

COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA UTILIZANDO FIBRAS
ÓPTICAS DE CRISTAL FOTÓNICO CON AGUJEROS ELÍPTICOS

JUAN ESTEBAN USUGA RESTREPO

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO 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

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
GLOSARIO.....	6
INTRODUCCION.....	7
1. FORMULACIÓN DE PROBLEMA.....	8
2. JUSTIFICACION.....	9
3. OBJETIVOS.....	10
3.1. OBJETIVOS GENERALES	10
3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	10
4. DELIMITACIÓN.....	11
4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	11
4.1.1.UBICACIÓN.....	11
4.1.2. RAZÓN SOCIAL.....	11
4.1.3. OBJETO SOCIAL.....	11
4.1.4. REPRESENTANTE LEGAL.....	11
4.1.5. RESEÑA HISTORICA.....	11
4.1.6. MISIÓN.....	13
4.1.7.VISIÓN.....	13
4.1.8. VALORES CORPORATIVOS.....	13
4.1.9. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO.....	14
4.1.10. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	14
5. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA.....	15
6. ALCANCES.....	16
7. MARCO TEORICO.....	17
7.1. HISTORIA DE LA FIBRA OPTICA.....	17
7.1.1. DEFINICION DE LA FIBRA OPTICA.....	18
7.1.2. NUCLEO.....	19

7.1.3. RECUBRIMIENTO.....	19
7.1.4. AMORTIGUADOR.....	19
7.1.5. MATERIAL RESISTENTE.....	19
7.1.6. REVESTIMIENTO EXTERIOR.....	19
7.2. NATURALEZA DE LA LUZ.....	20
7.2.1 REFLEXION	20
7.2.1.1. REFLEXION TOTAL INTERNA.....	21
7.2.1.2. MODO DE PROPAGACION.....	22
7.2.2. REFRACCIÓN.....	22
7.2.2.1. LEYES DE REFRACCIÓN.....	23
7.3. PARAMETROS BASICOS EN LA FIBRA OPTICA.....	24
7.3.1. CONSTANTE DE PROPAGACIÓN.....	24
7.3.2. FRECUENCIA NORMALIZADA.....	24
7.4. PRINCIPALES PERDIDAS EN LA FIBRA OPTICA.....	25
7.4.1. ATENUACIÓN.....	25
7.4.2. DISPERSIÓN.....	25
7.4.2.1. DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN.....	26
7.4.2.2. DISPERSIÓN CROMATICA.....	26
7.4.2.2.1. DISPERSIÓN POR GUIA DE ONDA.....	26
7.4.2.2.2. DISPERSIÓN DEL MATERIAL.....	26
7.4.2.2.3. TECNICAS PARA COMPENSAR DISPERSIÓN.....	27
7.5. PERFIL DEL TECNÓLOGO.....	29
7.5.1. CAMPO DE INTERVENSIÓN Y OBJETO DE FORMACÓN.....	29
7.5.2. COMPENTENCIAS PROFESIONALES.....	29
8. METODOLOGIA.....	30
8.1. DESCRIPCION DE PROCEDIMIENTOS PARA LLEVAR A CABO LA EXPERIENCIA.....	30
8.2. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS.....	34
8.2.1. RECURSOS HUMANOS.....	34
8.2.2. RECURSOS MATERIALES.....	35

8.2.3. COMSOL MULTIPHYSICS.....	35
8.2.4. MATHEMATICA.....	35
8.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	37
9. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
9.1 ANALISIS DE RESULTADOS.....	41
10. COMPETENCIAS DEL SABER Y DEL HACER OBTENIDAS.....	43
10.1. APORTES REALIZADOS A LA EMPRESA.....	43
10.2. LOGROS.....	43
10.3. DIFICULTADES.....	43
10.4. RECOMENDACIONES.....	44
CONCLUSIONES.....	45
RECONOCIMIENTOS.....	46
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS.....	48

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1. Esquema básico de una fibra óptica.....	18
Figura 2. Reflexión.....	20
Figura 3. Reflexión Total Interna.....	21
Figura 4. Refracción.....	22
Figura 5. Ley de Snell.....	23
Figura 6. Estructura de una PCF.....	28
Figura 7. Variación de orientación en la PFC.....	32
Figura 8. Variación de periodo y diámetro.....	33
Figura 9. Variación de periodo y diámetro.....	33
Figura 10 .Esquema Básico del software COMSOL® Multiphysics.....	35
Figura 11. Esquema Básico del software matemática.....	36
Figura 12. a. RDS en la Fibra mono-modo estándar.....	38
Figura 12. b.CD y S.....	38
Figura 13. Figura de la PCF.....	39
Figura 14. a. CD.....	40
Figura 14 b. S de las PCF como función de la longitud de onda.....	40
Figura 15. RDS de las PCF como función de la longitud de onda.....	41
Figura 16. $RDS_{SMF}-RDS_{PCF}$ de las PCF como función de la longitud de onda.....	42

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
1. ARTÍCULO COMPENSADOR DE DISPERSIÓN CROMÁTICA UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICA DE CRISTAL FOTÓNICO CON AGUJEROS ELÍPTICOS.....	48
2. Certificado de ponencia CIOFF.....	55
3. HOJA DE VIDA.....	56
4. Guía N° 1.....	59
5. Guía N° 2.....	60
6. Guía N° 3.....	61
7. Guía N° 4.....	62
8. INFORMACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	64
9. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	65
10.FICHA TÉCNICA TRABAJO DE GRADO PARA REGISTRO EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN ACADEMICA – SIA.....	67
11.REGISTRO DE HORAS.....	69

GLOSARIO

Campo magnético: Un campo magnético es un campo de fuerza creado como consecuencia del movimiento de cargas eléctricas.

Campo eléctrico: Un campo eléctrico es un campo de fuerza creado por la atracción y repulsión de cargas eléctricas.

Ancho de banda: En conexiones a internet es la cantidad de información o de datos que se pueden enviar a través de una conexión de red en un periodo de tiempo dado.

Banda fotónica prohibida: Lugar de la fibra óptica donde se refleja totalmente la luz, además allí los fotones no generan refracción.

Fotón: Los fotones son partículas constituyentes de la luz. Un fotón se caracteriza por tener masa cero, momento y espín, así como por transportar energía electromagnética. Los fotones poseen también un carácter ondulatorio, que determina sus propiedades de localización en el espacio y las reglas por las cuales interfieren y se difractan.

Longitud de onda: Para una onda plana monocromática, se define la longitud de onda como la distancia entre dos crestas sucesivas en un instante de tiempo determinado. Habitualmente y si no se indica lo contrario, la longitud de onda de una radiación se especifica con respecto al vacío y se encuentra unívocamente relacionada con la frecuencia a través de la velocidad de la luz en el vacío.

Modo: Es un único patrón del campo electromagnético que viaja a través de la fibra.

Señal: Acción generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que es representable por una función matemática continua en la que es variable su amplitud y periodo (representando un dato de información) en función del tiempo.

Ventanas de transmisión: Regiones del espectro electromagnético donde las características de transmisión de las fibras se presentan más favorables.

INTRODUCCIÓN

Se pretende con el trabajo simular una configuración de fibra de cristales fotónicos con agujeros elípticos. Este tipo de fibras se construyen básicamente por microestructuras huecas que se encuentran alrededor de un núcleo, donde el núcleo de la fibra se puede hacer más pequeño[1]. Este tipo de huecos tienen una separación de orden micro-métrico y hacen que la luz se propague por medio de la banda fotónica prohibida. En la banda fotónica prohibida, veríamos una reflexión total de la luz y los fotones no generarían refracción [2]. Estas características de propagación de la luz en las PCF favorecen la aparición de fenómenos que nos son posibles en las fibras monomodo convencionales por ejemplo, en los PCF's cuyo parámetro de dispersión es negativo en un amplio rango de longitudes de onda. Se espera que en el futuro cercano las PCF se masifiquen como un método alternativo para el manejo de la dispersión en los enlaces ópticos.

1. PROBLEMA

A medida que han ido evolucionando las tecnologías de información, resulta ser cada vez más indispensable la velocidad por la cual llega la información hasta el punto de destino. Las distintas velocidades que posee cada longitud de onda que viaja a través de la fibra ocasionan un ensanchamiento temporal en los pulsos de luz que viajan a través de éste. En la fibra óptica este factor es conocido como dispersión cromática; la cual es el resultado de la sumatoria entre la dispersión del material y la dispersión por guía de onda. La dispersión cromática resulta ser uno de los problemas de transmisión más habituales en el ámbito de las comunicaciones. Debido a esto nos enfocamos en diseñar un compensador de dispersión cromática de forma óptica. Algo más interesante, radica en el hecho de que se propone diseñar un dispositivo totalmente a fibra óptica, de esta manera es más fácil su inserción en los enlaces de comunicaciones actuales y además las pérdidas que pueden generar son casi despreciables comparadas con los beneficios que se obtienen.

2. JUSTIFICACIÓN

La fibra óptica constituye el medio de transmisión por antonomasia para los sistemas de comunicaciones ópticas. Desde sus primeras instalaciones, en las líneas que enlazaban las grandes centrales de conmutación, la fibra se está trasladando hoy en día hasta los mismos hogares, extendiéndose su uso a un mayor abanico de aplicaciones. Debido a las pérdidas que la fibra puede generar y con el fin de tener una mayor compensación con respecto a la dispersión cromática se ha llegado a la necesidad de crear una fibra óptica de cristal fotónico con agujeros elípticos, la cual pueda ser capaz de compensar dispersión cromática y ayudar a que la pendiente de la curva de dispersión sea cada vez más negativa o esta tienda a cero. Esto se llevara a cabo con el fin de mejorar la calidad de la información que viaja a lo largo de un tramo de fibra óptica, y ayudar a que la luz logre propagarse totalmente por la banda fotonica prohibida generando reflexión total interna y un menor ensanchamiento temporal en los pulsos de luz, que son causados por la dispersión. Al diseñar esta microestructura se procederá a variar el diámetro, periodo y orientación que hacen parte de la microestructura, con el fin de que a la hora de analizar las gráficas de índice de refracción efectivo y dispersión con respecto a la longitud de onda podamos ver cuál de estos parámetros hace más eficiente la compensación.

3. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVOS GENERALES

Diseñar un compensador de dispersión cromática, utilizando fibras ópticas de cristal fotónico con agujeros elípticos y circulares los cuales permitirán una mayor eficiencia en la transmisión y calidad de la información.

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Utilizar el software COMSOL Multiphysics como medio de diseño e implementación de los parámetros para construir la microestructura, y obtener los datos de índice efectivo.
- Aplicar la ecuación de sellmeier para el modelamiento del índice de refracción de la sílice.
- Implementar el software MATHEMATICA, para obtener la gráfica de la curva y la pendiente de la dispersión y el patrón RDS.
- Emplear la ecuación de onda vectorial para analizar los modos de propagación de la luz a lo largo de la microestructura.

4. DELIMITACIÓN

4.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

4.1.1. UBICACIÓN

Calle 54 A 30-01 Boston.

