

DISEÑO DISPOSITIVOS INTEGRADOS BASADOS EN FIBRAS ÓPTICAS
MICROESTRUCTURADAS DOBLE NÚCLEO.

FABIAN VELASQUEZ BOTERO.

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE TECNÓLOGO EN
TELECOMUNICACIONES.

TUTOR:

M.Sc. ERICK ESTEFEN REYES VERA.

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM).
FACULTAD DE INGENIERÍAS, DEPARTAMENTO DE ELECTRONICA Y
TELECOMUNICACIONES.

COLOMBIA

2015

CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.	3
INTRODUCCIÓN.	4
1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.	6
2. JUSTIFICACIÓN.	8
3. OBJETIVOS.	9
4. DELIMITACIÓN.	10
4.1. Espacial.	10
4.2. Delimitación Temporal.	14
5. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA O DE LA INTERVENCIÓN TECNOLÓGICA.	15
6. ALCANCES O METAS.	16
7. MARCO TEÓRICO.	17
Perfil del tecnólogo en telecomunicaciones.	25
8. METODOLOGÍA.	26
9. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.	37
9.1 Recursos humanos.	37
9.2 Recursos materiales.	37
9.3 Recursos económicos o financieros.	37
9.4 Cronograma de actividades.	38
10. RESULTADOS Y/O CONCLUSIONES	39
Aplicación teórica: Fibra óptica microestructurada doble núcleo con chirp.	41
10.1 Competencias del saber obtenidas.	45
10.2 Aportes a la empresa.	46
10.3 Logros.	46
10.5 Recomendaciones.	47
BIBLIOGRAFÍA.	48
ANEXOS.	50

GLOSARIO

COMSOL: Software encargado de la simulación de físicas, creado por la compañía COMSOL Inc.

MOF: Fibra óptica microestructurada, o “*Microstructured Optical Fiber*” por sus siglas en inglés. Variación de la fibra óptica convencional que trabaja con algunos de los principios de las guías de onda ópticas, con la cual se trabaja en este documento

PCF: Fibra de Cristal Fotónico, o “Photonic Crystal Fiber” por sus siglas en inglés, otra denominación que se le da a MOF.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, existe un tipo especial de fibra óptica llamado fibra óptica microestructurada MOF (Microstructured Optical Fiber). Las fibras ópticas microestructuradas se construyen a partir de micro-estructuras huecas las cuales no poseen variaciones en la dirección longitudinal de la fibra. Así, podemos imaginar este tipo de fibras como un cilindro con muchos huecos alrededor de un núcleo sólido, el diámetro de estos huecos y su distancia de separación son del orden micro-métrico o sub-micrométrico (Ver Figura Pág. 5) (del orden de magnitud de la longitud de onda que viaja por la fibra) por lo cual la propagación de la luz se hace a través de algunos de estos mecanismos: índice efectivo o banda-fotónica prohibida (Joannopoulos, Johnson, Winn, & Meade, 2008). Estos mecanismos de propagación unidos a la asimetría radial de las fibras de cristal fotónico hacen que en estas se presenten fenómenos que en las fibras ópticas estándar no es posible observar, como por ejemplo: gran área modal, dispersión cromática plana (es decir pendiente de dispersión cromática igual a cero), dispersión negativa y alta birrefringencia, entre otros (A. Méndez, 2007).

En nuestro trabajo emplearemos un caso especial de este tipo de fibras microestructuradas, la cual consiste en emplear una fibra que posee dos núcleos a través de los cuales la luz puede viajar. Este tipo de fibras es más interesante pues nos permite trabajar aplicaciones en el área de las telecomunicaciones pero además en el área de los sensores ópticos. Ya que este tipo de fibras han sido implementadas en el pasado como acopladores direccionales (Fogli, Saccomandi, Bassi, Bellanca, & Trillo, 2002; Saitoh, Sato, & Koshihara, 2003; Youngquist, Brooks, & Shaw, 1983) o sensores interferométricos con aplicaciones en el campo de la biología (Markos, Yuan, Vlachos, Town, & Bang, 2011; Reyes-Vera, Gómez-Cardona, & Torres, 2014; Torres, Reyes-Vera, Díez, & Andrés, 2014). Este tipo de fibras ópticas han despertado un fuerte interés a nivel mundial en los últimos años, ya que permiten diseñar y fabricar posteriormente dispositivos totalmente integrados, los cuales a su vez son fácilmente integrados en las tecnologías actuales en el caso de las telecomunicaciones y en el campo de la biomédica se vuelven importantes pues se requiere de muestras muy pequeñas para poder realizar un análisis de calidad.



Imágenes de la sección transversal de fibras de cristal fotónico.

Es importante resaltar que debido a la complejidad del problema se hace necesario la implementación del Método de Elementos Finitos Vectorial, el cual nos permitirá realizar un análisis detallado de la información. Sin embargo, en miras a ajustar un protocolo de análisis y cálculo adecuado se hace necesario hacer una prueba inicial de validación, para ello se analizara inicialmente un trabajo ya publicado por parte de investigadores internacionales, que nos permita confirmar que nuestro protocolo de cálculo es adecuado. Una vez llevado a cabo este proceso, se procedió a analizar la fibra de interés, con el fin de diseñar un dispositivo sensor que nos permita crear un dispositivo para aplicaciones biomédicas altamente sensible y compacto, es decir, totalmente integrado a fibra óptica.

1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El constante crecimiento de la capacidad de transmisión de información por medio de fibras ópticas es debido, principalmente, al desempeño cada vez mejorado de nuevos componentes ópticos. Innovaciones en este campo, han permitido una evolución en los sistemas de comunicación ópticos, que nos han llevado a realizar una combinación de componentes electrónicos y ópticos con el fin de incrementar las capacidades de los enlaces actuales, brindando así, soluciones a muchos problemas como dispersión y atenuación. Esto ha llevado a una transformación del mundo en los últimos años ligada a las tecnologías de la información y la telecomunicación (TIC).

Toda la información se transmite a través de redes de comunicaciones basadas, principalmente, en tecnologías fotónicas, es decir, tecnologías que emplean la luz para transmitir información; y cada vez se hace más necesario buscar nuevas formas de satisfacer las necesidades de capacidad y fiabilidad de la transmisión de la información. Es por esta necesidad que surge la motivación de trabajar en estructuras monolíticas completamente a fibra óptica, sintonizables, compactas y precisas, aptas para ser usadas en aplicaciones variadas en telecomunicaciones, es decir, la integración de múltiples funcionalidades en una sola fibra. La motivación para ello radica en que este tipo de dispositivos despiertan un amplio interés en el mercado de las telecomunicaciones y aplicaciones de sensores, debido a que presentan muchas ventajas como el bajo costo de producción, y a que es un producto directamente integrado en el formato de fibra óptica. (El costo es bajo teniendo en cuenta que dispositivos totalmente integrados a fibra permiten, por ejemplo, que la infraestructura de una red de telecomunicaciones actualmente instalada no deba ser cambiada en su totalidad, sino que basta con insertar unos cuantos centímetros de estas fibras especiales para mejorar la calidad en la transmisión).

Ahora bien, este tipo de dispositivos no son únicamente enfocados a solucionar problemas relacionados con el área de las telecomunicaciones, sino que brindan además la posibilidad de fortalecer el área de sensores a fibra óptica, la cual es un área prometedora a nivel mundial. Ya que esto permitirá tener dispositivos altamente compactos y además inmunes al ruido electromagnético que puedan ser

implementados en diferentes campos del saber, como lo son la ingeniería civil, la biomedicina, ingeniería electrónica, minería, entre otras.

Es por esta razón, que en este trabajo se realiza una primera aproximación en la búsqueda de la creación de dispositivos ópticos basados en fibras microestructuradas doble núcleo, que nos permitan generar un impacto a nivel global, en el área de las telecomunicaciones y los sensores a nivel general, puesto que es una tecnología que brinda mucha flexibilidad, flexibilidad que se logra gracias a que a partir de la manipulación de los parámetros geométricos (periodo, tamaño de agujeros y pendiente de los agujeros) de la microestructura es posible manipular las características y por tanto el comportamiento de dichos dispositivos. Para ello, en este trabajo se mostrara como empleando el método de elementos finitos vectorial, es posible diseñar un sensor aplicación a biomedicina a partir de una fibra microestructuradas con dos núcleos.

2. JUSTIFICACIÓN

Éste tipo de trabajos suelen estar abiertos y compartidos a toda la comunidad, para que aquella persona que desee trabajar con ello, obviamente fundamentando su investigación con lógica e inteligencia, pueda hacer de ella un avance. Este avance no tiene tamaño establecido, es decir, a veces puedes encontrar algo con un gran potencial de innovación que puede cambiar todo el sentido de la idea y dar origen a nuevas ramas de investigación, aunque otras veces solo es un pequeño avance en la idea en sí, que aunque no represente un valor grande, si representa parte importante en el desarrollo del mismo.

La investigación es parte fundamental de la sociedad, representa su avance en pro del ser humano y por ello esto es algo que nunca se detiene. Es cierto que no todos los días se hacen descubrimientos que repercuten en gran magnitud, pero eso no significa que no se estén logrando avances.

Éste tipo de fibra puede conllevar a grandes avances y a crear tecnologías de gran impacto por su gran enfoque, también permite ampliar en magnitud el conocimiento en general de las personas que se desarrollan con ella, ya que no es un tema que se toque generalmente en los estudios de la carrera por su complejidad y que puede generar renombre en las entidades implicadas en este tipo de investigaciones.

En la parte social, todo tipo de investigación puede aportar algo a la sociedad, tanto directa o indirectamente, ya que la investigación va totalmente ligada a nuestra evolución como seres humanos, aunque enfocando directamente el elemento de este artículo, esta fibra puede ser usada para fines biomédicos (sensores), como también para nuevos modos de comunicaciones tanto a largas como cortas distancias, entre otras aplicaciones que aún están por experimentar.

3. OBJETIVOS

3.1 General:

Diseñar dispositivos integrados basados en fibras microestructuradas doble núcleo.

3.2 Específicos:

- Implementar COMSOL para diseñar dispositivos integrados a partir de fibras microestructuradas doble núcleo.
- Validar protocolo de simulación.
- Diseñar un dispositivo que pueda ser implementado en telecomunicaciones o censado óptico.
- Encontrar parámetros óptimos de un dispositivo integrado basado en fibras microestructuradas doble núcleo

4. DELIMITACIÓN

4.1. Espacial.

4.1.1. Ubicación:

El instituto Tecnológico Metropolitano (ITM), sede fraternidad, se encuentra ubicado en Colombia, Antioquia, Medellín.

Dirección: CLL 54 A 30-01, Boston.

4.1.2. Razón social:

Instituto Tecnológico Metropolitano (ITM).

4.1.3. Sector productivo:

Educación.

4.1.4. Objeto social:

El Instituto Tecnológico Metropolitano adopta como objetivos generales los contemplados en el artículo 6º de la Ley 30 de 1992:

- Profundizar en la formación integral de los colombianos dentro de las modalidades y calidades de la Educación Superior, capacitándolos para cumplir las funciones profesionales, investigativas y de servicio social que requiere el país.
- Trabajar por la creación, el desarrollo y la transmisión del conocimiento en todas sus formas y expresiones así como promover su utilización en todos los campos para solucionar las necesidades del país.
- Prestar a la comunidad un servicio con calidad, el cual hace referencia a los resultados académicos, a los medios y procesos empleados, a la infraestructura institucional, a las dimensiones cualitativas y cuantitativas del mismo y a las condiciones en que se desarrolla cada institución.
- Ser factor de desarrollo científico, cultural, económico, político y ético a nivel nacional y regional.
- Actuar armónicamente entre sí y con las demás estructuras educativas y formativas.

- Contribuir al desarrollo de los niveles educativos que le preceden, para facilitar el logro de sus correspondientes fines.
- Promover la unidad nacional, la descentralización, la integración regional y la cooperación interinstitucional, con miras a que las diversas zonas del país dispongan de los recursos humanos y de las tecnologías apropiadas que les permitan atender adecuadamente sus necesidades.
- Promover la formación y consolidación de comunidades académicas o investigativas y la articulación con sus homólogas a nivel internacional.
- Promover la preservación de un medio ambiente sano y fomentar la educación y cultura ecológica.
- Conservar y fomentar el patrimonio cultural del país.

4.1.5. Reseña Histórica:

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO (ITM) es una Institución Universitaria de carácter público y naturaleza autónoma, adscrita a la Alcaldía de Medellín; ofrece un servicio público cultural en educación superior, para la formación integral de talento humano en ciencia y tecnología, con fundamento en la excelencia de la investigación, la docencia y la extensión, que habilite para la vida y el trabajo, desde el aprender a ser, aprender a hacer, aprender a aprender y aprender a convivir, en la construcción permanente de la dignidad humana, la solidaridad colectiva y una conciencia social y ecológica.

Los antecedentes históricos del Instituto Tecnológico Metropolitano se remontan a los años cuarenta (1944), cuando fue creado el Instituto Obrero Municipal, con la misión de alfabetizar y capacitar a las clases trabajadoras, para responder a las necesidades generadas por el proceso de expansión urbana y desarrollo tecnológico, que desde esos años colocó a Medellín como el más importante centro industrial del país. La introducción de maquinaria y técnicas de producción modernas hicieron pertinente la creación de una entidad que no sólo capacitara a las clases trabajadoras para asumir esas innovaciones, sino que se preocupara por su acceso a los productos de la cultura y por el mejoramiento de sus condiciones de vida.

A finales de los cuarenta, se denominó Universidad Obrera Municipal, con una novedosa propuesta de "educación a la carta", que se acomodaba a las condiciones

particulares de los estudiantes trabajadores, que procuraba dar, gratuitamente, instrucción artesanal, industrial, comercial y artística.

En los años sesenta, bajo el nombre de Instituto de Cultura Popular, vivió un proceso de ajustes al pensum y continuó con el propósito de elevar el nivel intelectual de la clase obrera.

A finales de los sesenta se transformó en el Instituto Popular de Cultura y dedicó su actividad docente a enseñanza básica para adultos, un ciclo básico de enseñanza media con capacitación en un oficio o especialidad, y enseñanza artística en la escuela de teatro anexa que, a principios de la década del setenta, se constituyó en la Escuela Popular de Arte. Los cambios en la estructura de la educación media de esa década dieron paso a programas de educación media técnica con orientación vocacional y con algún fundamento en el conocimiento científico.

A principios de los años noventa, la institución incursionó en la educación superior, con el nombre de Instituto Tecnológico Metropolitano. Con una nueva estructura orgánica, diseñó sus primeros programas de formación tecnológica y definió sus funciones de docencia, investigación y extensión.

En 2005 el Instituto Tecnológico Metropolitano obtuvo el cambio de carácter académico y se convirtió en Institución Universitaria, conservando su vocación de formación tecnológica en educación superior.

4.1.6. Misión:

EL INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO – ITM, de Medellín, es una Institución Universitaria de carácter público y del orden municipal, que ofrece el servicio de educación superior para la formación integral del talento humano con excelencia en la investigación, la innovación, el desarrollo, la docencia, la extensión y la administración, que busca habilitar para la vida y el trabajo con proyección nacional e internacional desde la dignidad humana y la solidaridad, con conciencia social y ambiental.

4.1.7. Visión:

Para el año 2021 el INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO – ITM, de Medellín, será una Institución de Educación Superior con vocación tecnológica, reconocida nacional e internacionalmente por la excelencia académica centrada en la calidad y pertinencia de sus programas y de sus funciones de docencia, investigación, extensión y administración. El ITM contará con un modelo flexible y eficiente de organización basado en el liderazgo y aprendizaje permanentes, que le permitirá cumplir con responsabilidad y equidad social su misión formativa.

