los estándares y normas vigentes.
 - Identificar los tipos de redes de telecomunicaciones de última generación, y las diferentes técnicas de conmutación según sus características y funcionamiento.
 - Analiza el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
 - Aplica funciones de Bessel en sistemas de comunicaciones.
 - Determina la diferencia entre conductividad, resistividad y resistencia.
 - Comprende el concepto de campo magnético, las fuentes que los generan, su interacción con otras fuentes y leyes que se utilizan para calcularlo.
 - Representación de un problema a través de una expresión con variables Booleanas.

Nota: Certifico que la información contenida en este formato único de Hoja de Vida es cierta.


 Firma del Estudiante

20 Agosto 2016
 Fecha de elaboración