4.1.2. RAZÓN SOCIAL

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO institución universitaria adscrita al municipio de Medellín.

4.1.3. OBJETO SOCIAL

Institución universitaria instituto tecnológico metropolitano

4.1.4. REPRESENTANTE LEGAL

Luz Mariela Sorza

4.1.5. RESEÑA HISTORICA

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. VALORES CORPORATIVOS

- Responsabilidad
- Liderazgo
- La equidad
- La solidaridad
- La conciencia social y ambiental
- La honestidad
- El respeto.

4.1.9. DESCRIPCIÓN DEL LABORATORIO

Laboratorio de fibra óptica y fotónica

Este es un laboratorio de investigación donde se indaga acerca de todas las ramas que tienen que ver con el campo de la fibra óptica, analizando los aspectos que pueden mejorarla o hacerla más eficiente. Además dentro de este laboratorio se encuentra todo lo que tiene que ver con lentes y antenas, contando con los mejores equipos, para hacer más productiva la investigación.

4.1.10. DELIMITACIÓN TEMPORAL

Fecha de inicio de las prácticas: 18 de agosto de 2014

Fecha de culminación de las prácticas: 7 de noviembre de 2014

5. DESCRIPCIÓN DE LA PRÁCTICA O INTERVENCIÓN TECNOLÓGICA

En las prácticas de laboratorio que se llevaron a cabo, una de las principales funciones era investigar acerca de todos los ámbitos que se pueden generar para compensar la dispersión cromática en la fibra óptica. Estas indagaciones se realizaron con el fin de encontrar un método por el cual por medio de simulaciones se pudieran generar patrones relevantes que permitieran analizar los aspectos que pueden compensar la dispersión cromática en una fibra óptica. A raíz de esto se logró diseñar una fibra óptica de cristal fotónico con una combinación de agujeros elípticos y circulares, donde se tuvieron que aplicar conceptos matemáticos para la ubicación de cada anillo, estos conceptos también sirvieron de gran ayuda para analizar cual debería de ser el tamaño de cada agujero con el fin de que la luz se confinara totalmente por el núcleo de la fibra.

Al tener la fibra diseñada se utilizó el software COMSOL MULTIPHYSICS el cual sirvió como implemento de diseño y de parametrización de cada aspecto que era necesario para conformar la microestructura. Posteriormente se variaron el periodo, tamaño y orientación de cada agujero con el fin de analizar cada uno de estos aspectos como influían en la curva de índice efectivo y dispersión, para el trabajo variación se utilizaron varios días ya que se debieron cambiar varios parámetros con el fin de encontrar la microestructura que más se acomodara a la compensación de dispersión lo cual llevo a realizar varias simulaciones. Cuando se lograron recopilar los datos, gráficas y simulaciones se prosiguió con la realización de un artículo el cual contribuye todo lo realizado dentro de este proceso de prácticas de laboratorio, además este fue enviado al congreso internacional CIOFF en cuba.

6. ALCANCES

Desde el inicio de las practicas, se hizo un breve replanteamiento de las metas y objetivos a cumplir, dentro de los cuales los factores indispensables es indagar que se va a lograr y como se va a lograr. Durante el proceso que se llevó a cabo una de las metas principales era analizar cuál podría ser la mejor forma de compensar la dispersión. Al tener esto claro se procedió a cumplir con el objetivo el cual era diseñar la microestructura y para esto se aprendió a implementar los conceptos básicos que conllevarían a manejar el software COMSOL MULTIPHYSICS, donde allí la meta a trazar era generar un mejor desempeño a la hora de realizar simulaciones de este tipo e ir adquiriendo mayor destreza respecto a este programa. Con estas metas obtenidas se logró escribir un artículo el cual plasmara todo el trabajo realizado durante el periodo de prácticas, y se pudiera reflejar los resultados obtenidos.

7. MARCO TEORICO

7.1. HISTORIA DE LA FIBRA ÓPTICA

Cerca de 1950 el físico irlandés John Tyndall descubrió que la luz podía viajar dentro de un material (agua), curvándose por reflexión total interna. Este principio fue utilizado en su época para iluminar corrientes del agua en fuentes públicas. En 1952, el físico Narinder Singh Kapany, apoyándose en los estudios de John Tyndall, realizó experimentos que condujeron a la invención de la fibra óptica. Uno de los primeros usos de la fibra óptica fue emplear un haz de fibras para la transmisión de imágenes, que se usó en el endoscopio médico. Usando la fibra óptica, se consiguió un endoscopio semiflexible, el cual fue patentado por la Universidad de Michigan en 1956, en este invento se usaron unas nuevas fibras forradas con un material de bajo índice de refracción, ya que antes se impregnaban con aceites o ceras.

Charles Kao, en su tesis doctoral de 1966, estimó que las máximas pérdidas que debería tener la fibra óptica, para que resultara práctica en enlaces de comunicaciones, eran de 20 dB/km. En 1970 los investigadores Maurer, Keck, Schultz y Zimar que trabajaban para Corning Glass Works fabricaron la primera fibra óptica aplicando impurezas de titanio en sílice. Las pérdidas eran de 17 dB/km; Durante esta década las técnicas de fabricación se mejoraron, consiguiendo pérdidas de tan solo 0,5 dB/km. Y en 1978 ya se transmitía a 10 Gb km/s.

El 22 de abril de 1977, General Telephone and Electronics envió la primera transmisión telefónica a través de fibra óptica, en 6 Mbit/s, en Long Beach, California. El amplificador que marcó un antes y un después en el uso de la fibra óptica en conexiones interurbanas, reduciendo el costo de ellas fue el Amplificador de fibra con Erblio, inventado por David Payne de la universidad de Southampton, y Emmanuel Desurvire en los laboratorios de Bell[3].

7.1.1. DEFINICIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA:

La fibra óptica es una guía de onda dieléctrica que opera a diferentes frecuencias ópticas. Cada fibra consta de un núcleo central de plástico o vidrio (óxido de silicio y germanio) con un índice de refracción alto, rodeado de una capa de un material con un índice de refracción ligeramente menor. La luz cuando encuentra un índice de refracción menor, se refleja en gran parte y cuanto mayor sea la diferencia de índices acompañado de un mayor ángulo de incidencia mayor será la parte reflejada, por eso se habla de reflexión total interna.

Existen dos tipos de propagación de la luz en la fibra óptica el primero es mono-modo y el segundo multi-modo, el primero solo cuenta con un modo de propagación en el interior del núcleo el cual es paralelo al eje de la fibra, en cambio el segundo cuenta con varios tipos de propagación que toman diferentes caminos[3][4].

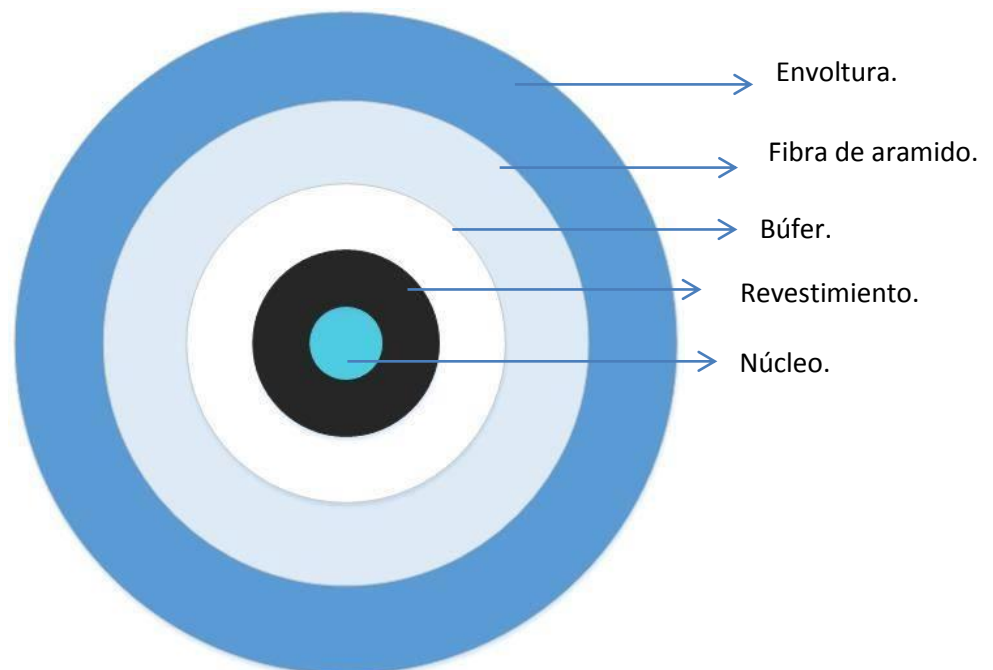


Figura 1. Esquema básico de una fibra óptica.

7.1.2. Núcleo (core): Está formado por un cilindro de vidrio fabricado de una combinación de dióxido de silicio (sílice), cuarzo fundido o plástico a través del cual viaja la señal luminosa encontrándose en el centro de la fibra óptica. Tiene un diámetro de 50 o 62,5 μm para la fibra multimodo y 9 μm para la fibra mono modo.

7.1.3. Recubrimiento (cladding): Es un tubo coaxial que se coloca alrededor del cilindro en estrecho contacto con él. Se conforma con un material de vidrio y su función es asegurar la conducción de la luz en el interior del núcleo. Esto se debe a que el material de la envoltura tiene un índice de refracción distinto al del núcleo por lo general menor.

Los rayos de luz que se transportan a través del núcleo de la fibra se reflejan sobre el límite entre el núcleo y el revestimiento a medida que se mueve a través de la fibra por reflexión total interna.

7.1.4. Amortiguador: Este material es generalmente de plástico ayudando a proteger al núcleo y al recubrimiento de cualquier daño. Existen dos diseños básicos los cuales son, diseño de cable de amortiguación estrecha y de tubo libre.

7.1.5. Material resistente: Evita que el cable de fibra óptica se estire cuando se está en el proceso de instalación de la misma.

7.1.6. Revestimiento exterior: Este elemento rodea el cable para así proteger la fibra de abrasión, solventes, corrosión, humedad entre otros factores en fin asegura la protección mecánica de la fibra.

7.2. NATURALEZA DE LA LUZ

A través de la historia y a valiosas contribuciones realizadas en torno a la naturaleza de la luz se ha demostrado que esta se trata de un movimiento ondulatorio transversal de dos campos vectoriales, uno eléctrico y otro magnético, variando con el tiempo.

Entonces decimos que la onda se propaga en el vacío con una velocidad

$$C: 3 \times 10^8 \frac{m}{s}$$

Lo que da pie a estudiar los fenómenos de propagación en medios transparentes dando pie a dos grandes fenómenos: reflexión y refracción.

7.2.1. REFLEXIÓN: es cambio de trayectoria que experimenta un haz de luz denominado rayo incidente al incidir en una superficie reflectora reflejando parte de la energía del rayo de luz[3].