4.1.8. Principios o valores corporativos.

La Institución adopta como principios los contenidos en el Capítulo I. del Título Primero de la Ley 30 de 1992 y en especial los siguientes:

a. Biofilia. Es la atracción por el proceso mismo de la vida y, por tanto, de cualquier forma de crecimiento o transformación.

La persona biófila ama la aventura misma de vivir; su visión es funcional y no mecánica, ve el todo más que las partes, prefiere la estructura al total de la suma, influye mediante el estímulo y no por la fuerza, disfruta de la vida y no de la mera excitación, concilia sin trauma los deberes y derechos en armonía con todos los seres de la naturaleza.

En suma, la biofilia crea las condiciones favorables para el desarrollo a escala humana de cada uno de los miembros de la Institución, mediante la integración de los proyectos de vida personales a las actividades del estudio y el trabajo.

b. Formación integral. La visión integral del hombre es el resultado de una visión integral de la vida.

La concepción de la vida como una realidad irreductible conduce, en forma natural, a la valoración de la integridad biológica y espiritual y al reconocimiento, en conjunto, de estas instancias del ser humano, como la base de sustentación que hace posible el equilibrio del individuo consigo mismo y con su entorno.

La formación integral reconoce el carácter histórico de cada individuo y convierte cada experiencia en fuente de conocimiento y en profunda vivencia interior.

En suma, la formación integral imprime direccionalidad y sentido a la existencia, involucra a la persona en un proceso cultural permanente, confiere dignidad a la existencia y no termina nunca.

c. Autonomía. Es el principio que fundamenta la moral y la libertad, y permite a cada individuo la realización de una facultad de valores.

En este sentido, la autonomía es el soporte de la autodeterminación, la elección y la capacidad de asumir responsabilidades.

La Institución velará para que todos sus miembros, durante el tránsito por ella, alcancen la mayoría de edad y en particular para que los estudiantes sean el sujeto activo de su propio aprendizaje y no el objeto de la enseñanza.

d. Liderazgo. El liderazgo es la consecuencia natural de la autonomía y se expresa en todas las actividades que las personas realizan dentro de la Institución o fuera de ella.

Cuando se es auténtico, las acciones emprendidas por cada una de las personas son proactivas y no reactivas, integran en vez de dividir, despiertan entusiasmo y sentido de pertenencia y benefician a toda la Institución.

Para consolidarlo y generalizarlo, la Institución proveerá los recursos necesarios para el desarrollo humano integral, condición necesaria en la germinación de esta nueva iniciativa.

e. Interdisciplinariedad. El trabajo en equipo de las disciplinas obedece a la compleja naturaleza del conocimiento y es una condición necesaria del acceso a niveles dominantes de la ciencia y la tecnología contemporáneas. Mediante un proceso de correflexión, estimula la producción colectiva en la docencia, la investigación y la extensión y, a la vez, prepara a estudiantes y profesores, no sólo para recibir los frutos de la ciencia, sino, fundamentalmente, para hacerla de manera personal colectiva y original.

En suma, asumida con seriedad, tiene la capacidad de transformar cualitativa y cuantitativamente el saber insular con la creación de nuevos puntos de contacto que configuran, finalmente, la red de conocimientos.

f. Prospectiva. La visión de futuro es una característica privativa del ser humano. La prospectiva permite prever en vez de predecir y nos da los instrumentos necesarios para crear el futuro en vez de esperarlo.

Por otra parte, la capacidad de anticipar los acontecimientos nos permite prever oportunamente los cambios y tendencias del entorno y ajustar los planes y estrategias de acuerdo con las demandas humanas, empresariales y culturales.

4.1.9. Otros:

La práctica fue realizada dentro del Instituto tecnológico Metropolitano (ITM), en la sede fraternidad, más específicamente en el laboratorio de óptica, fotónica y visión artificial, ubicado en el parque i, sótano 2.

4.2. Delimitación Temporal.

Fecha de inicio: 19/08/2014.

Fecha de culminación: 20/10/2014.

5. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA O DE LA INTERVENCIÓN TECNOLÓGICA.

Durante la realización de este proyecto, al ser parte de una investigación requiere una disciplina en cuanto a las actividades a ejecutar, las más relevantes son:

- Practicar distintas formas y diseños en COMSOL, esto con el fin de desarrollar habilidades para implementar distintos diseños en diferentes áreas de simulación.
- Revisar constantemente que el diseño esté correctamente parametrizado, es decir, que las medidas, los materiales, los módulos, entre otros componentes usados en este tipo de simulación estén correctamente parametrizados y propuestos ya que un pequeño error en cualquiera de los parámetros puede causar la entrega de datos erróneos.
- Recoger datos que me brindan cada una de las simulaciones, los cuales se trabajan en conjunto.
- Analizar cada uno de los datos con el fin de reconocer la fiabilidad de los mismos.
- Organizar en tablas de Excel los datos que se entregan, y tratarlos bajo las respectivas fórmulas matemáticas para introducirlos en las tablas y poder sacar conclusiones de los mismos.

6. ALCANCES O METAS

Alcance 1: Mediante la practica en el laboratorio se pretende realizar apropiación de conocimiento, relacionado con la implementación del método de elementos finitos vectorial y su aplicación para el análisis de problemas complejos de ingeniería y tecnologías de última generación, tal como lo es el análisis de dispositivos fotónicos bien sea en el campo de las telecomunicaciones o sensado óptico.

Alcance 2: Se pretende realizar un proceso de validación del protocolo de análisis de dispositivos basados en la tecnología de fibras microestructuradas doble núcleo. Para lograr esta meta se pretende analizar un artículo de referencia, el cual nos permita obtener los mismos resultados reportados por los autores a partir de la implementación de nuestro protocolo.

Alcance 3: A partir del proceso de validación anterior, se establece un protocolo definido, el cual ahora seguiremos, para llevar a cabo una aplicación específica, con un diseño propio propuesto por nosotros en este trabajo. Este diseño consistirá del análisis de fibras microestructuradas doble núcleo que nos permitan diseñar un sensor en el campo de la biomédica.

Alcance 4: A partir de los resultados de las simulaciones en COMSOL, se levantarán gráficas que nos permitan realizar un análisis del dispositivo diseñado y se conviertan en una base para futuros trabajos en el área.

7. MARCO TEÓRICO

El 1 de diciembre de 2003, se publicó en la revista Optics Express un artículo llamado “Coupling Characteristics of dual-core photonic cristal fiber couplers”(Saitoh et al., 2003), donde se exponía el comportamiento teórico de unos diseños de fibra microestructuradas doble núcleo, con resultados y análisis enfocados al uso de acopladores y Multiplexores/Demultiplexores.

Para entender mejor esto, debemos definir los siguientes elementos:

Cristales Fotónicos: Son elementos (generalmente, elementos “cristalinos”) que tienen propiedades propias de diseño y materiales, los cuales permiten manipular el comportamiento de las ondas que pasan a través de ellos (en este caso, generalmente ondas de luz), por lo que aplicados correctamente en el campo de las comunicaciones ópticas pueden hacer de filtros, divisores, entre otros usos.

Multiplexación: Es combinar varios canales de señales en uno solo, esto a partir del tratamiento de las señales de origen, y la generación de una nueva señal de salida. Esta señal debe ser tratada a su salida, lo que se llama “Demultiplexación”, lo cual consiste en extraer las distintas señales que han sido multiplexadas y dividir las cada una por un distinto canal, en otras palabras, es el proceso inverso a la multiplexación.

En el artículo mencionado anteriormente, usaban para encontrar los modos que se propagaban por cada núcleo un método llamado “método de elementos finitos” el cual también es usado por COMSOL, pero no profundizaré en este tema puesto que es algo denso de explicar, y además, no es de vital importancia para el entendimiento de la parte teórica de este documento, más bien debemos enfocarnos en la teoría detrás del análisis de los resultados de los modos.

La fibra óptica revolucionó las telecomunicaciones; veníamos de una época donde la electricidad fue elemento fundamental para la transmisión de datos, e incluso, aunque variamos el método, los modos, y los materiales por los cuales transmitíamos la información, el componente eléctrico era fundamental para el funcionamiento de estos mecanismos. Hoy en día cuando se requieren redes robustas para conectar informáticamente dos puntos, se piensa directamente en fibra óptica como la solución ideal por su gran capacidad de transmisión de datos (Govind P., 2002), y que por trabajar bajo sistemas ópticos, puede evadir muchos detalles negativos que poseen los sistemas eléctricos; pero la fibra aún se encuentra en sus inicios; trabajamos con un diseño que, si bien ha sufrido pequeñas

modificaciones y mejoras a través de los años sigue siendo, en esencia, la misma idea que cuando se planteó este medio de transmisión.

Durante los últimos años, se han empezado a realizar variaciones de forma experimental para ir probando nuevos sistemas ópticos de transmisión de datos, uno de ellos es la fibra microestructurada. La fibra microestructurada es una de las variaciones de la fibra tradicional, la cual trabaja similar al efecto que sucede en los cristales fotónicos, por lo que también se le suele llamar “fibra de cristal fotónico”, donde en vez de tener una fibra normal con variación casi directa en el índice de refracción entre el núcleo y el recubrimiento como se observa en la Fig.1(a), se posee un núcleo compacto que tiene una serie de agujeros los cuales forman la región donde se confina la onda y le dan las propiedades pertinentes al sistema como se muestra en la Fig.1(b).

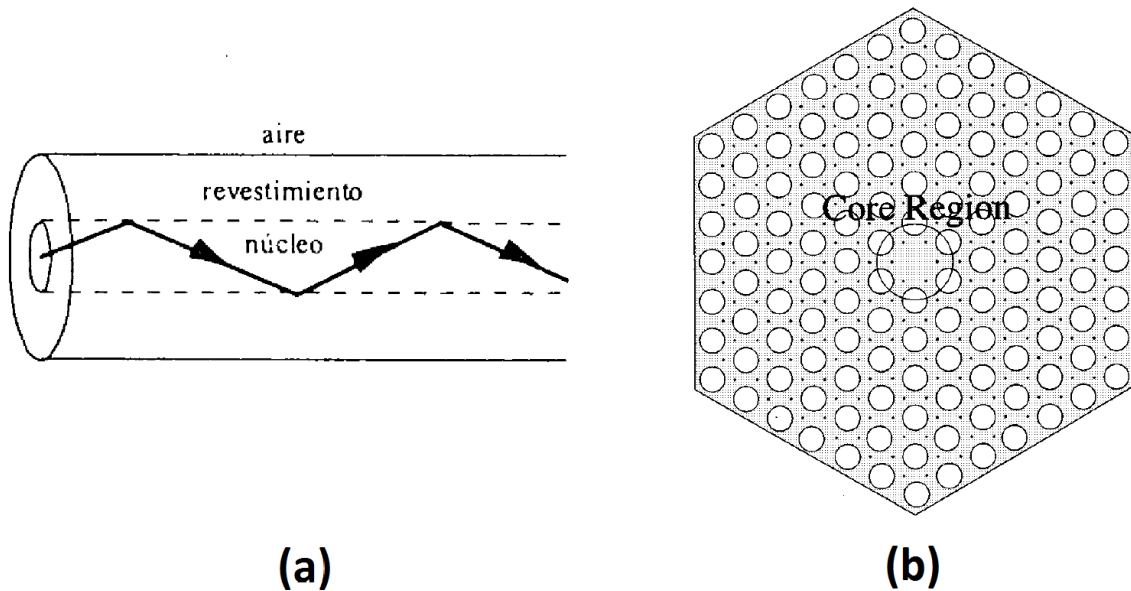
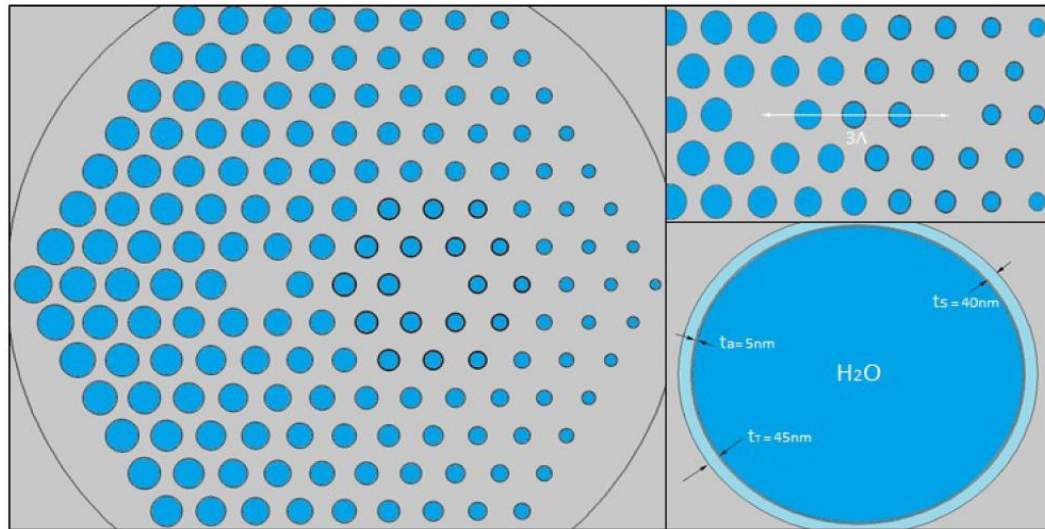


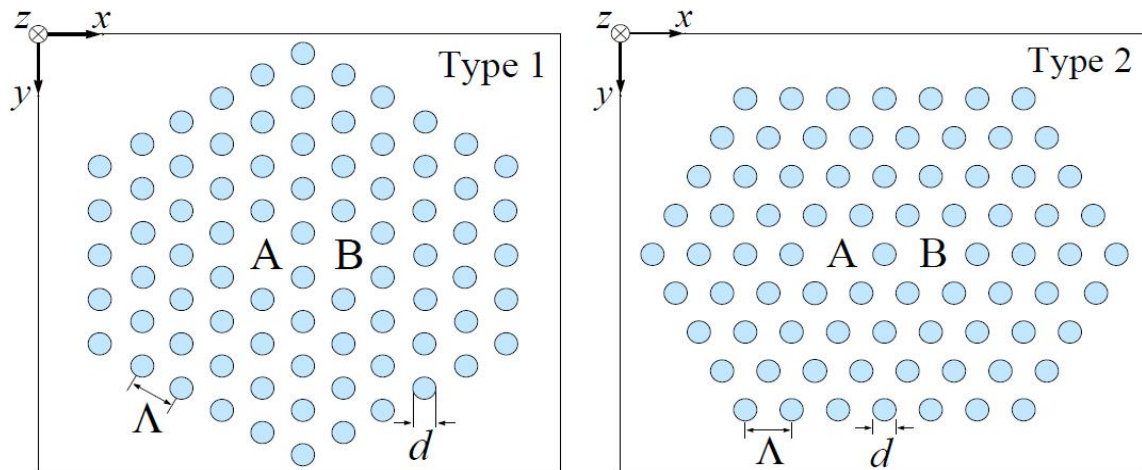
Fig. 1. Diferencia entre Fibra Óptica Estándar (izquierda) (Neri Vela, 2004) y Fibra Óptica Microestructurada (derecha)(Broeng et al., 1999).

La fibra óptica microestructurada es un sistema bastante novedoso, que aún se encuentra en proceso de investigación constante, y por ende, presenta muchísimas variaciones de diseño, donde se puede jugar con distintas formas y diseños para modificar las propiedades de transmisión de la fibra, y a lo largo de su investigación se han definido no solo diseños, sino también utilidades para este tipo de elemento, todos con variaciones peculiares como por ejemplo, MOF como sensor biológico,

donde se puede observar en la Fig. 2(a), que este diseño de fibra posee la peculiaridad de que uno de los núcleos (en este caso el derecho) tiene una serie de anillos alrededor de los agujeros en dos niveles alrededor del núcleo, y estos anillos permiten introducir las muestras biológicas donde también es importante recalcar que, a comparación con otras fibras microestructuradas estándar, esta posee un relleno de agua en los agujeros como variación importante para definir un comportamiento en la luz (Reyes-Vera et al., 2014).