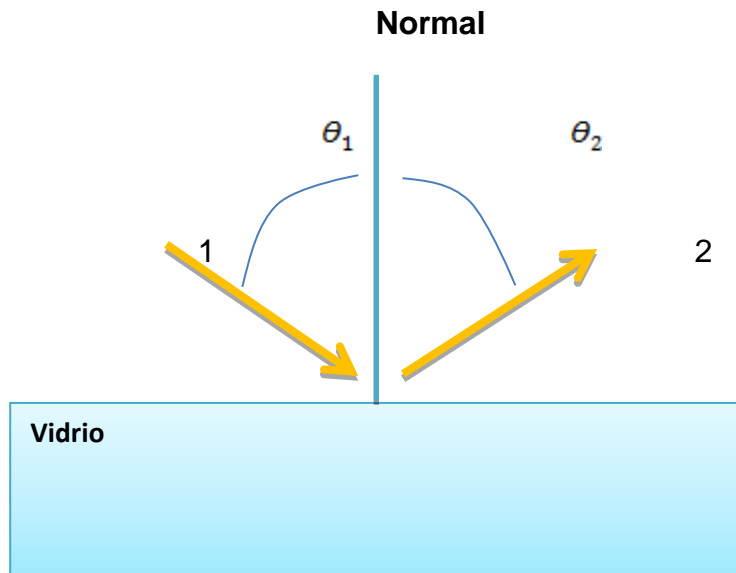


Figura 2. Reflexión

Rayo 1: Rayo incidente, medio a θ_1 grados de la normal

Rayo 2: Rayo reflejado, medido a θ_2 grados de la normal

La ley de reflexión establece que el ángulo con que el rayo de luz entra en una superficie reflectora determina el ángulo en el que se reflejara el rayo en la superficie.

7.2.1.1. REFLEXIÓN TOTAL INTERNA

Las leyes de la reflexión y de refracción nos enseñan a diseñar una fibra que guíe la onda a través de todo el tramo de fibra con mínimas pérdidas por refracción, pero si queremos que estas pérdidas bajen notoriamente hasta que todo el rayo de luz se refleje dentro de la fibra debemos cumplir con dos parámetros los cuales son: el primero, es que el núcleo de la fibra óptica debe tener un índice de refracción mayor al del material que lo envuelve y el segundo, el ángulo de incidencia del rayo debe ser mayor al ángulo crítico. Cumpliendo estas dos condiciones podemos estar seguros que toda la luz que incida en la fibra se refleja dentro de ella, esto se llama reflexión total interna lo cual hace es que todo el rayo de luz revote dentro de las paredes del límite del núcleo y el revestimiento y que continúe su camino hacia el final de la fibra.

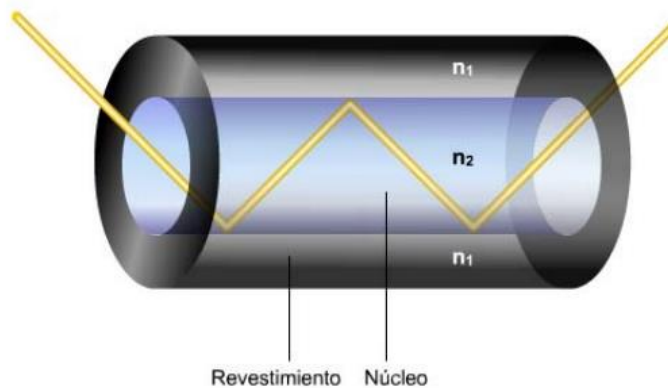


Figura 3. Reflexión Total Interna

A la hora de tratar de controlar el ángulo de incidencia de la fibra encontramos con un rango de ángulos de rayos incidentes que ingresan a la fibra y son reflejados en su totalidad esto se conoce como la apertura numérica de la fibra y está dada por su ángulo de aceptación máximo[3][5] .

$$\theta_{max} = \arcsen \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{Ecuación 1.}$$

De esta ecuación definimos la apertura numérica NA como la aceptación de este ángulo.

$$NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad \text{Ecuación 2.}$$

7.2.1.2. MODO DE PROPAGACIÓN: indica el trayecto que toma el rayo de luz que viaja por la fibra óptica; determinándose básicamente de acuerdo a la frecuencia, el diámetro de la fibra y la variación del n [4].

7.2.2. REFRACCIÓN: Es el cambio de dirección que experimenta un rayo de luz incidente que no al cambiar de medio de propagación; este rayo recibe el nombre de rayo refractado y su grado de dobles depende de básicamente del rayo incidente y de las distintas velocidades que toma la luz en dos materiales distintos[3].

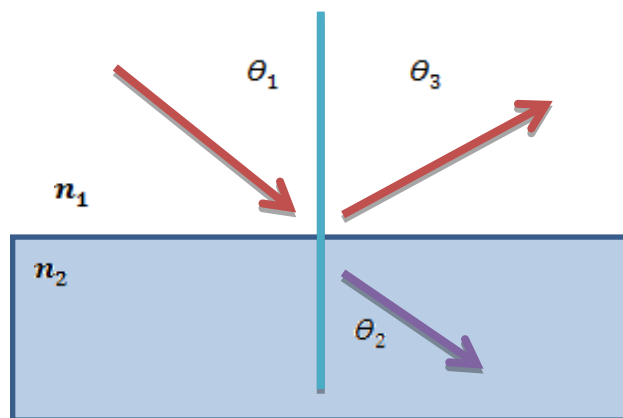


Figura 4. Refracción

θ_1 Ángulo de incidencia, θ_3 ángulo reflejado, θ_2 ángulo refractado, n_1, n_2 medio

Sabiendo que la densidad óptica del material determina a cuanto la velocidad del rayo de luz disminuye al atravesar una sustancia a mayor densidad óptica más desaceleración de la luz en relación con la velocidad en el vacío esto establece una relación de velocidad en el vacío con velocidad en el medio dando lugar a el índice de refracción(n)

$$n = \frac{\text{velocidad de la luz en el vacío}}{\text{velocidad de la luz en el medio}}$$

Ecuación 3.

Por lo tanto, la medida de la densidad óptica de un material es su índice de refracción.

7.2.2.1. LEYES DE REFRACCIÓN

Primera ley: El rayo refractado se encuentra en el plano del rayo incidente y la normal que pasa por el punto de incidencia

Segunda ley: El ángulo de incidencia es igual al ángulo de reflexión denominada Ley de Snell y viene representada por la siguiente ecuación[4].

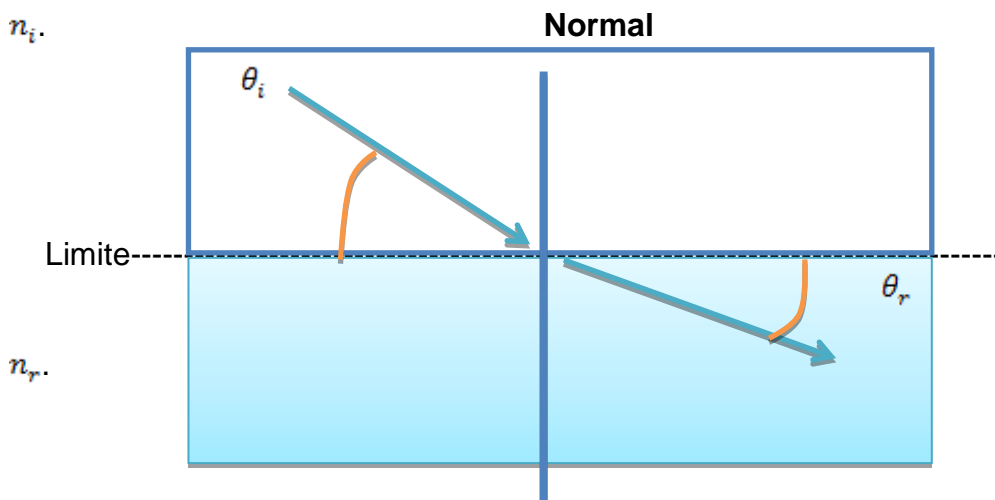


Figura 5. Ley de Snell

Donde n_i, n_r son los medios, θ_i es llamado ángulo incidente y θ_r es el ángulo refractado estos ángulos son medidos desde la normal a la superficie.

$$n_i \cdot \sin \theta_i = n_r \cdot \sin \theta_r \quad \text{Ecuación 4.}$$

7.3. PARAMETROS BASICOS EN LA FIBRA ÓPTICA

7.3.1. Constante de propagación, β : se define como el componente del vector de onda en la dirección de propagación. Para una onda plana monocromática, la constante de propagación coincide con el número de onda[5]. Y se define por:

$$\beta = K_0 n_{eff} \quad \text{Ecuación 5.}$$

Donde n_{eff} , índice efectivo, K_0 vector de onda.

Y está definido por

$$K_0 = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{Ecuación 6.}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad \text{Ecuación 7.}$$

Donde c es la velocidad en el vacío, f frecuencia

7.3.2. FRECUENCIA NORMALIZADA, V : Parámetro auxiliar adimensional empleado para determinar los modos de propagación de la fibra determinada a través de características físicas y de la longitud de onda de operación[5].

$$v = k_0 \cdot a \cdot NA \quad \text{Ecuación 8.}$$

Donde k_0 = vector de onda, a radio del núcleo de la fibra, NA apertura numérica

7.4. PRINCIPALES PÉRDIDAS EN LA FIBRA ÓPTICA

7.4.1. ATENUACIÓN:

La atenuación es una medida que relaciona la cantidad de luz entrante con pérdida de esta en la salida; esta pérdida puede darse por la absorción del material, dispersión o acoplamiento de la luz en la fibra.

Al expresar esta relación en unidades logarítmicas (decibelios), se obtiene que la atenuación es proporcional a la distancia. La constante de proporcionalidad, denominada

constante de atenuación, tiene unidades de dB/km; obteniéndolo a partir de la ley de Beer[5]:

$$\alpha P = \frac{dP}{dz}, \quad \text{Ecuación 9.}$$

Donde α es el coeficiente de atenuación y P es la potencia de la señal.

7.4.2. DISPERSIÓN

La dispersión se presenta al realizar cualquier cambio en el índice refractivo del material causando alteraciones en la dirección de los rayos de luz y en sus velocidades provocando ensanchamiento temporal, debido a que la velocidad de cada modo es diferente de acuerdo a la longitud de onda y a la propagación del modo. Esto sucede gracias a que no se puede evitar variar el índice de refracción a la hora de la construcción de la fibra óptica, también es conocido como "RALEIGH SCATTERING" y es proporcional a la longitud de la onda.

Existen diferentes tipos de dispersión, algunos se presentan solo en fibras multimodo y otros en monomodo; por ejemplo la dispersión modal solo se presenta en fibras multi-modo[3].

7.4.2.1. DISPERSIÓN POR MODO DE POLARIZACIÓN (PMD).

La PMD es causada por una pequeña diferencia en el índice de refracción en una pareja particular de estado de polarización ortogonal, esta peculiaridad es denominada birrefringencia. Esto quiere decir que esta fibra conlleva a una dispersión en el índice efectivo que se da por un modo viajando en x y otro en y.

$$\delta\tau_{pol} = L \frac{\partial}{\partial \omega} (\beta_x - \beta_y) \quad \text{Ecuación 10.}$$

7.4.2.2. DISPERSIÓN CROMÁTICA (CD).

LA CD es causada por la dependencia del índice de refracción de la sílice con la longitud de onda (Dispersión del material) y por las características geométricas y de propagación de la luz en la fibra óptica (Dispersión del guía de onda) así, cada longitud de onda viaja a diferente velocidad.

La dispersión total cromática resulta entonces de la suma de ambas dispersiones; material y guía de onda.

$$D = D_M + D_W \quad \text{Ecuación 11.}$$

7.4.2.2.1. DISPERSIÓN POR GUIA DE ONDA (D_W):

LA DW se refiere a las diferentes velocidades de la señal que depende de la distribución de la potencia óptica dentro del núcleo.

7.4.2.2.2. DISPERSIÓN DEL MATERIAL (D_M):

La D_M explica el ensanchamiento de un pulso óptico debido a las distintas velocidades de las frecuencias que constituyen un pulso.

Esto resulta cuando la segunda derivada del índice de refracción frente a la longitud de onda es diferente de cero ($d^2n/d\lambda^2 \neq 0$).

Esto da pie a el parámetro de dispersión del material M que se define como

$$M = \frac{1}{L} \frac{d_{tm}}{d\lambda} = \frac{\lambda}{c} \left| \frac{d^2 n_1}{d\lambda^2} \right|$$

Ecuación 12.

Donde n_1 es el índice de refracción del núcleo de la fibra, tm , el tiempo que tarde un pulso determinado para atravesar una fibra de longitud L[3][4].

7.4.2.2.3. TECNICAS PARA COMPENSAR LA DISPERSIÓN CROMÁTICA:

Estas técnicas son de mayor importancia porque nos permite incrementar las distancias de los enlaces de fibra óptica que no requieren de regeneración de la señal de información en esta creciente demanda del tráfico de internet y la proliferación de servicios de streaming, file sharing, entre otros; ha sido afrontada, por los sistemas de comunicaciones basados en fibra óptica, gracias a sus bondades de inmunidad a interferencias electromagnéticas.

Existen varias alternativas para contra restar este fenómeno las cuales son compensación de dispersión electrónica y compensación de dispersión óptica.

La primera de las técnicas requiere de elementos electrónicos de alto costo como procesadores de señales digitales (DSPs), conversores analógicos-digitales (ADCs), entre otros; y por consiguiente, se ven limitadas por la respuesta temporal de estos componentes realizando un cuello de botella a la hora de la velocidad; viendo este problema la técnica de dispersion de compensadores ópticos puede dar grandes avances en sus dos ramas:

Las redes de Bragg (FBGs) son una perturbación periódica del índice de refracción a lo largo de núcleo de la fibra, que se graba permanentemente por exposición del mismo a un patrón de interferencia óptica intenso. Básicamente, estos componentes operan como filtros paso-banda, reflejando unas frecuencias específicas y transmitiendo el resto despreciando los efectos no lineales.

Las fibras de compensación de dispersion (DCF) presentan altas perdidas de inserción y un límite de potencia a la entrada ya que estas son susceptibles a las no linealidades.

En el campo de las DCF se encuentran PCF, estas son una de las técnicas más utilizadas para compensar dispersión, están constituidas por micro -estructuras huecas las cuales no generan variación longitudinal en la fibra, este tipo de fibras

se consideran fibras birrefringentes, y por el margen de su micro-estructura ayudan a que la luz logre propagarse totalmente por la banda fotónica prohibida. Las PCF pueden ser diseñadas de distintas formas y el tamaño de sus agujeros, periodo y orientación está ligado con el diseño que se desee asignar, no obstante cabe decir que estos tienen cierta dependencia con el confinamiento de la luz por el núcleo y es allí donde al variar estos parámetros se puede analizar la curva de dispersión[1].

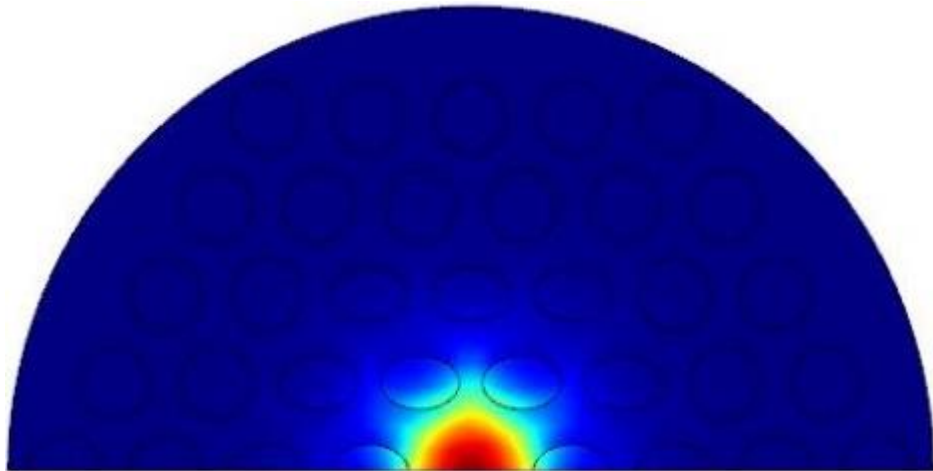


Figura 6. Estructura de una PCF

7.5. PERFIL DEL TECNÓLOGO

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.

7.5.1. CAMPO DE INTERVENCIÓN Y OBJETO DE FORMACIÓN

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.

7.5.2. 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

8.1. DESCRIPCIÓN DE PROCEDIMIENTOS PARA LLEVAR A CABO LA EXPERIENCIA

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto hizo una extensa Indagación acerca de las distintas problemáticas de la fibra óptica en especial la dispersión cromática, Además se investigó acerca de los métodos de compensación de dispersión ópticos que se pueden emplear o que en su defecto se emplean en la actualidad. Este proceso se realizó con el fin de escoger cual era el mecanismo más apropiado para nuestras necesidades. Para el estudio de los factores ya mencionados, se utilizó como medio de investigación las bases de datos electrónicas donde se encontraron artículos que se enfocaban en la compensación óptica de dispersión. Luego, al tener claro cuál era el método de compensación que se deseaba emplear en el proyecto se optó por diseñar y simular un compensador de dispersión cromática empleando fibras ópticas de cristal fotónico. Para el diseño de esta fibra, lo más relevante es tener claro algunos factores, los cuales son muy importantes a la hora del diseño que se va a implementar, ya que este método de compensación depende de la separación, cantidad y tamaño de los agujeros; estos parámetros mejoran o afectan el confinamiento de la luz en el núcleo de la fibra. Además hay otros factores indirectos que debemos destacar como la configuración de los anillos y de la combinación de diferentes figuras geométricas.

Evaluamos el índice de propagación efectivo, n_{eff} , y la distribución espacial del modo fundamental un rango de longitudes de onda entre 1200 y 1700 nm. Este dato encontrado fue gracias al método de elementos finitos con condición de frontera dispersiva y a la ecuación de onda vectorial

$$\nabla \times \varepsilon \nabla \times \mathbf{H} = k_0^2 \mathbf{H}, \quad \text{Ecuación 13.}$$

Donde \mathbf{H} es el campo magnético, ε es la permitividad dieléctrica del medio, $k_0 = 2\pi/\lambda$, es el vector de onda, λ es la longitud de onda en el vacío.

Para la modelación del índice de refracción de la sílice fue utilizada la ecuación de Sellmeier.

Posteriormente, los valores calculados de n_{eff} son usados para estimar el coeficiente de Dispersión D [ps/nm*km], el cual viene dado por la expresión,

$$D = -\frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 \text{Re}\{n_{\text{eff}}\}}{\partial^2 \lambda}, \quad \text{Ecuación 14.}$$

Donde λ es la longitud de onda, y c la velocidad de la luz en el vacío.

Para una compensación adecuada de la dispersión cromática es necesario que las longitudes L de las fibras, sus coeficientes de dispersión D y las pendientes de la dispersión S , cumplan con las siguientes condiciones,

$$L_{SMF} D_{SMF} = L_{PCF} D_{PCF}, \quad \text{Ecuación 15.a}$$

$$L_{SMF} S_{SMF} = L_{PCF} S_{PCF}, \quad \text{Ecuación 15.b}$$

Los subscripts SMF y PCF hacen referencia a la fibra mono-modo estándar y a la fibra de cristal fotónico, respectivamente. Definiendo la pendiente de dispersión relativa (RDS por su sigla en inglés) como:

$$RDS = S/D, \quad \text{Ecuación 16.}$$

Siendo S la Pendiente de la dispersión y D el parámetro de dispersión cromática, se llega a la siguiente relación,

$$RDS_{SMF} = RDS_{PCF} \quad \text{Ecuación 17.}$$

Cuando se tienen todos estos parámetros de diseño se procede a utilizar el software COMSOL MULTIPHYSICS el cual permite simular los parámetros diseñados y especificar los materiales que se utilizan para la fabricación de la fibra y llevar a cabo el análisis de estos resultados. En este proceso de análisis encontramos varias configuraciones que no cumplían con lo esperado haciendo considerar en un nuevo diseño de la misma, por lo que se había mencionado antes la separación es un ámbito sumamente importante y veíamos que algunas configuraciones presentaban una separación y un tamaño significativo lo cual producía un desconfinamiento de la luz. Para dar solución a este inconveniente vimos la necesidad de variar tanto las figuras geométricas como la separación de las mismas y en algunas ocasiones solo que para la investigación fueron de gran ayuda en dejar uno de los anillos estable y variar los demás.

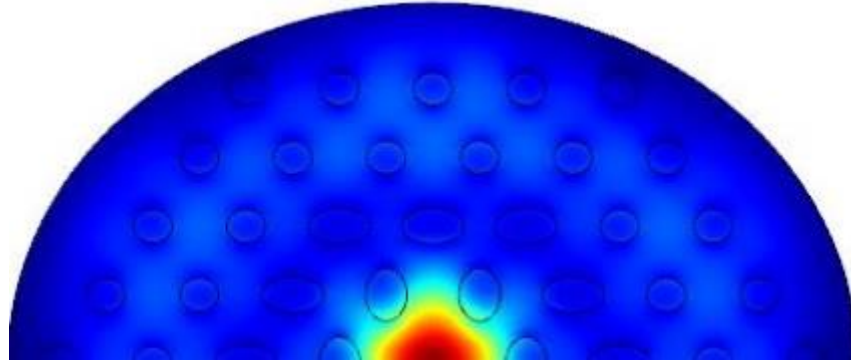


Figura 7. Variación de orientación en la PCF

Fuente. COMSOL MULTIPHYSICS

En la Figura 7 se muestra una configuración de una PCF variando los parámetros de orientación en los dos primeros anillos dejando así los anillos 3 y 4 circulares. Dónde podemos observar que la luz no se confina totalmente en el centro de la PCF ya que el periodo y el tamaño es inversamente proporcional, por esto vemos que cierta parte de la luz se dispersa por toda la PCF.