(a)



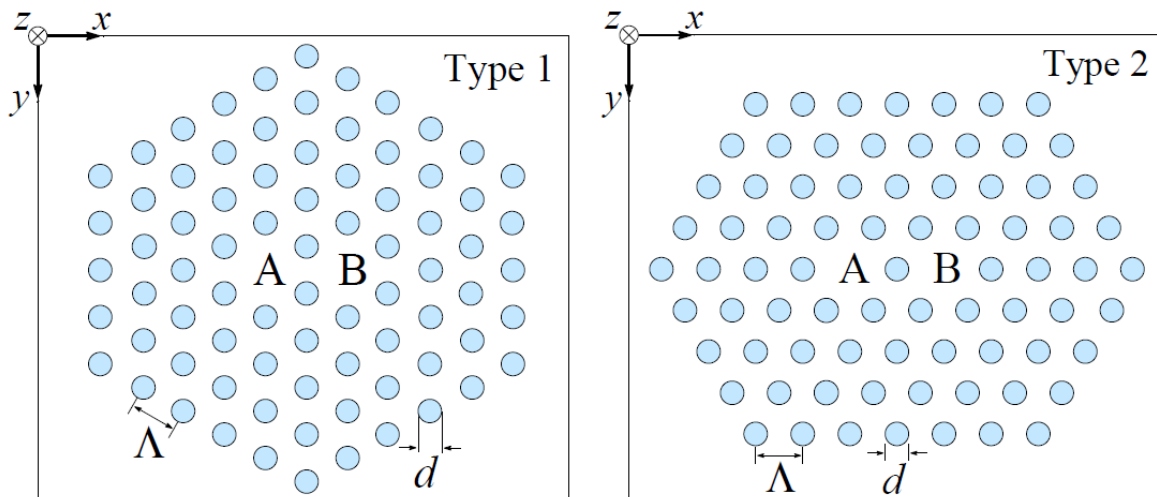
(b)

Fig. 2. Variaciones de MOF. (a) Sensor biomédico (Reyes-Vera et al., 2014) (b) acopladores direccionales (Saitoh et al., 2003).

La Fig. 2(b) nos muestra dos diseños de fibra microestructurada que fueron extraídos del artículo en que se basa gran parte de este informe, y de hecho, para la realización de este informe se usó el diseño “type 1”, mostrado al lado derecho de la imagen. En el artículo original, los autores buscaban comprobar las características de acoplamiento de la fibra óptica microestructurada, por lo que tomaron ambos diseños de la Fig. 2(b) para ser sometidos al experimento.

Teoría del Artículo

En (Saitoh et al., 2003) los autores consideraron dos acopladores, con estructuras similares pero con distintos comportamientos para este artículo llamadas “PCF Type 1”, y “PCF Type 2”. Ambos manejaron las mismas medidas durante todo el desarrollo, es decir, el periodo (también llamado “pitch” mostrado en la Fig. 3) se aplicaba igualmente a ambos diseños y el diámetro de los agujeros era constante de lado a lado, pero la diferencia se aplicaba en sus núcleos, o más específicamente, jugaban con los diseños para manipular sus núcleos.



Λ = Pitch, Periodo.

d = Diámetro

Fig. 3. Diseños de Fibras microestructuradas doble núcleo (Saitoh et al., 2003).

Como se puede observar en la Fig. 3, en la “PCF Type 1” La separación entre el núcleo “A” y “B” es de $3\sqrt{\Lambda}$, mientras que en la “PCF Type 2” es de 1Λ , por lo que la longitud de acoplamiento va a variar fuertemente entre ambos diseños.

La “longitud de acoplamiento” es la distancia a la cual la onda va a pasar de un núcleo a otro, por ello su utilidad como acopladores. Para determinar la longitud de acoplamiento (L), se usa la siguiente formula:

$$L = \frac{\pi}{\beta_e - \beta_o}$$

Donde β_e es la constante de modo par (even) y β_o es la constante de modo impar (odd), ambas también llamadas constantes de propagación. Se debe resaltar que las longitudes de acoplamiento se determinan para polarización de onda en “X” y polarización de onda en “Y”. A su vez, la fórmula para cada constante de propagación es:

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda} n_{eff}$$

Reemplazando β en L obtenemos que:

$$L = \frac{\pi}{\frac{2\pi}{\lambda} (n_{eff_e} - n_{eff_o})}$$

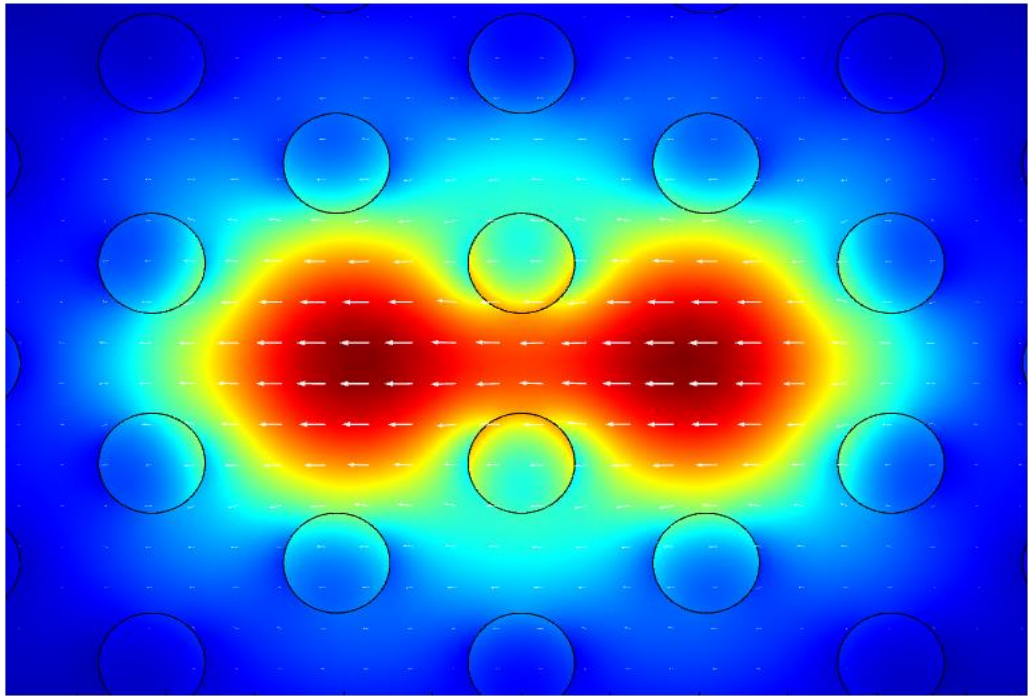
$$L = \frac{\lambda}{2(n_{eff_e} - n_{eff_o})}$$

Como se dijo anteriormente, se debe calcular longitudes de acoplamiento tanto para la polarización en “X”, como la polarización en “Y”, por lo que ambas fórmulas serían:

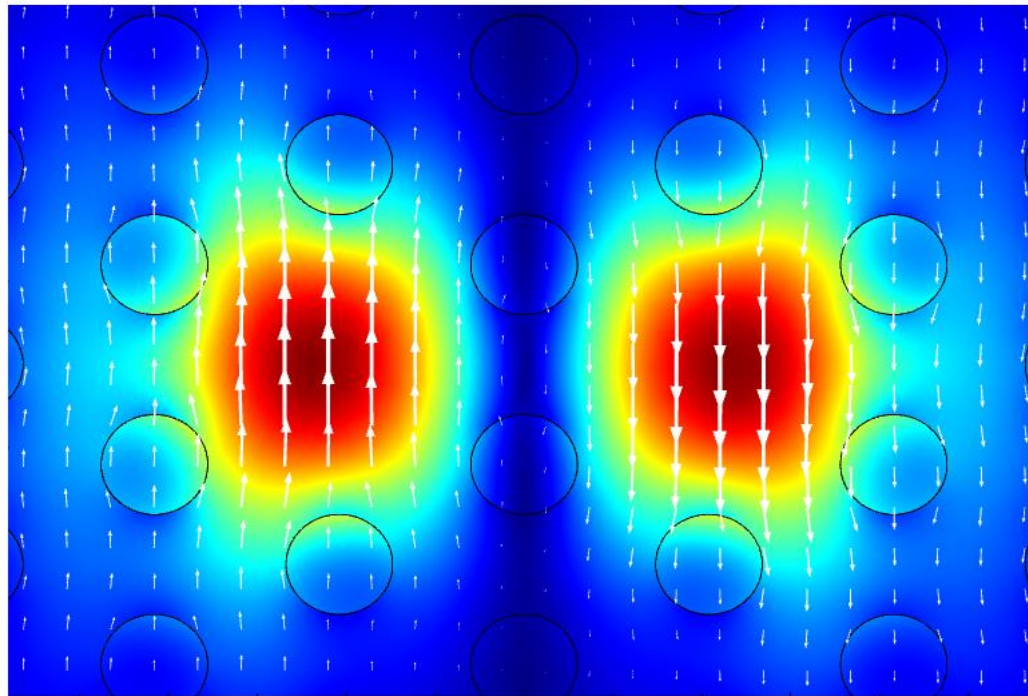
$$L_x = \frac{\lambda}{2(n_{eff_{ex}} - n_{eff_{ox}})}$$

$$L_y = \frac{\lambda}{2(n_{eff_{ey}} - n_{eff_{oy}})}$$

Cuando se refieren a las longitudes de acoplamiento para cada polarización e índices de refracción efectivos para modos par e impar, es debido a que las ondas presentan ciertos comportamientos únicos debido al diseño de fibra, y se ejemplifican con mayor claridad en la Fig. 4.



(a)



(b)

Fig. 4. MOF doble núcleo simulada con sus respectivas polarizaciones. (a): polarización en X par (b): polarización en E impar.

Como se puede observar en la Fig. 4. Tenemos gráficamente el tema de las polarizaciones y si es par o impar. Las polarizaciones es la dirección a la cual las líneas de campo (flechas blancas) se dirigen, mientras que el estado de par o impar lo definen las direcciones, es decir, se considera par o “even” cuando las líneas de campo de ambos núcleos van en la misma dirección (Fig. 4(a). ambas líneas de campo van en dirección “X” negativo), mientras que se considera impar o “odd” cuando las líneas de campo van en dirección contraria (Fig. 4(b). ambas líneas de campo están en el eje “Y”, pero un núcleo va en dirección positiva y el otro en dirección negativa).

Aparte de esto, en el artículo mencionan una fórmula de normalización, con la cual describen las diferentes curvas a partir de variaciones de diseño estandarizadas, es decir, tienen dos parámetros a variar que los obtienen de:

$$\text{Normalización} = \frac{d}{\Lambda}$$

Teóricamente, los resultados obtenidos en el artículo se muestran en la Fig. 5, donde ellos confrontan la longitud de acoplamiento contra el pitch. Estos fueron para $\frac{d}{\Lambda} = 0.5$.

Como se puede observar en la Fig. 5, la longitud de acoplamiento incrementa a medida que el pitch o periodo también incrementa, uno de los factores que definen este comportamiento es, como se indica en la teoría, mientras más separados estén los núcleos entre sí, mayor será la longitud de acoplamiento.

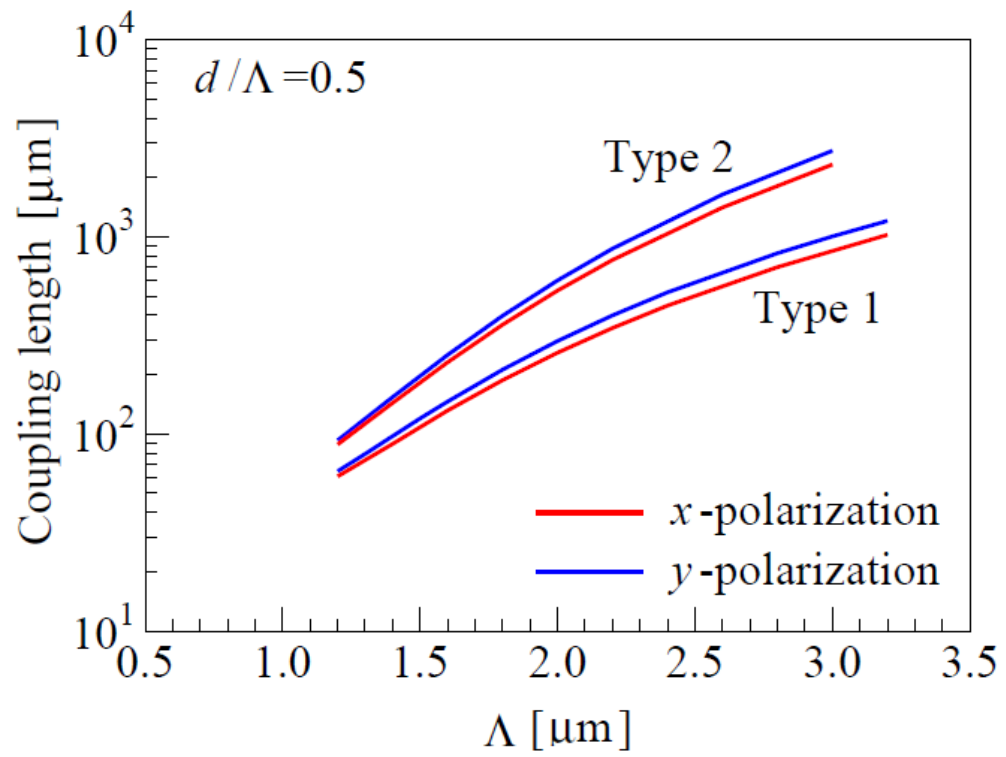


Fig. 5. Longitud de acoplamiento a normalización de 0.5. Se pueden observar ambas polarizaciones para ambos diseños de fibra (Saitoh et al., 2003).

Perfil del tecnólogo en telecomunicaciones

Campo de Intervención

El Tecnólogo en Telecomunicaciones del ITM interviene los equipos, sistemas y redes de telecomunicaciones que demandan las organizaciones y usuarios, con el objeto de satisfacer necesidades en materia de transporte de información, desde las perspectivas del montaje, mantenimiento y supervisión de los sistemas de comunicaciones, las redes de comunicaciones y los sistemas y redes de radiocomunicaciones.

Perfil Ocupacional

El Tecnólogo en Telecomunicaciones del ITM tiene fundamentación académica en la supervisión y el mantenimiento de las telecomunicaciones, es decir, interviene los sistemas de comunicaciones, las redes de comunicaciones y los sistemas y redes de radiocomunicaciones, desde las perspectivas de la supervisión (medición, parametrización, comprensión y vigilancia) y el mantenimiento, (instalación, ajuste, soporte y operación), con criterios técnicos, económicos y ambientales, acorde con los estándares y la normatividad vigente.

Competencias Profesionales

- Montaje, mantenimiento y supervisión de los sistemas y redes de comunicaciones.

Tecnólogo con capacidad de administrar, instalar, mantener y soportar criterios técnicos los sistemas de comunicaciones electrónicas como sistemas de televisión por cable, sistemas y redes para servicios telefónicos y de valor agregado, redes LAN y WAN, sistemas de cableado estructurado, acorde con estándares y recomendaciones vigentes.

- Montaje, mantenimiento y supervisión de los sistemas y redes de radiocomunicaciones.

Tecnólogo con capacidad de administrar, controlar, instalar, mantener y soportar con criterios técnicos los sistemas y las redes de radiocomunicaciones, considerando costos, aspectos legales y ambientales.