Con un cambio directo en el tamaño y en el periodo de los anillos 3 y 4 de la PCF se puede garantizar que a medida que estos dos factores aumenten el haz de luz se propagara por el centro de la fibra como se muestra en la Figura 8, la cual no genera gran confinamiento por el centro de la fibra como ocurre en la Figura 9.

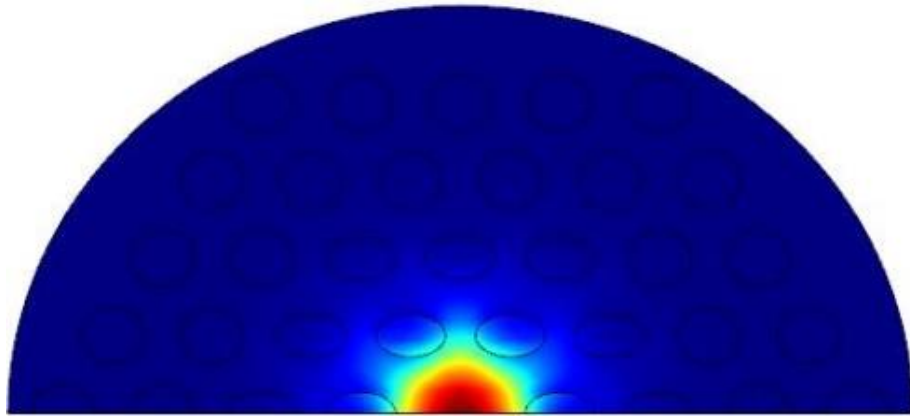


Figura 8. Variación de periodo y de diámetro
Fuente COMSOL MULTIPHYSICS

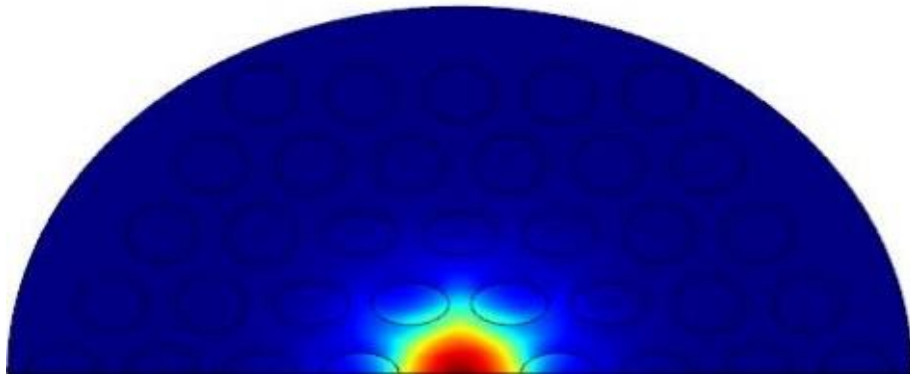


Figura 9. Variación de periodo y de diámetro.
Fuente COMSOL MULTIPHYSICS

8.2. ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

8.2.1. RECURSOS HUMANOS

Grupo de Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales, Facultad de Ingenierías: Líder del grupo Francisco Eugenio López Giraldo

Erick Estefen Reyes Vera: Docente y asesor de prácticas de laboratorio, contribuyo con aportes relacionados en cuanto al diseño de la microestructura con el fin de encontrar cual podría ser la más adecuada además facilito asesoría en cuanto al manejo del software COMSOL MULTIPHYSICS.

Nelson Darío Gómez Cardona: Docente, contribuyo con aportes relacionados con el diseño de la microestructura además empleo sus conocimientos en el software MATEMATICA el cual permitió realizar la curva de la dispersión, pendiente de dispersión y patrón RDS. Por último fue de vital importancia en cuanto a la redacción del artículo y todo lo vinculado con él.

Nelson Alonso Correa Rojas: Docente, apporto sus conocimientos en cuanto a las ecuaciones empleadas para el diseño de la microestructura y contribuyo en la redacción del artículo realizado.

Daniela Londoño Amariles: estudiante, participo durante todo el proceso tanto en investigación, diseño, creación y redacción del artículo, sus conocimientos y aportes fueron de vital importancia durante todo el proceso.

INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO:

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

8.2.2. RECURSOS MATERIALES

8.2.3. COMSOL MULTIPHYSICS

Es un paquete de software de análisis y resolución por elementos finitos para varias aplicaciones físicas y de ingeniería, especialmente fenómenos acoplados, o metafísicos.

COMSOL Multiphysics también ofrece una amplia y bien gestionada interfaz a MATLAB y sus toolboxes que proporcionan una amplia variedad de posibilidades de programación, pre procesado y post procesado. [8].

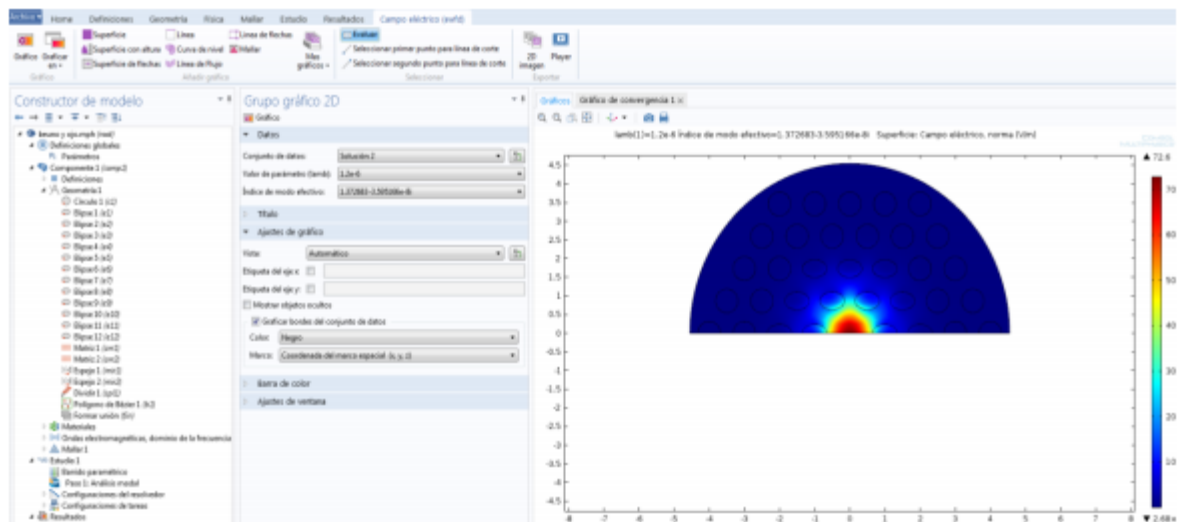


Figura 10. Esquema básico del software COMSOL MULTIPHYSICS

8.2.4. MATHEMATICA

El programa Mathematica constituye una herramienta muy potente para la realización de todo tipo de cálculos matemáticos: operaciones aritméticas, cálculo simbólico, gráficos.

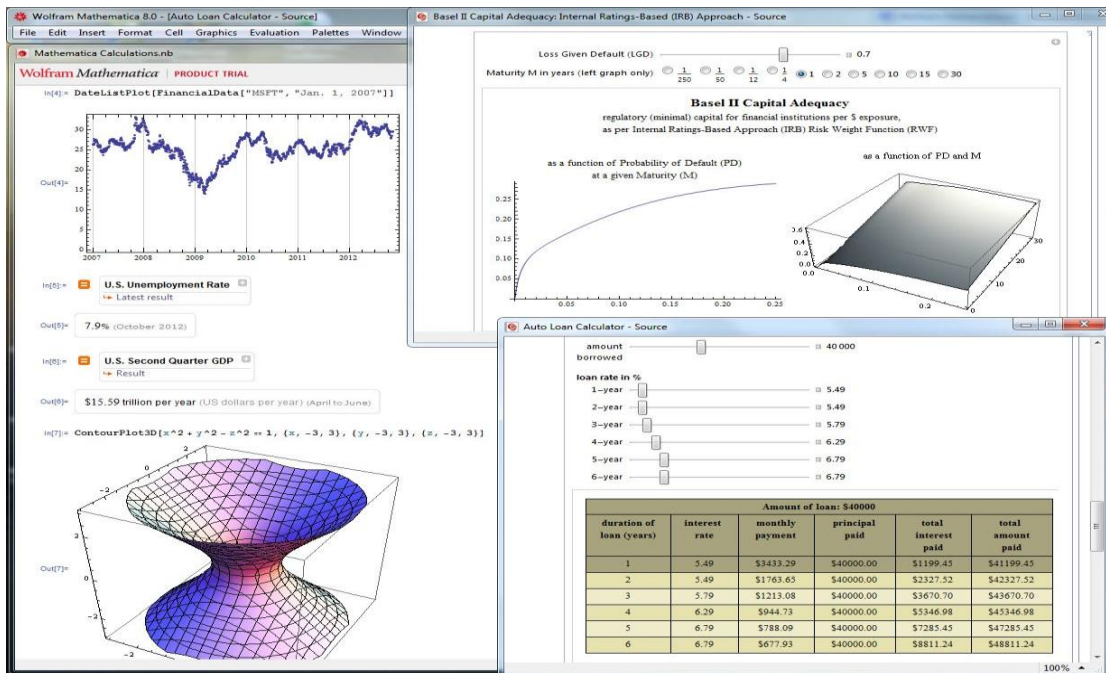


Figura 11. Esquema básico del software Mathematica

8.3. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

	AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
Semanas	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Funciones principales																
Indagación de conceptos preliminares																
Diseño matemático de parámetros																
Diseño estructural en el software																
Redacción del artículo																
Continuación con el proceso de investigación																

9. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para obtener un resultado de compensación de dispersión fue necesario estimar el coeficiente D de la SMF utilizando la siguiente ecuación,

$$D_{SMF} \left[\frac{\text{ps}}{\text{nm km}} \right] = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \quad \text{Ecuación 18.}$$

En la cual $\lambda_0 = 1301.5 \text{ nm}$ es longitud de onda a cero dispersión y $S_0 = 0.092 \frac{\text{ps}}{\text{nm}^2 \text{ km}}$ es la pendiente de dispersión a λ_0 . Se estimó a partir de una derivada numérica de la curva de D y la RDS se obtuvo usando la ecuación (4). Los anteriores parámetros de la SMF se muestran en las figuras a y b.

Las propiedades de propagación de la luz en las PCF están relacionados con la forma de los agujeros, los ejes (a , b) de las elipses y su orientación, los diámetros (d_3 y d_4) de los agujeros y el periodo (Λ) de la micro-estructura. Se analizaron ocho PCF de acuerdo a la geometría que se muestra en la figura 13 y los parámetros listados en la Tabla I.