8. METODOLOGÍA

Inicialmente para la realización de éste trabajo, era necesario aprender el uso del software. COMSOL multiphysics es un simulador de físicas creado por la compañía COMSOL Inc., que permite la realización de trabajos en distintos campos como la simulación de fluidos, tensión en los elementos, fuerzas, y en este caso, ondas. Se debe especificar que para este trabajo se usó la versión 4.4.

Reconociendo el Software.

Para poder adaptarse y aprender el funcionamiento del software, fue necesario el uso de ejemplos que son subidos a la página de COMSOL como demostración del funcionamiento. Estos ejemplos eran en su mayoría propios de la página, y algunos de los ejemplos simulados fueron cristales fotónicos, modulador Mach-Zehnder, incluso fibra óptica tradicional, y todos estos ejemplos fueron simulados correctamente empezando desde el diseño, hasta la toma y análisis de los resultados.

Diseño estructurado.

COMSOL necesita inicialmente, del desarrollo de un diseño para poder trabajar, pero no es tan simple como dibujar un círculo y ponerlo donde se necesite, ya que el diseño trabaja bajo coordenadas (como se explicará más adelante), por ende es necesario realizar un diseño imaginario y con coordenadas para introducir en cada una de las figuras de COMSOL.

El diseño, como se dijo anteriormente, era una fibra microestructurada, llamada en el artículo de referencia "PCF Type 1", que constaba de un diseño en forma hexagonal, doble núcleo, con una separación de $3\sqrt{\Lambda}$ entre núcleos como se muestra en la Fig. 6.

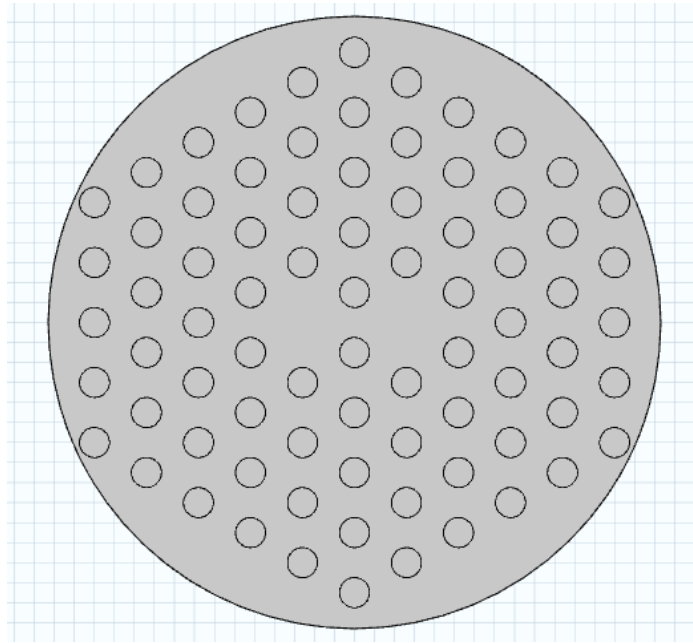


Fig. 6. PCF Type 2.

Pasos para el diseño en COMSOL.

Para diseñar y simular en COMSOL, se debe manejar una estructura básica y ordenada donde, si cometemos un pequeño error al introducir algún parámetro, puede ocasionar la presencia de errores por parte del programa o los resultados aportados a partir de la simulación no serían los correctos. Esta estructura se puede dividir en 6 pasos, donde cada uno es necesario y debe ser tratado.

Paso 1: Parámetros.

Inicialmente, COMSOL tiene un sección, que, si bien no es necesaria para el funcionamiento de las simulaciones, debo decir que es FUNDAMENTAL para la investigación, esta se llama “parámetros”. Esta sección que, como su nombre lo indica, permite introducir una serie de variables con sus respectivos parámetros, donde estos parámetros no están sujetos a ninguna unidad ni tampoco a un solo uso.

Es un lugar donde puedes introducir una identificación de parámetro, un valor para ello, y una descripción que afecta más al usuario que al programa en sí, y estos valores se guardan para ser usados durante toda la simulación. Otro aspecto fundamental de esto, es que no necesariamente tienen que ser valores fijos, se pueden introducir también fórmulas o ecuaciones que pueden funcionar con

constantes que tiene pre-guardadas el COMSOL, o también con otros parámetros introducidos en la misma tabla.

Se puede ejemplificar más claramente con las medidas, por ejemplo, al momento de realizar el diseño del modelo, debemos darle ciertas medidas, una de ellas es el diámetro. Tenemos más de 50 agujeros a los cuales debemos definirles un diámetro y podemos hacerlo de dos formas:

- Introduciendo manualmente el valor del diámetro en cada una de las formas que se diseñan.

- Introducir el parámetro en la sección “parámetros”, dándole un nombre con el cual ser reconocido y un valor. Luego, donde necesitemos el valor del diámetro en los diseños, solo introducimos el parámetro.

Existen dos ventajas claves en esto, la primera es versatilidad, ya que es un modo más eficaz de hacer el diseño, y más fácil de manejar, ya que no estamos manejando múltiples valores, sino un parámetro fácil de memorizar; y la segunda, y mucho más importante, el tiempo. Al tener todo parametrizado, si en algún momento queremos cambiarle el diámetro a los círculos para realizar nuevas simulaciones con nuevos diseños, simplemente debemos cambiar el valor del parámetro, y el COMSOL lo reconoce completamente en el momento; no nos tocaría ir a cada forma y figura y cambiarle el valor manualmente, lo cual sería mucho más demorado, lioso, y muy poco práctico.

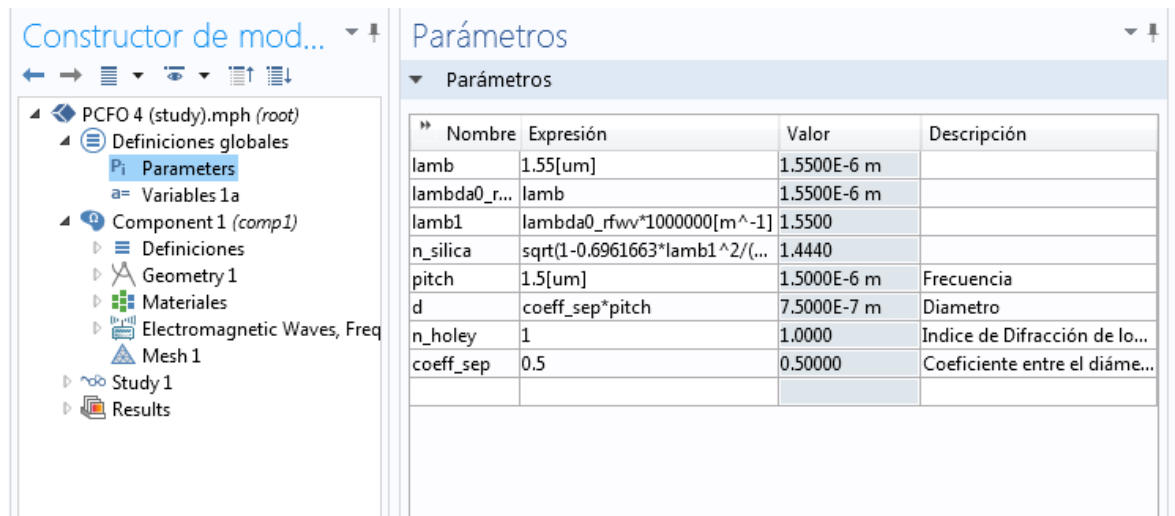


Fig. 7. Ejemplo de parametrización (en este caso, aplicado directamente al caso simulado en este artículo).

Por ejemplo, en la Fig. 7 podemos observar la parametrización aplicada en el diseño a simular en este artículo, donde se ven la gran mayoría de parámetros como

lambda, n_silica (índice de refracción de la silica), pitch, d (donde en vez de introducir un valor normal, se introdujo la fórmula de normalización directamente), n_holey (índice de refracción de los agujeros, el cual al ser aire, es 1) y coeff_sep (usado como parámetro para aplicar la fórmula de normalización en el diámetro).

Paso 2: Geometría.

Como su nombre lo dice, es la forma, el diseño, aquí es donde le damos forma a la mayor parte de la figura a simular.

COMSOL es un software bastante potente, pero para diseñar se requiere cierta visualización espacial ya que no permite mover de forma libre las figuras que vamos realizando, y a su vez debemos manejar un orden lógico en las formas que debemos diseñar primero, y las formas que debemos diseñar al final.

En la Fig. 8. se muestran múltiples opciones para realizar formas en COMSOL, empezando formas básicas como círculos o cuadrados, y pasando por operaciones más complejas como lo son las operaciones booleanas o las transformadas, que nos permiten realizar algunos movimientos como los son “espejo” (para reflejar una forma diseñada posteriormente hacia cualquier eje) o “matriz” (nos permite duplicar una agrupación de formas seleccionada).

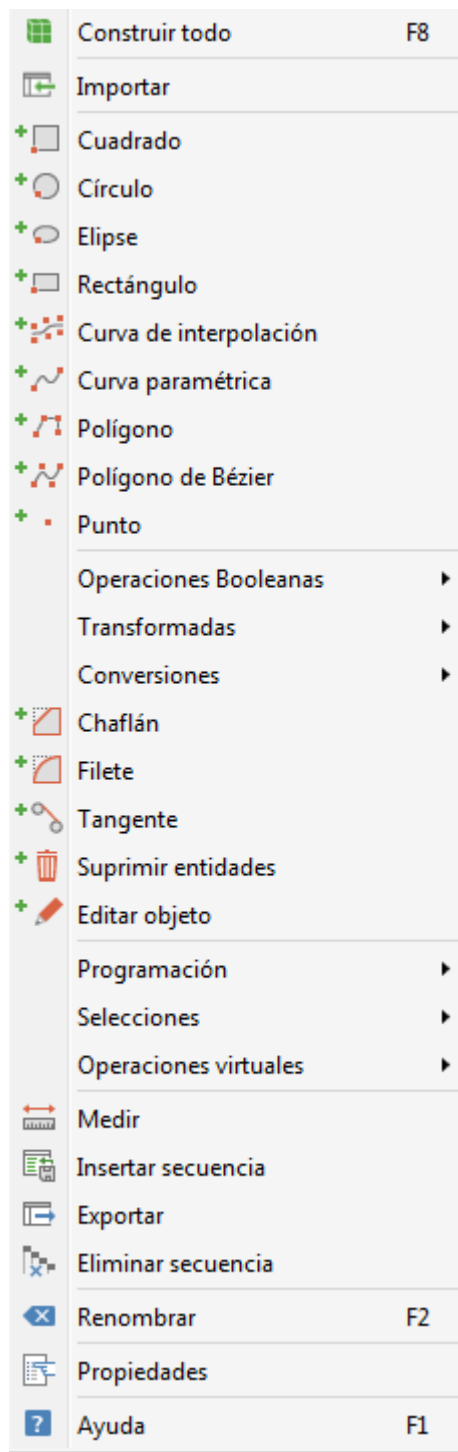


Fig. 8. Ejemplo de opciones básicas a graficar.

En nuestro caso específico, usamos solo formas circulares, por lo que se pudo simplificar bastante el trabajo, además, al ser una forma que manejaba cierta simetría tanto en el eje X como en el eje Y, se pudo realizar esta parte de trabajo mucho más rápido.

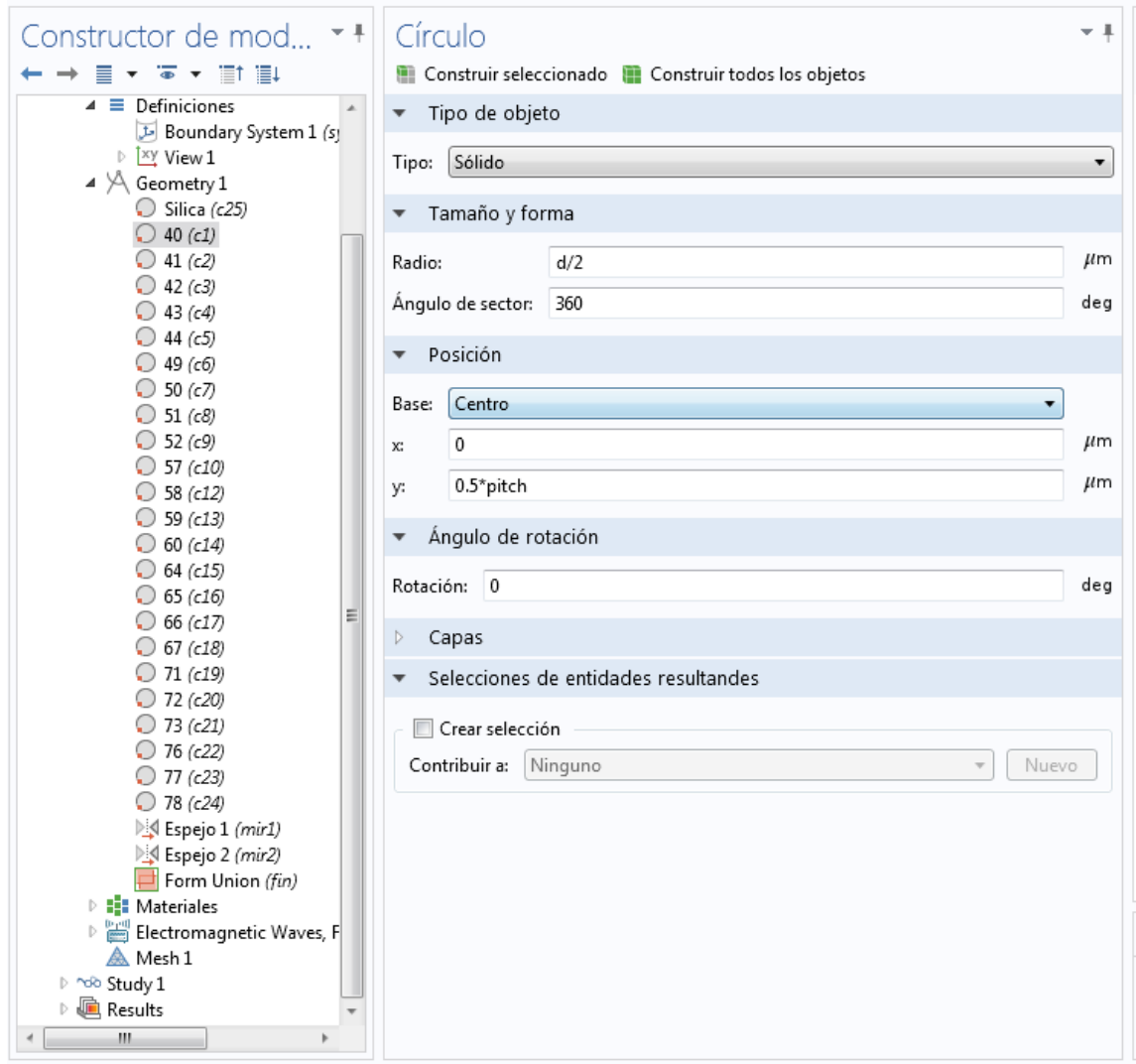


Fig. 9. Ejemplo del diseño de una de las formas.

En la Fig. 9 se muestran los campos paramétricos a rellenar para la creación y posición de las formas. En el lado izquierdo vemos una lista de todas las formas que fueron necesarias para la creación de la geometría final.

Se puede observar en la sección de “círculo”, que aparecen unos campos, aquí es donde se introducen los parámetros para posición y diseño de cada forma de la geometría. En el subcampo “tamaño y forma”, tenemos radio, donde como ya

parametrizamos anteriormente el diámetro, y el radio es $\frac{1}{2}$ del diámetro, solo debemos ingresar el nombre que le dimos para que fuera reconocido (en este caso "d"), y listo. También tenemos el subcampo "posición", y aquí es donde ingresamos las coordenadas cartesianas de cada una de la forma.