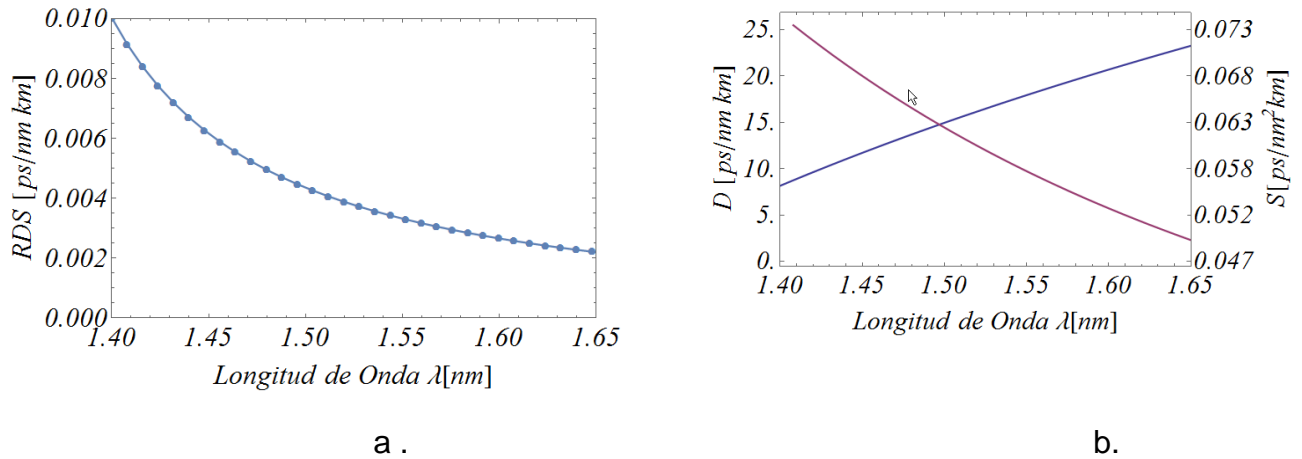


Figura 12. a RDS de la fibra mono-modo estándar, y **b.** CD y S .

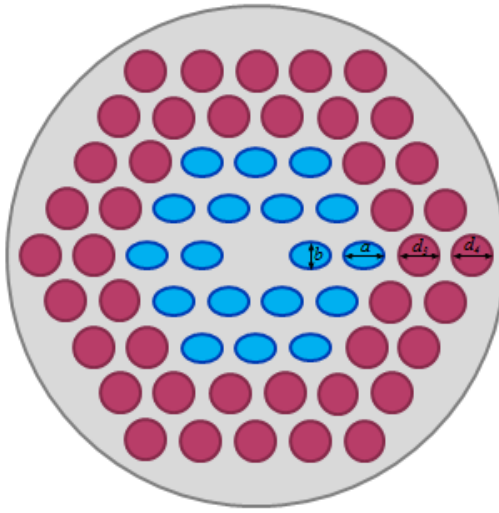
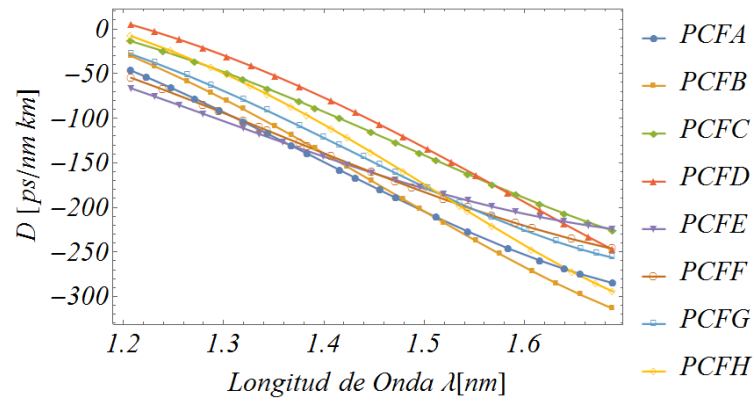


Figura 13. Geometría de la PCF

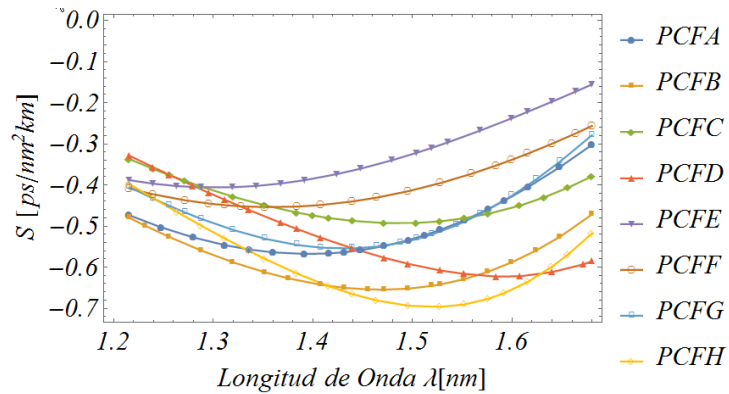
Parámetros geométricos de las PCF.								
Parámetros	A	B	C	D	E	F	G	H
$a[\mu m]$	0.73	0.76	0.76	0.80	0.74	0.76	0.76	0.80
$b[\mu m]$	0.48	0.50	0.50	0.54	0.48	0.50	0.50	0.54
$d_3[\mu m]$	0.64	0.64	0.76	0.64	0.76	0.76	0.76	0.76
$d_4[\mu m]$	0.64	0.64	0.76	0.64	0.76	0.76	0.76	0.76
Periodo \square	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20
Orientación elipses anillo 1	H	H	H	H	V	V	H	H
Orientación elipses anillo 2	H	H	H	H	H	H	V	V
H: Horizontal; V: Vertical								

Tabla I. Parámetros geométricos de las PCF

Para dar una solución al modo fundamental de propagación en la PCF para cada longitud de onda se obtuvo solucionando la ecuación 14 usando COMSOL® Multiphysics [8]



a



b

Figura 14 a. CD y **b.** S de las PCF como función de la longitud de onda.

En la Figuras 14.a. y la Figura 14.b. se observan los valores de CD y S de las PCF analizadas. De otro lado, la figura 15 muestra los valores de RDS

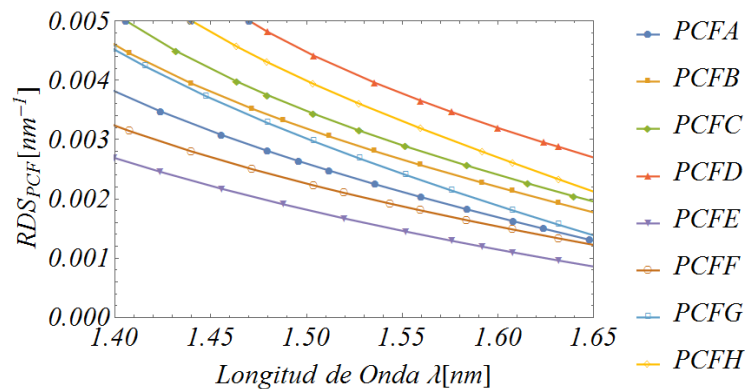


Figura 15. RDS de las PCF como función de la longitud de onda

9.1. ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a las ecuaciones 15 y 16 para que la PCF pueda usarse como DCF es necesario que D_{PCF} y S_{PCF} tengan signos opuestos a D_{SMF} y S_{SMF} respectivamente, lo anterior puede evidenciarse en las figuras 3a y 3b donde se observa que en las bandas C y L de las comunicaciones ópticas (1530 a 1625 nm) los valores de D calculados tienen signo negativo y están por debajo de los -150 ps/nm*km, con un valor mínimo para la PCF B de -313.6 ps/nm*km. A 1550 nm estos valores oscilan entre -237.8 ps/nm*km para la PCF B y -164.3 ps/nm*km para la PCF D. De forma análoga los valores de S de las PCF analizadas son un orden de magnitud mayor que la S de la SMF pero con signo negativo, a 1550 nm estos valores se encuentran entre -0.69 ps/nm²km para la PCF H y -0.38 ps/nm²km para la PCF E.

Así mismo, para que la compensación de dispersión se mantenga igual en un amplio rango de longitudes de onda es necesario cumplir la ecuación 17, por lo anterior, calculamos $RDS_{SMF} - RDS_{PCF}$ y así determinar que la diferencia numérica entre estos parámetros tiende a cero para cada longitud de onda en la región de interés.

A partir de los datos obtenidos anteriormente se encontró que las configuraciones de la PCF B, PCF C y la PCF H, son susceptibles de usarse como DCF en sistemas que trabajen en las bandas C y L. Los resultados se muestran en la figura anterior.

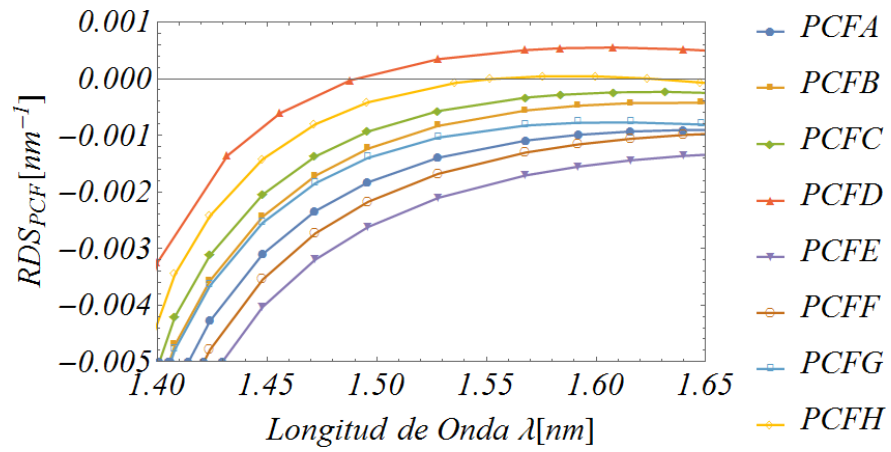


Figura 16. $RDS_{SMF} - RDS_{PCF}$ de las PCF como función de la longitud de onda.

10. COMPETENCIAS DEL SABER O HACER OBTENIDAS EN LA EMPRESA.

El periodo que se llevó a cabo realizando las prácticas de laboratorio e investigación, sirvió como un gran aporte para adquirir conocimientos y destrezas en cuanto a la fibra óptica. La labor de investigación permitió tener habilidades de diseño e innovación, además esta labor permite querer continuar con este proceso y seguir mejorando el factor que incentivo a llevar la investigación. Se logró tener la habilidad de manejar software de forma rápida y eficiente, debido al constante manejo que se le dio a él. También las destrezas matemáticas jugaron un gran papel, ya que al generar este tipo de microestructuras, se llevaban a implícitamente las ecuaciones matemáticas.

10.1. APORTES A LA EMPRESA.

Dentro de los aportes asignados al laboratorio de investigación en fibra óptica y fotónica, se puede considerar como un gran aporte el hecho de diseñar una microestructura diferente a las cuales se venían trabajando allí, además haber obtenido valores significativos en las gráficas que se realizaron hacen ver los grandes resultados que se lograron. Otro aspecto considerable es el mérito de haber redactado un artículo y haber hecho una ponencia en el congreso CIOFF que se llevó a cabo en cuba, no solo resulta siendo un aporte para este laboratorio si no para la institución universitaria.

10.2. LOGROS

El logro principal durante la experiencia fue el hecho de ver los frutos por medio de simulaciones y graficas no perfectamente exitosas, pero muy merecedoras de un excelente aporte dentro del margen de compensación de dispersión cromática. Ya que estas se fueron construyendo por unos meses de investigación, dentro de los cuales se tuvieron que aplicar conocimientos que no se habían adquirido, si no que en el transcurso del periodo de prácticas se fueron entrelazando todos estos conocimientos.

10.3. DIFICULTADES

De acuerdo a la experiencia que se llevó a cabo, se puede considerar como una dificultad presentada variar los parámetros de la micro-estructura y no obtener los datos deseados, para mejorar esto se tuvo que proseguir con el proceso de simulación y variación por gran cantidad de tiempo con el fin de encontrar los patrones deseados. Además una gran dificultad fue tener debilidades en el ambito

de escritura, lo cual retardo la redacción del artículo en el cual se reflejarían los datos obtenidos.

10.4. RECOMENDACIONES

La recomendación para la institución universitaria es incentivar de una mejor manera los estudiantes a participar en los semilleros de investigación, ya que de estos hay en diferentes modalidades, y además es un mecanismo indispensable para enfocarse en un tema de interés dentro del cual podemos hacer un aporte o mejora y podemos presentar soluciones a inconvenientes o problemas que se generen dentro de él.

CONCLUSIONES

- Se logró mostrar configuración de fibras ópticas micro-estructuradas con distribución Hexagonal y agujeros elípticos en los anillos interiores, los cuales pueden utilizarse para el manejo de la dispersión en enlaces de telecomunicaciones en las bandas C y L.
- Variando la composición geométrica de los parámetros y la forma de los agujeros que Conforman la micro-estructura, es posible diseñar fibras ópticas de cristal fotónico capaces de compensar la dispersión de manera óptima.
- Se observó y analizó que las PCF tienden a ser más eficientes cuando el diámetro de los agujeros es de gran tamaño y el periodo es menor, ya que si la distancia entre las figuras es muy grande la luz no se refleja totalmente por el núcleo. Además cabe resaltar que el margen de orientación de las elipses situadas en los dos primeros anillos, genera grandes cambios en la curva de la dispersión y por lo tanto la orientación más efectiva se lleva a cabo cuando se encuentran las elipses en forma horizontal.
- Con las PCFs logramos no solo compensar la dispersión si no abrir un nuevo estudio sobre los factores que pueden mejorar no solo los enlaces de telecomunicaciones sino dar una alternativa en otras ramas del conocimiento. como lo son: la biomédica, la electrónica y las aplicaciones industriales entre otros.

RECONOCIEMIENTOS

En reconocimiento a mis padres. Con todo el cariño y afecto, por su apoyo, dedicación y comprensión quienes hicieron posible este logro en mi vida, esas personas que estaré eternamente agradecido por lo que me han brindado incondicionalmente.

Además el autor agradece a los docentes Erick Reyes Vera, Nelson Darío Gómez Cardona,

Nelson Alonso Correa Rojas, por su apoyo, contribución y asesoría intelectual durante todo el proceso de prácticas.

El autor agradece al Instituto Tecnológico Metropolitano por la financiación en el trabajo P14123 y P14102.

REFERENCIAS

- [1] P. Russell, "Photonic crystal fibers.," *Science*, vol. 299, no. 5605, pp. 358–362, 2003.
- [2] J. C. Knight, T. A. Birks, D. M. Atkin, and P. S.-J. Russell, "Two-Dimensional Photonic Crystal Material in Fibre Form," *Proc. Eur. Meet. Lasers Electro-Optics*, 1996.
- [3] E. Hecht, *Optics*, 4th ed. 2002.
- [4] O. M. S. Cruz, "MODULO INTRODUCTORIO PRINCIPIOS GENRALES DE LA FIBRA ÓPTICA," Universidad Autonoma de Nuevo Leon, 2012.
- [5] Claudia Millena Serpa.Nelson Dario Gómez, *GUIA PARA EL DISEÑO,ANÁLISIS E INSTALACION DE REDES DE FIBRA ÓPTICA*, 2010th ed. 2010.

ANEXOS

1. ARTICULO

ANÁLISIS DE COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS DE CRISTAL FOTÓNICO CON AGUJEROS ELÍPTICOS

ANALYSIS OF CHROMATIC DISPERSION COMPENSATOR USING A PCF WITH ELLIPTICAL HOLES

J. ÛSUGA, D. AMARILES, N. CORREA, E. REYES-VERA, N. GÓMEZ-CARDONA †

Grupo de Automática, Electrónica y Ciencias Computacionales, Facultad de Ingenierías, Instituto Tecnológico Metropolitano, Colombia.
nelsongomez@itm.edu.co†

†autor para la correspondencia

En el presente trabajo mostramos las diferentes configuraciones de una fibra óptica de cristal fotónico con agujeros elípticos para la compensación de dispersión cromática en enlaces de comunicaciones ópticas. Hemos analizado la influencia del tamaño de los agujeros, el periodo y la orientación de las elipses, con el fin de encontrar los mejores parámetros para equilibrado de dispersión en la ventana de telecomunicaciones. Los resultados son obtenidos usando el método de elementos finitos vectorial.

In this paper we show different configurations of photonic crystal fiber with elliptic holes for compensation of chromatic dispersion in optical communications links. We have analyzed the influence of the size of the holes, the period and orientation of the ellipses, in order to find the best parameters for balanced of dispersion in the telecommunications window. The results are obtained by using the full-vectorial finite element method. This work opens the possibility of creating fully compensating optical fiber to improve the quality of current optical communication links

Palabras Claves: Photonic structures 78.67, Fiber optics 42.81.Qb, Fiber networks 2.81.Uv, other fiber-optical devices 42.81.Wg

INTRODUCCIÓN

La dispersión por modo de polarización (PMD, por su sigla en inglés) y la dispersión cromática (CD, por su sigla en inglés) son algunos de los factores más importantes cuando hablamos de deterioro en la señal. Cuando en un enlace de fibra óptica se envía información a altas tasas de bits, la señal no llega en la forma que se desea debido a que la potencia de la luz es atenuada por la fibra óptica y además la CD y la PMD generan ensanchamientos temporales en los pulsos de luz que viajan a lo largo del tramo de la fibra. La CD es causada por la dependencia del índice de refracción de la sílice con la longitud de onda (Dispersión del material) y por las características geométricas y de propagación de la luz en la fibra óptica (Dispersión del guía de onda) así, cada longitud de onda viaja a diferente velocidad. De otro lado, la PMD es debida a que cada modo de polarización de la luz tiene diferente valor de índice de refracción efectivo (n_{eff}) y esto genera que dichos modos viajen a distintas velocidades y conlleve a un retraso temporal entre ellos.

Existen algunas técnicas de compensación en la CD, las cuales se llevan a cabo por medio de dispositivos para compensación de dispersión cromática (DCU, por su sigla en inglés), Los DCU se dividen en: compensación electrónica de dispersión (EDC, por su sigla en inglés) y compensación óptica de dispersión (ODC, por su sigla en inglés). Los EDC se encargan de llevar a cabo un proceso sobre la señal que se envía desde

el transmisor durante todo el tramo, este proceso se encarga de utilizar técnicas de ecualización y procesamiento en las señales con el fin de eliminar toda la CD al final del enlace [2] [3] [4] . Los ODC tienen una gran ventaja y es que se utilizan varias técnicas en este tipo de compensación, una de estas es el uso de fibras ópticas con dispersión negativa, este tipo de fibras son llamadas fibras para compensar dispersión (DCF, por su sigla en inglés) [5] . (También existe otra técnica de compensación óptica y es el uso de fibras ópticas de cristal fotónico (PCF, por su sigla en inglés) [6]. Este tipo de fibras se construyen básicamente por micro-estructuras huecas que se encuentran alrededor de un núcleo, donde el núcleo de la fibra se puede hacer más pequeño [7]. Este tipo de huecos tienen una separación de orden micro-métrico y hacen que la luz se propague por medio de la banda fotónica prohibida. En la banda fotónica prohibida veríamos una reflexión total de la luz y los fotones no generarían refracción [8]. Estas características de propagación de la luz en las PCF favorecen la aparición de fenómenos que nos son posibles las fibras mono-modo convencionales, por ejemplo, PCF's cuyo parámetro de dispersión es negativo en un amplio rango de longitudes de onda. Se espera que en el futuro cercano las PCF se masifiquen como un método alternativo para el manejo de la dispersión en los enlaces ópticos.

METODOLOGIA

Los modos ópticos de propagación en la PCF se encuentran solucionando la ecuación de onda vectorial

$$\nabla \times \varepsilon \nabla \times \mathbf{H} = k_0^2 \mathbf{H}, \quad (1)$$

En la ecuación anterior, \mathbf{H} es el campo magnético, ε es la permitividad dieléctrica del medio, $k_0 = 2\pi/\lambda$, es el vector de onda, λ es la longitud de onda en el vacío. Para solucionar la ecuación anterior se usó el método de elementos finitos con condición de frontera dispersiva. La ecuación de Sellmeier fue utilizada para modelar el índice de refracción de la sílice.

El procedimiento anterior permite encontrar el índice de propagación efectivo, n_{eff} , y la distribución espacial del modo fundamental un rango de longitudes de onda entre 1200 y 1700 nm. Los valores calculados de n_{eff} son usados para estimar el coeficiente de Dispersión D [ps/nm*km], el cual viene dado por la expresión,

$$D = -\frac{\lambda}{c} \frac{\partial^2 \text{Re}\{n_{\text{eff}}\}}{\partial^2 \lambda}, \quad (2)$$

Donde λ es la longitud de onda, y c la velocidad de la luz en el vacío.

Para una compensación adecuada de la dispersión cromática es necesario que las longitudes L de las fibras, sus coeficientes de dispersión D y las pendientes de la dispersión S , cumplan con las siguientes condiciones,

$$L_{SMF} D_{SMF} = L_{PCF} D_{PCF}, \quad (3.a)$$

$$L_{SMF} S_{SMF} = L_{PCF} S_{PCF}, \quad (3.b)$$

Los subscripts SMF y PCF hacen referencia a la fibra mono-modo estándar y a la fibra de cristal fotónico, respectivamente. Definiendo la Pendiente de Dispersión Relativa (RDS por su sigla en inglés) como,

$$RDS = S/D, \quad (4)$$

siendo S la Pendiente de la dispersión y D el parámetro de dispersión cromática, se llega a la siguiente relación,

$$RDS_{SMF} = RDS_{PCF}, \quad (5)$$

RESULTADOS

Para estimar el coeficiente D de la SMF se usó la siguiente ecuación,

$$D_{SMF} \left[\frac{\text{ps}}{\text{nm km}} \right] = \frac{S_0}{4} \left(\lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right), \quad (6)$$

$\lambda_0 = 1301.5 \text{ nm}$ es longitud de onda a cero dispersión y $S_0 = 0.092 \frac{\text{ps}}{\text{nm}^2 \text{ km}}$ es la pendiente de dispersión a λ_0 . S se estimó a partir de una derivada numérica de la curva de D y la RDS se obtuvo usando la ecuación (4). Los anteriores parámetros de la SMF se muestran en las figuras 1a y 1b.