En cuanto a la totalidad de las formas con las que se formaron la geometría final, tenemos "silica", que sería el cuerpo de sílica de la fibra, los círculos numerados del 40-78, son los agujeros intermedios en la fibra que crean lo que vendría a ser el núcleo, y al final vemos "espejo 1" y "espejo 2", esto es debido a que a partir de la simetría se creó manualmente $\frac{1}{4}$ de la fibra, y luego se creó un espejo en el eje Y, y a partir de ese espejo se creó otro espejo pero esta vez en el eje X para conformar la fibra completa.

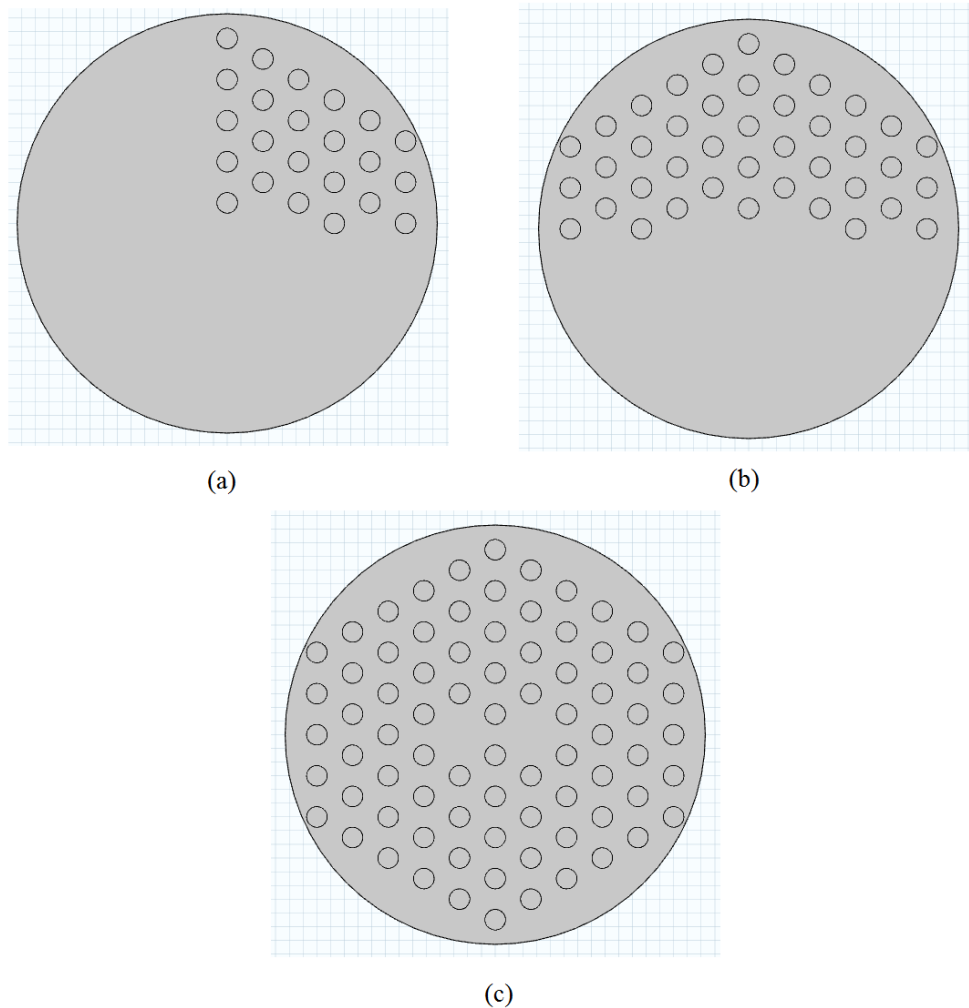
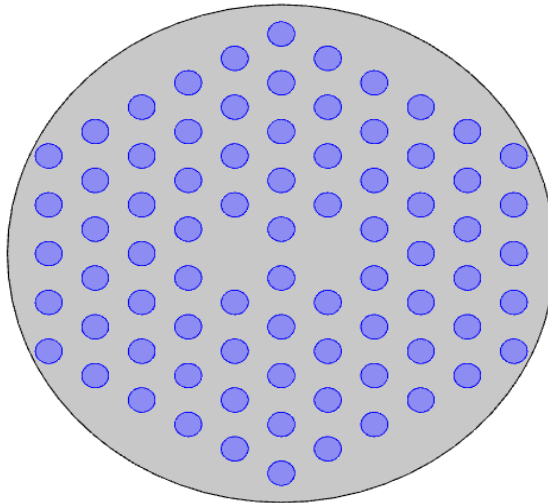


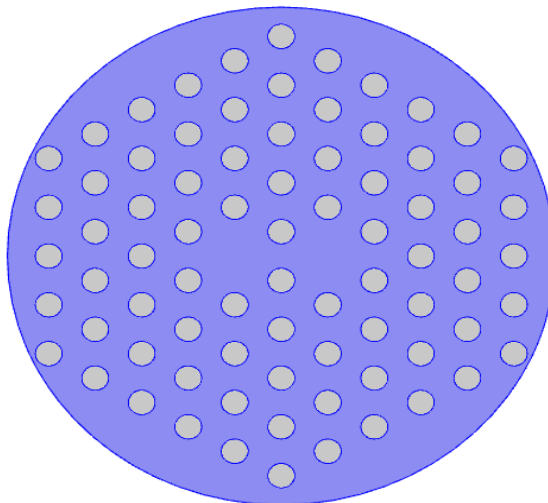
Fig. 10. Creación de los espejos hasta la forma final. (a) Sin espejo, (b) espejo sobre el eje Y, (c) espejo sobre el eje X.

Paso 3: Materiales.

El comportamiento de la onda en la fibra depende en gran medida de los materiales con que se construyen, o siendo más precisos en ello, según la teoría de guías de onda ópticas, es necesario una diferencia de índices de refracción entre los materiales que guían la onda y que la confinan. En este caso tenemos solo dos materiales que son, sílica, con un índice de refracción de 1.45, es el material con el cual está diseñada la fibra, y aire, con un índice de refracción de 1, viene a ser el relleno de los agujeros, y aquí tendríamos la diferencia de índices de refracción entre ambos materiales.



(a)



(b)

Fig. 11. División de las formas entre ambos materiales. (a) Agujeros, rellenos con aire ($n=1$), (b) estructura de sílica ($n=1.45$).

Paso 4: Seleccionar módulo de física.

Como ya se dijo, el COMSOL es un simulador de físicas, por lo que posee infinidad de módulos para analizar distintos efectos físicos y químicos. La persona que va a hacer uso del software debe seleccionar manualmente los módulos que desea cargar.

En este caso el módulo a usar era el módulo de “ondas electromagnéticas, dominio de la frecuencia (emw)”. Aquí principalmente se selecciona el elemento a ser inducido por la onda para su estudio (generalmente lo hace por defecto), y la geometría a la cual se le va a realizar el estudio.

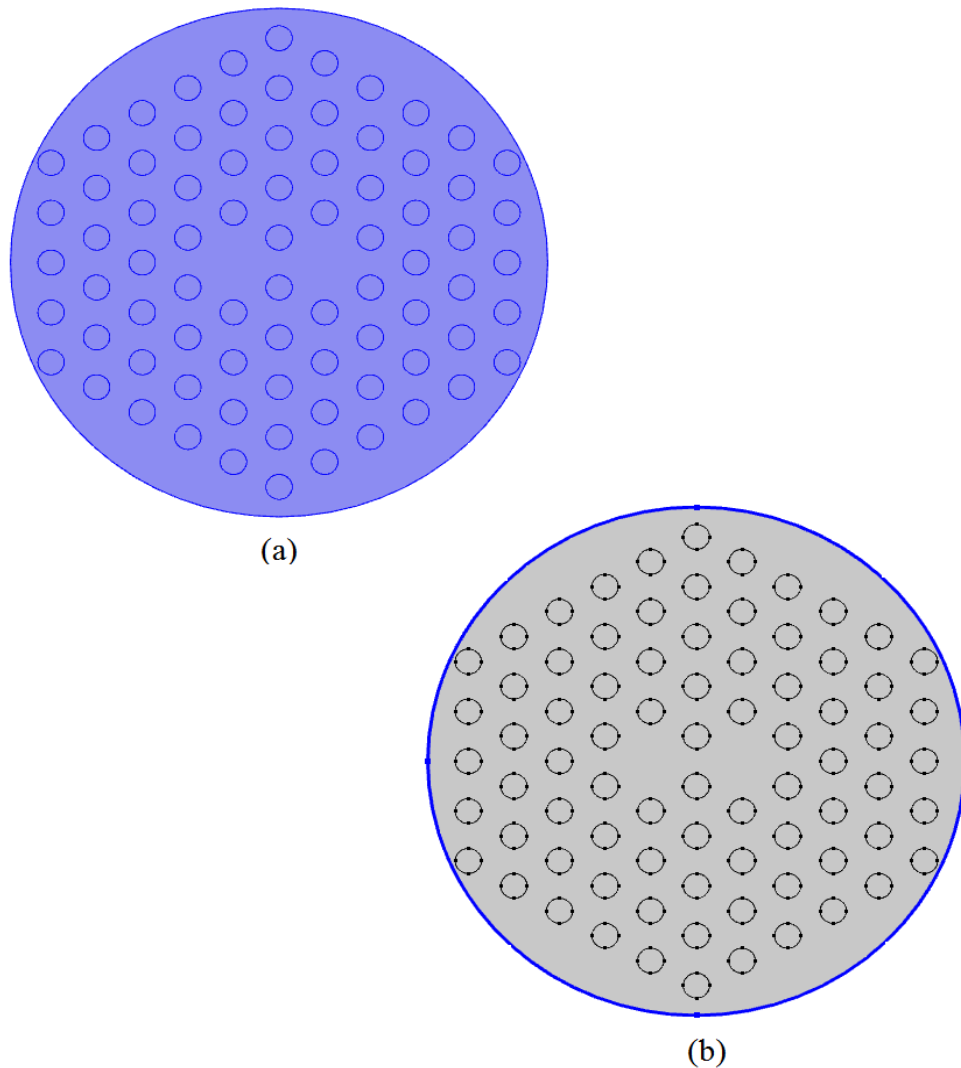
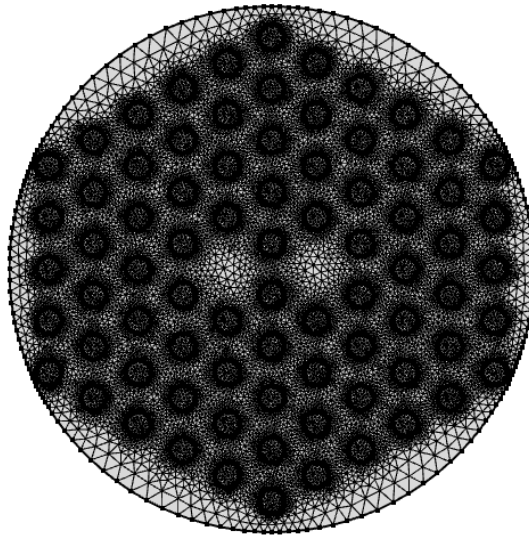


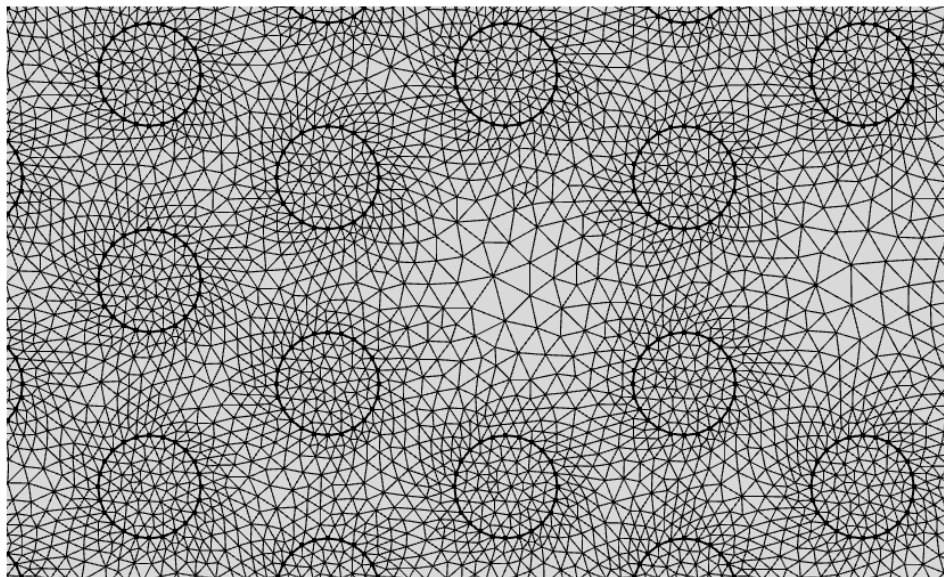
Fig. 12. Elementos a analizar. (a) Elemento al cual se le va a inducir la onda, (b) Contorno del elemento para ser analizado.

Paso 5: Mallar.

En el artículo original, para hacer análisis del comportamiento de ambas fibra se usó un método llamado “método de elementos finitos”, que también es usado por COMSOL para realizar sus simulaciones. Esto consiste en crear un mallar y generar puntos a través de toda la geometría para ser estudiados matemáticamente. Este paso es igual de importante que los anteriores, ya que sin el mallar, el software no va a saber exactamente que analizar, y de hecho, no va a funcionar.



(a)



(b)

Fig. 13. Diseño con mallar. En la figura (a) se observa normal, mientras que en (b), se puede ver con más detalle, aumentando el zoom en uno de los núcleos.

Paso 6: Estudio.

Para finalizar, como ya todo elemento está creado, solo debemos generar el “estudio”. Aquí podremos configurar las frecuencias de las ondas a introducir, crear barridos paramétricos (crear una especie de barrido, variando algún parámetro con constante de cambio lineal), entre otras cosas.

Recopilación y tratamiento de datos.

En los 6 pasos anteriores, realizamos el proceso de simulación, pero ahora es necesario la recopilación de los datos. Estos datos son extraídos de la simulación, Y para ser analizados a partir de las ecuaciones mostradas en el marco teórico, necesitamos los índices de refracción efectivos de cada modo propagado a través de la fibra.

Se realizó la compilación de los distintos datos arrojados por COMSOL en Excel, y como debíamos realizar la gráfica para confrontar con los resultados con los del artículo, y en este sistema se usaron dos programas: Origin, y GetData.

Para realizar una comparación que fuera lo más cercana posible, se requería un programa que permitiera analizar las gráficas expuestas en el artículo original, y para ello se usó GetData. GetData es un programa que permite realizar un análisis gráfico de las imágenes, lo cual ingresando las variables en “X” y “Y”, y superponiendo la imagen original, podemos extraer los valores a cada valor, ya sea en “X” o “Y”

Por otro lado, para procesar los datos mostrados por COMSOL, se usó un programa llamado “origin”, que permite crear gráficas a partir de los datos extraídos y manejados en tablas.

9. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

9.1 Recursos humanos.

Durante la realización de este proyecto, se contó completamente con el profesor Erick Reyes Vera del instituto Tecnológico Metropolitano, que cumplía sus funciones de tutor, asesor, profesor, y que daba las instrucciones a cada paso del proyecto.

9.2 Recursos materiales.

Para la realización de este proyecto, se requirió un computador de gran capacidad para el procesamiento de los datos y el uso de los software necesarios; este computador fue brindado por el ITM a modo de préstamo y se encuentra en el laboratorio de óptica. También se requirió de los software COMSOL, Origin, y GetData, aparte de las herramientas ofimáticas básicas, todas ellas con sus respectivas licencias.

9.3 Recursos económicos o financieros.

No se requirió.

9.4 Cronograma de actividades.

	Agosto				Septiembre				Octubre				Noviembre			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Tiempo de duración de la práctica			■	■	■	■	■	■	■	■	■					
Explicación Proyecto y pre-conceptos			■													
Estudio Teoría proyecto				■	■											
Práctica manejo de software de simulación (COMSOL)						■										
Diseño y parametrización en simulador							■									
Simulación del proyecto								■	■							
Recopilación de datos del proyecto								■	■							
Análisis de los datos y procesamiento										■	■					

10. RESULTADOS Y/O CONCLUSIONES

Se buscaba comprobar entre el análisis teórico, expuesto en el artículo original, y la simulación expuesta en este trabajo, el nivel de similitud o diferencia entre ambos trabajos, para realizar una conclusión, independiente de sus resultados.

Los datos para esta comparación fueron obtenidos a partir de la siguiente gráfica a través de GetData

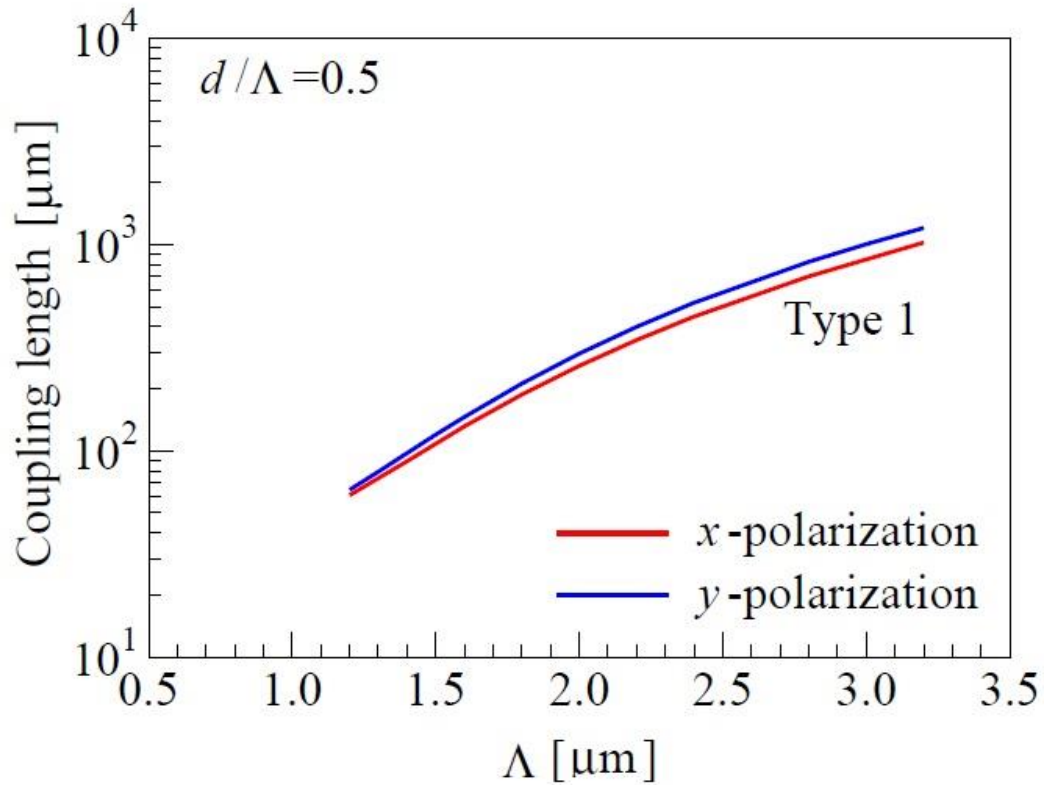


Fig. 14. Gráfica de longitud de acoplamiento contra periodo.

Al analizar toda la información y los datos obtenidos a partir de la simulación, se realizó una comparación entre los datos teóricos y los datos simulados, donde obtuvimos grandes resultados.

POLARIZACIÓN EN Y			
Periodo	L Teórico	L Experimental	% Error
1,20E-06	6,579E-05	6,4150E-05	2,49718637
1,40E-06	1,000E-04	9,6309E-05	3,69081645
1,60E-06	1,494E-04	1,4400E-04	3,59157652
1,80E-06	2,154E-04	2,0878E-04	3,091617
2,00E-06	3,054E-04	2,9190E-04	4,41537216
2,20E-06	4,037E-04	3,9380E-04	2,45259795
2,40E-06	5,337E-04	5,1529E-04	3,44359751
2,60E-06	6,695E-04	6,5567E-04	2,06757488
2,80E-06	8,254E-04	8,1493E-04	1,26875434
3,00E-06	1,036E-03	9,9359E-04	4,0473449

POLARIZACIÓN EN X			
Periodo	L Teórico	L Experimental	% Error
1,20E-06	6,1177E-05	6,0490E-05	1,12205407
1,40E-06	8,9376E-05	8,8642E-05	0,82053349
1,60E-06	1,3335E-04	1,2986E-04	2,61919632
1,80E-06	1,8679E-04	1,8505E-04	0,92752039
2,00E-06	2,5618E-04	2,5510E-04	0,41883837
2,20E-06	3,4402E-04	3,4066E-04	0,9771669
2,40E-06	4,5236E-04	4,4210E-04	2,26913317
2,60E-06	5,5841E-04	5,5997E-04	-0,28010005
2,80E-06	7,0398E-04	6,9382E-04	1,44297368
3,00E-06	8,5090E-04	8,4515E-04	0,67596516

Tabla 1. Resultados, con comparación entre resultados teóricos y experimentales

Como observamos en la Tabla 1., tenemos grandes resultados, y que pueden brindarnos un par de datos importantes para el futuro. El primero, es que los porcentajes de error son muy bajos (oscilan entre 0% y 5%), por lo que pusimos comprobar que se va por buen camino en la parte teórica formulada.

A su vez, al ver esta gran similitud entre la teoría y la simulación, se pudo comprobar que COMSOL es una herramienta apropiada, versátil, confiable y completa para la simulación de MOF (A su vez debemos darle crédito al módulo óptico por ello).

También se debe resaltar que parte de ese porcentaje de error pudo ser incrementado debido a errores en la parte del análisis de los datos teóricos por parte nuestra, puesto que al momento de utilizar el GetData para obtener estos valores, pudimos tener pequeños márgenes de error que al momento de introducir los datos generan este tipo de situaciones.

Aplicación teórica: Fibra óptica microestructurada doble núcleo con chirp.

La representación de fibra óptica microestructurada doble núcleo es mostrada en la Fig. 16. El diámetro de los agujeros circulares rellenos con aire decrece linealmente desde un valor d_{max} en el lado izquierdo de la fibra, hasta un valor d_{min} en el lado derecho de la fibra, mientras ellos están arreglados con una configuración de malla triangular con pitch constante. La MOF considerada posee cinco anillos en los agujeros con aire, donde los núcleos sólidos no son idénticos y están separados por tres agujeros en la microestructura con una distancia de 4Λ , por lo que la MOF con chirp es una estructura con núcleos desacoplados, similar a un interferómetro Mach-Zehnder. Los índices efectivos y distribución de campos de los modos fundamentales guiados son calculados usando un software comercial con capacidad de elementos finitos, operando a un único modo en cada núcleo a una longitud de onda de $\lambda = 633 \text{ nm}$ con índice de refracción base de $n = 1.45$.

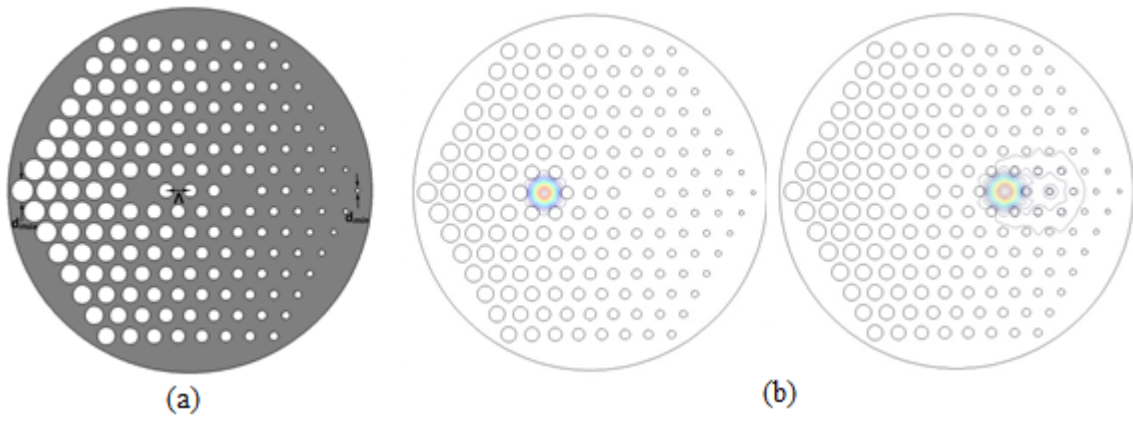


Fig. 16. Sección transversal de una MOF doble núcleo con chirp (imagen lado derecho), componente en el eje Z del “vector poynting” asociado al modo fundamental en el núcleo izquierdo y derecho a $\lambda=633\text{ nm}$, $\Lambda = 3.45\ \mu\text{m}$, $d_{\text{max}} = 2.8\ \mu\text{m}$, $d_{\text{min}} = 0.6\ \mu\text{m}$; Todos los agujeros están rellenos con un analito de índice de refracción $n = 1.43$.

Como podemos ver en la Fig. 16(b), solo un modo en los núcleos (en este caso el núcleo derecho con los agujeros más pequeños), tiene una sustancial superposición con el analito, por lo tanto, se está modulando la transmitancia del dispositivo con una influencia diferencial en el índice de refracción efectivo en los modos de cada núcleo. Entonces, la diferencia de fase acumulada entre los dos modos fundamentales que se propagan a través de los núcleos de la fibra será $\delta\varphi = \left(\frac{2\pi\Delta n_{eff}L}{\lambda}\right)$, donde Δn_{eff} y L son, respectivamente, la diferencia de índice de refracción efectivo entre los dos modos fundamentales y la longitud de la fibra.

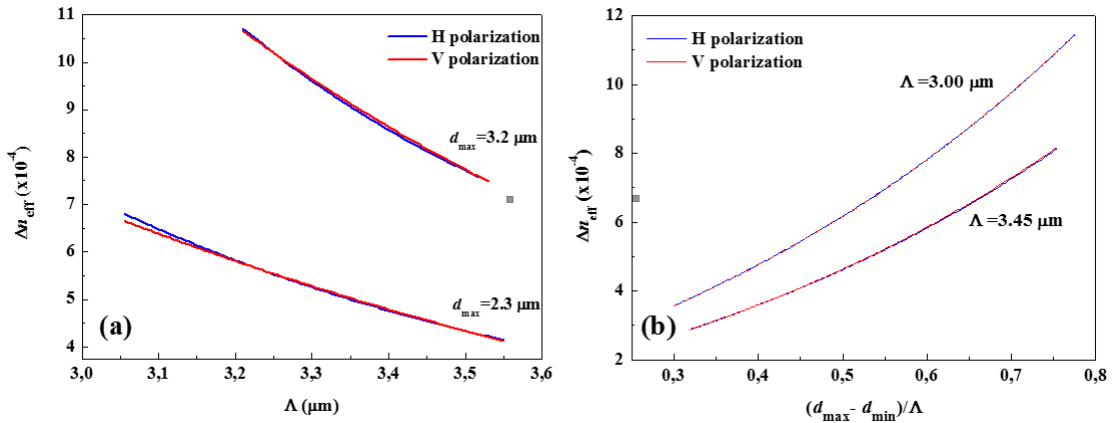


Fig. 17. Diferencia de índice de refracción efectivo entre los dos modos fundamentales que se propagan a través de los núcleos de la fibra cuando todos los agujeros en la microestructura están rellenos con agua. (a) dependencia del pitch de los agujeros, con $d_{min} = 0.6 \mu m$, tomando en valor d_{max} como el parámetro; (b) dependencia de $(d_{max} - d_{min})/\Lambda$, tomando el valor de Λ como parámetro.

Fig 2(a) muestra la dependencia del pitch hacia la diferencia de índice de refracción efectivo Δn_{eff} entre los dos modos fundamentales -para las dos polarizaciones ortogonales- que se propagan a través de los núcleos de la fibra, cuando el diámetro de los agujeros decrece linealmente desde $d_{max} = 2.3 \mu m$ y $d_{max} = 3.2 \mu m$, hasta $d_{min} = 0.6 \mu m$, donde todos los agujeros de la microestructura están rellenos con agua. La diferencia de índice de refracción efectivo en las fibras con menor pitch, y mayor valor de d_{max} se vuelve cada vez más grande. En adición, la estructura que es mostrada en la Fig. 16, la cual exhibe una pequeña diferencia relativa entre los Δn_{eff} de los dos modos ortogonales polarizados, sin embargo, en cada caso hay dos puntos donde ambos modos polarizados tienen igual Δn_{eff} .

Fig. 17(b) muestra la dependencia de la pendiente ($S = \frac{d_{max} - d_{min}}{\Lambda}$) de la diferencia del índice de refracción efectivo entre los dos modos fundamentales que se propagan a través de los núcleos de la fibra, cuando todos los agujeros en la microestructura están rellenos de agua, donde el pitch de los agujeros es tomado

como parámetro. La diferencia del índice de refracción efectivo incrementa monótonamente con la pendiente S. Podemos ver en esta figura que el Δn_{eff} de los dos modos ortogonales polarizados son casi idénticos al hecho que indica la poca sensibilidad en la polarización de nuestro diseño.

En la Fig. 18(a) las diferencias del índice de refracción efectivo Δn_{eff} para dos diseños de MOF doble núcleo con chirp son mostradas en función del índice de refracción del analito, n_a . Es evidente que la curva de Δn_{eff} es críticamente dependiente del diseño de la fibra. Para un menor d_{max} , la diferencia del índice de refracción efectivo incrementa exponencialmente con n_a . Sin embargo, si d_{max} es incrementado, se puede observar que la diferencia entre índices de refracción efectivo tiene un comportamiento completamente diferente y ahora decrece con n_a (bajo las condiciones actuales encontramos que depende de manera cuadrática).

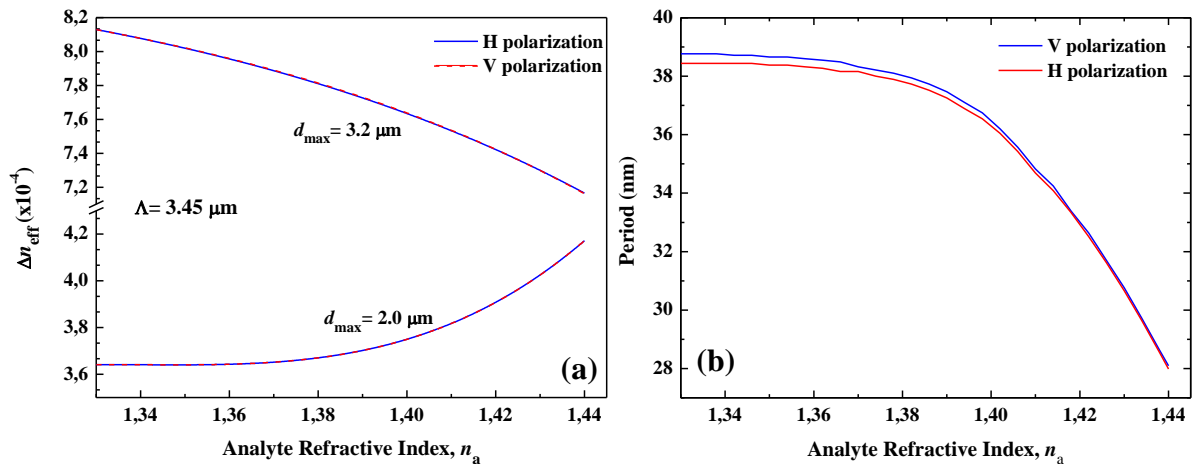


Fig. 18. (a) Diferencia de índices de refracción efectivo entre los dos modos fundamentales que se propagan a través de los núcleos de la fibra en función del índice de refracción del analito con $\Lambda = 3.45 \mu m$, tomando el valor d_{max} como parámetro. (b) patrón del periodo de interferencia en función del índice de refracción del analito.

La importancia de estos resultados puede ser descrita como: La pendiente S para $d_{max} = 2.0 \mu m$ es menor que la pendiente para $d_{max} = 3.2 \mu m$. En consecuencia, cuando el analito es insertado en los agujeros de la fibra en sus primeras condiciones con un S menor, ambos índices de refracción efectivos en los modos del núcleo derecho e izquierdo incrementan, y a su vez, el modo del núcleo derecho cambia más desde que el núcleo derecho con los agujeros más pequeños tienen una mayor superposición con el analito, que en el núcleo izquierdo. Consecuentemente, el Δn_{eff} inducido por los cambios en el analito incrementa. La segunda condición es que a mayor S, cuando el índice de refracción del analito

incrementa, el índice de refracción efectivo del modo en el núcleo derecho incrementa y el núcleo izquierdo es difícilmente perturbado. Por lo tanto el Δn_{eff} en conjunto con el índice de refracción del analito decrece. Esto puede ser observado en la Fig. 18(a), donde nuestros dispositivos mostraban máximos niveles de sensibilidad para índices cercanos a al cristal de la fibra de cristal fotónico. Arriba de ese valor, los modos de los núcleos se vuelven modos que radian efectivamente y la interferencia del patrón desaparece.

Además, anteriores cálculos numéricos indican que la pérdida por confinamiento para el núcleo derecho puede ser significativa. Como ejemplo, cuando la MOF es llenada con agua es 0.03dB/cm y cuando es llenada con analito $n_a = 1.41$ es 10 dB/cm mientras que cuando es llenado con analito $n_a = 1.42$ es 30 dB/cm (la pérdida por confinamiento del núcleo izquierdo es muy baja). Así, usando la presente fibra, la longitud del interferómetro sería limitada por esas pérdidas. Por otra parte, en cuestiones referentes a las pérdidas, se puede reducir su impacto si se usa codificación en la longitud de onda, donde el valor del índice de refracción del analito es obtenido con un medidor de periodicidad espectral con fuente de ancho de banda. Cuando el rango de la longitud de onda ($\Delta\lambda$) de la fuente óptica es menor que la longitud de onda pico (λ_0), el periodo en el patrón de la interferencia puede ser expresado como $P = \lambda_0^2 / (\Delta n_{eff} L)$. El periodo del patrón de interferencia es independiente de la visibilidad y es calculado con precisión a partir de la transformada de Fourier. Fig. 18(b) muestras los respectivos periodos en función del índice de refracción del analito para la estructura. Se puede observar que en el rango de 1.418-1.440 el periodo cambia considerablemente. La resolución del índice de refracción en ese rango es estimada en $\sim 4.1 \times 10^{-5}$, asumiendo que podemos resolver cambios en el periodo de 10 pm. En el rango de 1.33-1.38 la resolución es menor.

Conclusión aplicación teórica.

Las características refractométricas de MOF doble núcleo con chirp transversal han sido altamente investigadas. El rendimiento del sensor fue estudiado en un amplio rango de parámetros de la fibra y el índice de refracción del analito. Debido a esta compacta configuración, esta novedosa estructura puede ser usada en diferentes aplicaciones refractométricas, como el monitoreo de procesos o parámetros químicos y biomédicos.

10.1 Competencias del saber obtenidas.

Durante el desarrollo de éste proyecto, se obtuvieron múltiples competencias y conocimientos, los más recalcables son:

- Aprendizaje del uso de nuevos y robustos software como lo son el origin, GetData, y por supuesto, COMSOL.
- Desarrollo de habilidades para la investigación, que incluyen cualidades como lo son el orden, la disciplina, el trabajo en equipo, entre otras.
- Aprendizaje de nuevos elementos que no se tocan durante el recorrido de la carrera, como lo son los cristales fotónicos las fibras microestructuradas
- Reconocimiento de nuevos conceptos teóricos en el campo de la física de ondas, como lo son potencia normalizada, longitud de acoplamiento, entre otros.
- Capacidad para el desarrollo de artículos de carácter científico, dispuestos a ser publicaciones, y también ofrecer nuevos enfoques a la comunidad científica.

10.2 Aportes a la empresa.

Toda investigación de carácter científico e investigativo realizado a partir del uso de elementos (tanto materiales como humanos) dispuestos por la empresa, permite un reconocimiento fuerte por parte del desarrollador del proyecto. A su vez, el desarrollo humano por parte del escritor de este documento continúa, por lo que a futuro obtienen alguien que pueda capacitar en el manejo del software manejado, y el desarrollo de nuevos proyectos a futuro.

10.3 Logros.

Durante el desarrollo de este proyecto, se obtuvieron gran cantidad de logros, tanto en el ámbito académico, como en el ámbito personal

Empezando por lo académico, fue un desarrollo que, en inicio, el conocimiento por parte del estudiante era cero en todos los aspectos ya que no tenía conocimiento en absoluto del software a manejar, la teoría en profundidad requerida para la realización del proyecto es muy densa y extensa, y no se explica en ningún momento de la carrera (especialmente por su carácter físico), y al terminar esto, logré desarrollar grandes competencias en el manejo del software, y aunque la teoría aún no se domina con fluidez, se ha aprendido una gran cantidad de nuevos conceptos útiles para el conocimiento académico, y también para el ámbito general

En lo personal, es muy satisfactorio obtener capacidades que representan madurez en el ser humano, como lo son la disciplina, la responsabilidad, el compromiso, entre otras cualidades resaltables en el buen hacer. También se desarrollaron aptitudes para la investigación, las cuales por fortuna del escritor van a ser aplicadas en futuros proyectos que ya se encuentran en proceso.

10.4 Dificultades.

Las dificultades, o mejor dicho, la dificultad, siempre será en este caso el tiempo. Cuando se realiza un proyecto de carácter investigativo, se pueden desarrollar aptitudes para muchas cosas, pero eso consume tiempo que en todos los seres humanos es valioso. Es una carrera contra lo desconocido, puesto que aunque puedas visualizar lo que, probablemente vas a encontrar, muchas veces se generan fenómenos inesperados y que, de hecho, son más comunes en la investigación. Es por eso que, aunque se maneje una disciplina y un orden en esto, vas a desperdiciar gran parte de tu tiempo con datos que no aportan nada a tus fines.

10.5 Recomendaciones.

El conocimiento es algo que está en constante expansión, por lo que es necesario siempre buscar aprender algo nuevo, puesto que es expandir nuestra mente, y generar nuevos puntos de vista. También, siempre se debe intentar mejorar, tanto en lo personal, como en lo académico y lo laboral. El mejorar en estos aspectos, permite un crecimiento general en todas las acciones que realicemos y por ende, se traduce en mejores resultados en esos proyectos.

BIBLIOGRAFÍA

- A. Méndez, T. F. M. (2007). *Specialty Optical Fibers Handbook*. (E. Inc, Ed.). San Diego: Academic Press.
- Broeng, J., Broeng, J., Mogilevstev, D., Mogilevstev, D., Barkou, S. E., Barkou, S. E., ... Bjarklev, A. (1999). Photonic Crystal Fibers: A New Class of Optical Waveguides. *Optical Fiber Technology*, 5(3), 305–330.
- Fogli, F., Saccomandi, L., Bassi, P., Bellanca, G., & Trillo, S. (2002). Full vectorial BPM modeling of Index-Guiding Photonic Crystal Fibers and Couplers. *Optics Express*, 10(1), 54–9. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19424330>
- Govind P., A. (2002). *Fiber-Optic Communications Systems, Third Edition*. (Third Edit., Vol. 6). John Wiley & Sons.
- Joannopoulos, J. D., Johnson, S. G., Winn, J. N., & Meade, R. D. (2008). *Photonic Crystals* (2nd ed.). New Jersey: Princeton University Press.
- Markos, C., Yuan, W., Vlachos, K., Town, G. E., & Bang, O. (2011). Label-free biosensing with high sensitivity in dual-core microstructured polymer optical fibers. *Optics Express*, 19(8), 7790–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21503089>
- Neri Vela, R. (2004). Lineas de Transmision.
- Reyes-Vera, E., Gómez-Cardona, N., & Torres, P. (2014). Label-free biosensor based on a dual-core transversally chirped microstructured optical fiber, 9157, 91578J. doi:10.1117/12.2059611
- Saitoh, K., Sato, Y., & Koshiba, M. (2003). Coupling characteristics of dual-core photonic crystal fiber couplers. *Optics Express*, 11(24), 3188–95. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19471444>
- Torres, P., Reyes-Vera, E., Díez, A., & Andrés, M. V. (2014). Two-core transversally chirped microstructured optical fiber refractive index sensor. *Optics Letters*, 39(6), 1593–6. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24690846>

Youngquist, R. C., Brooks, J. L., & Shaw, H. J. (1983). Birefringent-fiber polarization coupler. *Optics Letters*, 8(12), 656–8. Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19721560>

ANEXOS

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

DATOS PERSONALES

Nombre y Apellidos	Fabián Velásquez Botero
Lugar y Fecha de Nacimiento	Pereira, 6 de enero de 1993
Estado Civil	Soltero
Cédula de Ciudadanía	1039458895
Dirección y Barrio	CII57B #31-48
Teléfonos, celular	2172331, 3012688858
E-mail	fabianvelbot@gmail.com



INFORMACIÓN ACADÉMICA

Terminé Estudios de **Secundaria** en: Institución Educativa Escuela Normal Superior Amagá
 Estudiante de Tecnología en Telecomunicaciones en: Instituto Tecnológico Metropolitano ITM
 Nivel: VI Jornada: Mañana
 Ha firmado Contrato de Aprendizaje anteriormente? Si No

REFERENCIAS PERSONALES Y/O FAMILIARES


NOMBRE Y APELLIDOS	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	PARENTESCO	LABORA EN
Rut Amalia Botero Moncada	CII 49 # 51-21 P2 (Amagá, Antioquia)	3015559242	Madre	Auxiliar de Odontología
Allan Daniel Ledesma Díaz	CII 78A # 85A - 10	3013385916	Amigo	Estudiante
Alfredo José Gonzales Arrieta	CII 55 # 42 - 47	3016196777	Amigo	Estudiante

FORMACIÓN Y COMPETENCIAS

Describa conocimientos y habilidades en los siguientes aspectos. ¿Cuáles?
En informática: Poseo conocimiento de nivel de usuario en programas básicos de ofimática (Word, Excel, Power Point); a lo largo de mi carrera he usado programas enfocados a las telecomunicaciones, tales como Cisco Packet Tracer, XCTU, Chanalyzer (Interfaz gráfica de un analizador de espectro portátil); también he trabajado con Vyatta y MikroTik (routers virtuales) y poseo conocimiento básicos de Linux, Windows Server 2003 y servicios que pueden ser montados en estos sistemas.
Competencias en segunda lengua: (Marque E - excelente, B - bueno, R - regular) Idioma INGLES Lee B Escribe B Habla B
Perfil personal (cualidades y valores) y/o experiencias laborales significativas: Como persona me considero responsable, amante del conocimiento y del pensamiento, con habilidades para adaptarme al entorno o a las situaciones. Busco lograr mis metas y aprender lo que más pueda en el camino de ellas, intento que los deberes que se me asignen sean llevados a cabalidad con la mayor eficiencia posible. Referente al trabajo en equipo tengo la habilidad de formar buenos lazos de camaradería con los demás, soy muy responsable con lo que se me asigna, aunque también intento participar en la mayoría de todo el deber, ya que con ello logro aprender cosas nuevas y desarrollar nuevas habilidades.

Estudiante

Prácticas Profesionales

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

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.

FORMACIÓN POR COMPETENCIAS.

TECNOLOGÍA: TELECOMUNICACIONES.

1. OBJETO DE FORMACIÓN DE LA TECNOLOGÍA.

La formación del Tecnólogo en Telecomunicaciones está orientada hacia el transporte de 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. COMPETENCIAS DEL SABER O CONOCIMIENTOS BÁSICOS DE LA TECNOLOGÍA.

- Organiza y maneja la información recolectada a través de símbolos, gráficos, planos, diagramas.
- Mide las variables eléctricas y analiza los componentes del circuito eléctrico, utilizando adecuadamente las herramientas y diferentes recursos de su entorno.
- Diferencia los conceptos de electrónica analógica y electrónica digital, basándose en sus aplicaciones.
- Analiza el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
- Diferencia las clases de Ruido y aplica los modelos matemáticos para medir su efecto sobre diferentes tipos de señales.
- Determina la diferencia entre conductividad, resistividad y resistencia.
- Analiza parámetros y especificaciones técnicas en catálogos o en manuales de equipos de Telecomunicaciones.
- 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.
- Utiliza herramientas, técnicas y metodologías de señales que le permiten analizar sistemas de transmisión de información.
- Aplica leyes y técnicas de líneas de transmisión al utilizar las características y comportamiento de un medio específico de transmisión guiado.
- Resuelve problemas de acoplamiento de impedancias.
- Configura dispositivos de usuario para conectarse a Internet a través de la red.
- Realiza pruebas de cableado, aplicando los conceptos de ruido, para determina el estado físico de una red.

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

- Instala, opera y mantiene una red Ethernet, aplicando los principios básicos de funcionamiento y realiza cambios sin deteriorar el rendimiento del sistema.
- Reconoce el tipo de cableado y normas de una red Ethernet y recomienda cambios pertinentes en los dispositivos físicos, para mejorar el desempeño de éstos.
- Identifica problemas propios de una red Ethernet y los soluciona, para mantener la red operando bajo parámetros aceptables.
- Lectura de manuales en inglés
- Realiza consideraciones de tipo ético y de riesgos en torno al ejercicio de las labores de TC
- En un caso específico, configura una red creando VLANs, plantea soluciones y propone tecnologías, aplica técnicas de subdivisión de redes y configura de dispositivos de acuerdo con los requerimientos.

3. COMPETENCIAS DEL HACER PROFESIONAL O HABILIDADES PARA DESEMPEÑARSE EN UNA EMPRESA.

El estudiante puede:

- Realizar la medición y el análisis de las variables eléctricas de un proceso de producción industrial.
- 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.
- Comprender el concepto de carga eléctrica y los efectos que causa en el vacío y en medios dieléctricos.
- Aplicar los conceptos de energía y potencial eléctrico y, su relación con la capacitancia y la corriente eléctrica.
- Comprender y aplicar los conceptos relacionados con los campos magnéticos constantes y dependientes del tiempo.
- 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.
- Conocer las redes celulares y su diseño.
- Entender el funcionamiento de los sistemas satelitales y sus cálculos.

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

Firma del Estudiante

Fecha de elaboración

 Institución Universitaria	GUIA No. 1 FUNCIONES O COMPETENCIAS DE DESEMPEÑO	Código	FDE 074
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

PRÁCTICA PROFESIONAL
Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD:			
Práctica Empresarial	<input type="checkbox"/>	Práctica Laboratorio	<input checked="" type="checkbox"/>
Contrato de Aprendizaje	<input type="checkbox"/>	Práctica Social	<input type="checkbox"/>

Nombres y apellidos: <u>Fabián Velasquez Botero</u> Cédula: <u>1039458895</u> Carné: <u>10206195</u> Teléfonos: <u>2172331 ó 3012688858.</u> Programa: <u>Tecnología en Telecomunicaciones</u> Inicio del contrato: <u>19/08/2014</u> Terminación de contrato: <u>20/10/2014</u> Empresa: <u>Instituto Tecnológico Metropolitano</u> Sector Productivo: <u>Educativo</u> Dirección: <u>Calle 54A # 1 – 30</u> Teléfono: <u>4600727 Ext. 5584 ó 5586</u> Coordinador en la empresa: <u>Erick Reyes Vera</u> Cargo: <u>Docente Ocasional</u> E - Mail: <u>erickreyes@itm.edu.co</u> Fecha: <u>19/08/2014</u> Total horas semanales en la empresa: <u>192</u>

Diligencie el siguiente campo con una de las dos opciones:

A. Información del tecnólogo: Funciones y/o actividades asignadas por la empresa: al estudiante B. Información del Ingeniero: Resumen ejecutivo: (Es un breve análisis de los aspectos más importantes del proyecto, describe el producto o servicio y sus beneficiarios, el contexto, los resultados esperados, las necesidades de financiamiento y las conclusiones generales.)
Funciones <ul style="list-style-type: none"> • <u>Realizar el diseño de dispositivos integrados totalmente a fibra óptica para aplicaciones en telecomunicaciones (Simulaciones)</u> • <u>Evaluar el comportamiento de dichos dispositivos al alterar los diferentes parámetros físicos.</u> • <u>Elaborar informe final con los resultados de la practica (simulaciones y análisis de resultados).</u>


Nota: Entregar a los 8 días

Firmas:

Erick Reyes Vera
Coordinador en la empresa

Fabián Velasquez B.
Estudiante

ROBERTO TRAVEZ
Prácticas profesionales ITM

 Institución Universitaria	GUIA No.2 SEGUIMIENTO A LOS ESTUDIANTES DE LA PRACTICA PROFESIONAL	Código	FDE 075
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL:

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
 Práctica Social

Nombres y apellidos: Fabian Velasquez Botero

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Empresa: Instituto Tecnológico Metropolitano **Fecha:** 06/05/2015

Para el ITM es de gran importancia el proceso de formación integral, igualmente la valoración que ustedes como empresa realicen sobre el desempeño de los estudiantes que participan en la dinámica empresarial.

Valore con las siguientes categorías los factores enunciados:


E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE, NE = NO EVALUABLE

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico	X				
Interés, motivación y compromiso con la práctica	X				
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo	X				
Comunicación asertiva	X				
Puntualidad y cumplimiento	X				
Presentación personal	X				
Adaptabilidad al puesto de trabajo	X				
Respeto por los demás	X				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar	X				
Autonomía	X				
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	X				
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo	X				
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo	X				
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos	X				
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales	X				
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización	X				
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones	X				
Recursividad	X				
Calidad del trabajo realizado	X				
Capacidad de trabajo en equipo	X				
Responsabilidad en las tareas encomendadas	X				

Erick Reyes Vera
 Coordinador en la empresa

Yolanda Patricia Nájera
 Prácticas Profesionales ITM

Entregar al mes

 INSTITUCIÓN UNIVERSITARIA	GUIA No.3 EVALUACIÓN DEL ESTUDIANTE EN SU PRACTICA PROFESIONAL	Código	FDE 076
		Versión	02
		Fecha	2012-07-25

Evaluación diligenciada por el Estudiante

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
 Práctica Social

Nombres y apellidos: Fabian Velásquez Botero

Teléfonos: 3012628858

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Nombre de la empresa: ITM

Dirección: Cll 54A # 30-01 Teléfono: 460 07 27

Para fortalecer el proceso de aprendizaje interinstitucional (EMPRESA – ITM), le solicitamos a usted como estudiante su aporte sobre los siguientes aspectos:

E = EXCELENTE, B = BUENO, A = ACEPTABLE, D = DEFICIENTE

Como contribuye la práctica profesional a la construcción de su proyecto de vida para:


ÍTEMS	E	B	A	D
Su desarrollo como persona	X			
Su proyección a futuro	X			
Fortalece sus relaciones interpersonales	X			

Como contribuye la práctica en su formación profesional en cuanto a:

ÍTEMS	E	B	A	D
Fortalece el desarrollo de sus competencias y el objeto de su formación profesional	X			
Aplica sus conocimientos profesionales durante la realización de la práctica	X			
Las prácticas profesionales fortalecen las actitudes y aptitudes personales para actuar en el entorno laboral		X		
Al finalizar su experiencia empresarial, considera que cumplió los objetivos	X			

FIRMA DEL ESTUDIANTE Fabian Velásquez Botero
 Fecha 24/10/14 María Tereza Castellón A

Entregar a los 3 meses

 Institución Universitaria	Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Evaluación diligenciada por la empresa

MODALIDAD DE PRÁCTICA PROFESIONAL

Práctica Empresarial Práctica Laboratorio Contrato de Aprendizaje
 Práctica Social

Nombres y apellidos: Fabián Velásquez Botero

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Empresa: Instituto Tecnológico Metropolitano (Laboratorio de Investigación de óptica,


Fotónica y visión Artificial M9811) **Fecha:** 06/05/2015

Solicitamos a usted evaluar en forma objetiva las funciones y actividades del practicante para determinar su avance en la Empresa

E: Excelente Calificación 5.0	B: Bueno Calificación de 4.0 a 4.9	A: Aceptable Calificación de 3.0 a 3.9	D: Deficiente Calificación de 1.0 a 2.9	NE: No Evaluable
---	--	--	---	-------------------------

Seleccionar con una X

FACTORES A EVALUAR					
Saber Ser					
	E	B	A	D	NE
Pensamiento crítico	x				
Interés, motivación y compromiso con la práctica	x				
Proactividad y creatividad en su puesto de trabajo	x				
Comunicación asertiva	x				
Puntualidad y cumplimiento	x				
Presentación personal	x				
Adaptabilidad al puesto de trabajo	x				
Respeto por los demás	x				
Saber Disciplinar					
Conocimientos básicos del programa a aplicar	x				
Deseo y capacidad de actualizar sus conocimientos	x				
Autonomía	x				
Capacidad de investigación y aplicación al puesto de trabajo	x				
Manejo de los aplicativos internos de su puesto de trabajo	x				
Diseña estrategias para el mejoramiento de los procesos	x				
Conoce y comprende la normatividad de los procesos empresariales	x				
Saber hacer					
Habilidad y flexibilidad para aceptar los cambios internos de la Organización	x				

 ITM Institución Universitaria	Guía No. 4 EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	Código	FDE 077
		Versión	03
		Fecha	2013-09-12

Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones	x				
Recursividad	x				
Calidad del trabajo realizado	x				
Capacidad de trabajo en equipo	x				
Responsabilidad en las tareas encomendadas	x				

EVALUACION FINAL: Evalúe de (1 a 5), el desarrollo final de experiencia realizada por el aprendiz durante el período laborado en la empresa. (Véase escala de valoración definida en la parte superior)

CALIFICACIÓN	
NÚMERO	LETRAS
5.0	Cinco

Observaciones y Sugerencias para complementar la formación del programa académico al cual pertenece el estudiante

Ninguna observación extra

Erick Reyes Vera
Coordinador en la empresa


FREDY TORRES M.
Prácticas Profesionales ITM

Nota:

Esta evaluación debe ser entregada a la Oficina de Prácticas un mes antes de finalizar la experiencia en la empresa.	Solicite en la empresa una carta con la constancia de la realización de Prácticas indicando fecha de iniciación y finalización.
--	---

El ITM agradece a la empresa la acogida que les brindaron a nuestros estudiantes en el proceso de formación integral.

Además ustedes contribuyeron en la proyección de nuestros jóvenes para actuar con autonomía académica y reconocer la trascendencia de la vida y el trabajo.

 Institución Universitaria	EVALUACIÓN DE MODALIDAD TRABAJO DE GRADO Y PRÁCTICAS PROFESIONALES FACULTAD DE INGENIERÍAS	Código	FDE 090
		Versión	02
		Fecha	2014-10-14

INFORMACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

Título			
DISEÑO DISPOSITIVOS INTEGRADOS BASADOS EN FIBRAS ÓPTICAS MICROESTRUCTURADAS DOBLE NÚCLEO.			
Programa Académico:	Tecnología	x	Ingeniería
Modalidad Trabajo de Grado			
Proyecto de Grado	Práctica Profesional		Emprendimiento
Producto de Investigación	Prácticas en Laboratorios de Docencia o Investigación	x	Pasantías
Certificación	Reconocimiento Laboral		Cursos de Posgrado
Grupo de investigación: Automática, electrónica y ciencias computacionales.		Código proyecto	P14102.
Tipo de Informe (Solo aplica modalidad Proyecto de Grado)	Propuesta de Proyecto de Grado		Informe Final de Proyecto de Grado
Estudiantes			
Nombre	Cédula	Correo electrónico	
Fabian Velasquez Botero	c.c. 1039458895	fabianvelbot@gmail.com	
Asesor			
Nombre	Institución	Correo electrónico	
Erick Estefen Reyes Vera	Instituto Tecnológico Metropolitano.	erickreyes@itm.edu.co	

CONCEPTO DEL JURADO EVALUADOR

Concepto inicial sobre el trabajo de grado			
Aprobado sin modificaciones	x	Se requieren modificaciones	Rechazado
Observaciones (Se pueden anexar hojas adicionales para una descripción más amplia de las observaciones) Evidenciar existencia de producto (Aplica sólo para producto de investigación)			
Jurados evaluadores	Erick Estefen Reyes Vera		
Firma	Erick Reyes Vera		
	FECHA: 12/05/2015		

 ITM Institución Universitaria	CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	Código	FGB 019
		Versión	01
		Fecha	2013-11- 01

El(los) abajo firmante(s) autoriza(mos) al Instituto Tecnológico Metropolitano –Institución Universitaria, para que almacene, reproduzca, modifique, 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 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 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 tanto, para todos los efectos legales, disciplinarios, administrativos y patrimoniales, el ITM actúa como tercero de buena fe.

Facultad: _____

Programa: *Tecnología en telecomunicaciones* _____

Nivel: Pregrado Especialización _____ Maestría _____ Doctorado _____

Modalidad de trabajo de grado: *Práctica laboratorio* _____

Título del trabajo de grado: *Diseño dispositivos integrados basados en fibras ópticas microestructuradas doble núcleo* _____

Restricciones a la publicación de la Obra:

a. Derechos de propiedad intelectual pertenecientes a terceros *No* _____

 ITM Institución Universitaria	CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO	Código	FGB 019
		Versión	01
		Fecha	2013-11-01

b. Acuerdos, contratos o cláusulas de confidencialidad suscritas con el ITM y/o con terceros

No Quienes? _____
 Fecha _____ Lugar donde reposa el acuerdo, contrato o cláusula _____

c. Licencias exclusivas concedidas a terceros No _____

d. Cesiones totales o parciales realizadas con terceros No _____

e. Contratos de edición o producción celebrados con terceros No _____

f. Ha publicado la obra o sometido la obra para aprobación en publicaciones científicas o académicas? No Nombre de la(s) Publicación (es) _____

Fecha en la que se sometió la obra o fue publicada _____

g. Los términos de referencia de la publicación exigen la cesión de los derechos patrimoniales de autor o la licencia exclusiva? No _____

h. La obra ha sido o está siendo evaluada actualmente por la Oficina o encargados de Transferencia Tecnológica del ITM? No _____

i. La obra ha sido o está siendo evaluada por la Oficina o encargados de Emprendimiento del ITM? No _____

Nombre(s) y Apellidos:

Firmas:

Fabian Velásquez Botero

Fabian Velásquez B.
 C.C. # 1034168895

 C.C. #

 C.C. #

 C.C. #

 C.C. #



Institución Universitaria

**MODALIDAD PRÁCTICA
TALLERES Y LABORATORIOS DE DOCENCIA O INVESTIGACIÓN DEL ITM**

Registro de actividades y cumplimiento de horas

Código Verión Fecha FDE 146 01 2015-03-13

Documento de Identificación: 10394588695
 Nombre completo del estudiante: Tania Velazquez Beteo
 Programa académico ITM: Licenciatura en telecomunicaciones
 Nombre completo del Docente Asesor: Erick Reyes Vera
 Fecha inicio prácticas: 19/08/2014 Fecha fin prácticas: 30/10/2014
 Nombre Taller o Laboratorio: Laboratorio de datos, folios y unob actual
 Ubicación: Facultad
 Campus: Facultad

Fecha	Actividad desempeñada por el estudiante	Hora Ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laborantista	Firma Docente Asesor	Firma Estudiante
14/08/19	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/20	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/21	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/22	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/26	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/27	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/28	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/08/29	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/09/02	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B
14/09/03	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erick Reyes	Tania Velazquez B

14/09/04	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/05	Práctica laboratorio	8:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/06	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/10	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/11	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/12	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/16	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/17	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/18	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/19	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/23	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/24	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/25	Práctica laboratorio	13:00	18:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
14/09/26	Práctica laboratorio	08:00	13:00	5		Ericck Reyes	Ignacio Velásquez B	
TOTAL HORAS								

Firma Estudiante
Ignacio Velásquez B

Nombre y firma Laboratorio
Ericck Reyes

Firma Docente Asesor
Ericck Reyes

Nombre y firma Redacción Institucional - Centro de Laboratorios o Líder del Grupo de Investigación
Ignacio Velásquez B

14/01/20	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/1	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/2	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/3	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/7	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/8	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/9	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/10	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/14	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/15	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/16	Prácticas laboratorio	13:00	18:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/17	Prácticas laboratorio	08:00	13:00	5		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/20	Prácticas laboratorio	13:00	19:00	6		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
14/10/21	Prácticas laboratorio	08:00	14:00	6		Erica Reyes	Tatiana Velazquez B
TOTAL HORAS				192			

Firma Estudiante
Tatiana Velazquez B

Nombre y firma Laborantista
Erica Reyes

Firma Docente Asesor
Erica Reyes

Nombre y firma Profesional Universitario - Centro de Laboratorios o Líder del Grupo de Investigación


 Institución Universitaria	FICHA TÉCNICA TRABAJO DE GRADO PARA REGISTRO EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN ACADÉMICA- SIA	Código	FDE 098
		Versión	02
		Fecha	2015-02-16

1. INFORMACION GENERAL

Título
 DISEÑO DISPOSITIVOS INTEGRADOS BASADOS EN FIBRAS ÓPTICAS MICROESTRUCTURADAS DOBLE NÚCLEO.

Objetivo
 Diseñar dispositivos integrados basados en fibras microestructuradas doble núcleo.

Plazo: Inicio 19 08 2014 Fin 20 10 2014

Intensidad Horaria Semanal	
Horas Práctica Social	
En funcionamiento – Negocio Incubado	SI NO

2. PERSONAL Y EMPRESA

Empresa	
Representante	
Cargo	
Documento	
Dirección	
E-mail	
Teléfono	
Razón Social	
Asesor	
Jurado	

3. DESCRIPCION Y ALCANCE

Descripción

Alcance

4. RECURSOS

Recursos

 Institución Universitaria	FICHA TÉCNICA TRABAJO DE GRADO PARA REGISTRO EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN ACADÉMICA- SIA	Código	FDE 098
		Versión	02
		Fecha	2015-02-16

--

5. PARTICIPANTES

Nombre	Cedula
Fabian Velasquez Botero	c.c. 1039458895
Observación	
Aprobado	

6. SEGUIMIENTO

Seguimiento

Deserción			
Vinculación Laboral			
Práctica Profesional			
Trabajo de Grado Terminado	SI	x	NO
Visita Empresarial Realizada	SI		NO