Como se mencionó anteriormente las propiedades de propagación de la luz en las PCF están relacionados con la forma de los agujeros, los ejes (a , b) de las elipses y su orientación, los diámetros (d_3 y d_4) de los agujeros y el periodo (Λ) de la micro-estructura. Se analizaron ocho

PCF de acuerdo a la geometría que se muestra en la figura 2 y a los parámetros listados en la Tabla I.

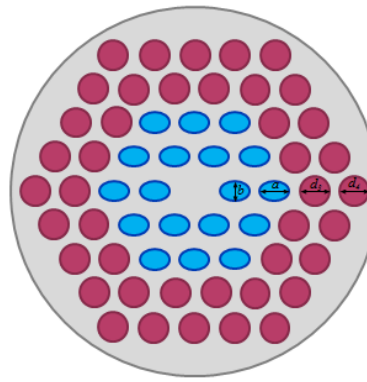


Figura 2: Geometría de la PCF

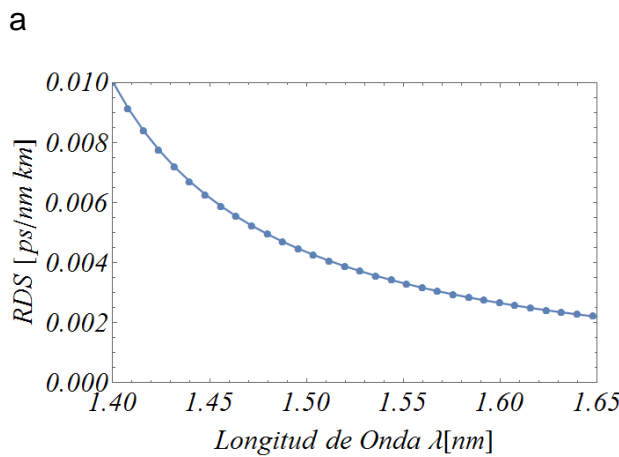
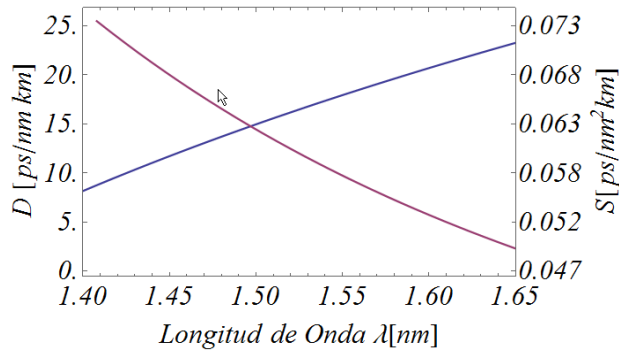


Figura 1. **a.** CD y S , y **b.** RDS de la fibra mono-modo estándar.

.El modo fundamental de propagación en la PCF para cada longitud de onda se obtuvo solucionando la ecuación (2) usando COMSOL® Multiphysics [8]

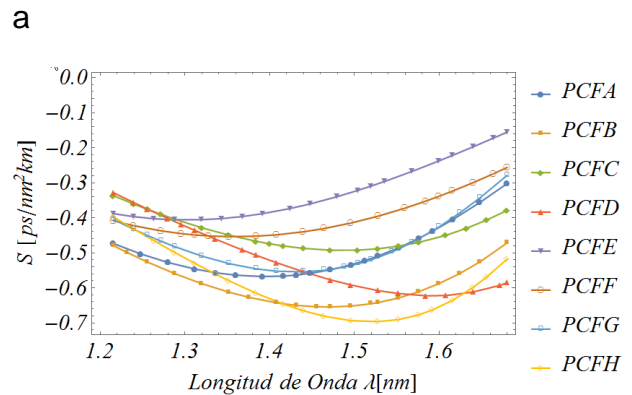
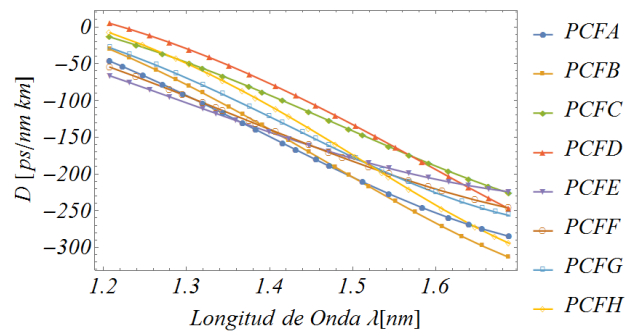


Figura 3 **a.** CD y **b.** S de las PCF como función de la longitud de onda.

.En la figuras (3a) y (3b) se observan los valores de CD y S de las PCF analizadas. De otro lado, la figura 4 muestra los valores de RDS

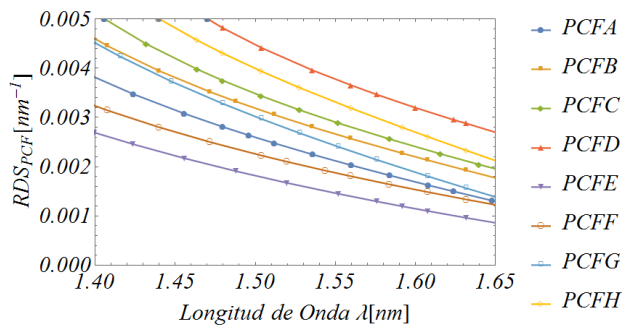


Figura 4. RDS de las PCF como función de la longitud de onda

Tabla I
Parámetros geométricos de las PCF.

Parrametero	A	B	C	D	E	F	G	H
$a[\mu\text{m}]$	0.73	0.76	0.76	0.80	0.74	0.76	0.76	0.80
$b[\mu\text{m}]$	0.48	0.50	0.50	0.54	0.48	0.50	0.50	0.54
$d_3[\mu\text{m}]$	0.64	0.64	0.76	0.64	0.76	0.76	0.76	0.76
$d_4[\mu\text{m}]$	0.64	0.64	0.76	0.64	0.76	0.76	0.76	0.76
Periodo \square	1.10	1.10	1.20	1.20	1.10	1.10	1.20	1.20
Orientación elipses anillo 1	H	H	H	H	V	V	H	H
Orientación elipses anillo 2	H	H	H	H	H	H	V	V

H: Horizontal; V: Vertical

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo a las ecuaciones (3) y (4) para que la PCF pueda usarse como DCF es necesario que D_{PCF} y S_{PCF} tengan signos opuestos a D_{SMF} y S_{SMF} respectivamente, lo anterior puede

evidenciarse en las figuras 3a y 3b donde se observa que en las bandas C y L de las comunicaciones ópticas (1530 a 1625 nm) los valores de D calculados tienen signo negativo y están por debajo de los -150 ps/nm*km, con un valor mínimo para la PCF B de -313.6 ps/nm*km. A 1550 nm estos valores oscilan entre -237.8 ps/nm*km para la PCF B y -164.3 ps/nm*km para la PCF D. De forma análoga los valores de S de las PCF analizadas son un orden de magnitud mayor que la S de la SMF pero con signo negativo, a 1550 nm estos valores se encuentran entre -.069 ps/nm²km para la PCF H y -0.38 psn/nm²*km para la PCF E.

Así mismo, para que la compensación de dispersión se mantenga igual en un amplio rango de longitudes de onda es necesario cumplir la ecuación (5), por lo anterior, calculamos $RDS_{SMF} - RDS_{PCF}$ y así determinar que la diferencia numéricas entre estos parámetros tiende a cero para cada longitud de onda en la región de interés.

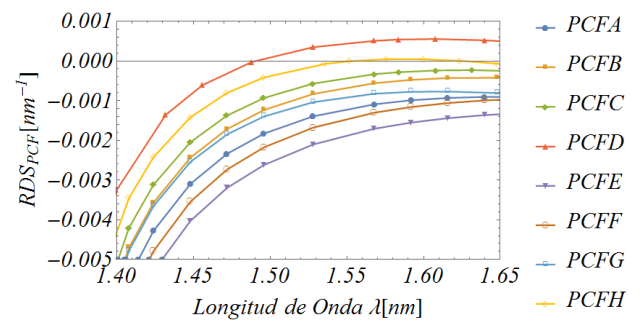


Figura 5. $RDS_{SMF} - RDS_{PCF}$ de las PCF como función de la longitud de onda.

A partir de lo anterior se encontró que las PCF B, PCF C y la PCF H, son susceptibles de usarse como DCF en sistemas que trabajen en las bandas C y L. Los resultados se muestran en la figura 5.

CONCLUSIONES

Se muestran diseños de fibras ópticas micro-estructuradas con distribución hexagonal con huecos elípticos en los anillos interiores que pueden usarse para el manejo de la dispersión en enlaces de telecomunicaciones en las bandas C y L.

.La PCF H con $\kappa=1.2$, $a=0.8$, $b=0.54$, $d_3=d_4=0.76$, con elipses orientadas en

dirección horizontal en el primer anillo y orientación vertical en el segundo, muestra un comportamiento óptimo ya que los valores de RDS_{PCF} estimados son del mismo orden que los valores de RDS_{SMF} para cada longitud de onda en las bandas C y L.

Variando la composición geométrica de los parámetros geométricos y la forma de los agujeros es posible diseñar PCF capaces de manejar la dispersión de forma óptima.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Instituto Tecnológico Metropolitano por la financiación en el trabajo P14123 y P14102.

REFERENCIAS

- [1] P. Russell, "Photonic crystal fibers.," *Science*, vol. 299, no. 5605, pp. 358–362, 2003.
- [2] H. Bulow, F. Buchali, and A. Klekamp, "Electronic Dispersion Compensation," *J. Light. Technol.*, vol. 26, no. 1, pp. 158–167, 2008.
- [3] D. Rafique and A. D. Ellis, "Various Nonlinearity Mitigation Techniques Employing Optical and Electronic Approaches," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 23, no. 23, pp. 1838–1840, Dec. 2011.
- [4] D. McGhan, M. O'Sullivan, M. Sotoodeh, A. Savchenko, C. Bontu, M. Belanger, and K. Roberts, "Electronic dispersion compensation," in *2006 Optical Fiber Communication Conference and the National Fiber Optic Engineers Conference*, 2006, p. 15 pp.

- [5] S. Spolitis and G. Ivanovs, "Extending the reach of DWDM-PON access network using chromatic dispersion compensation," in *2011 IEEE Swedish Communication Technologies Workshop (Swe-CTW)*, 2011, pp. 29–33.
- [6] J. C. Knight, T. A. Birks, D. M. Atkin, and P. S.-J. Russell, "Two-Dimensional Photonic Crystal Material in Fibre Form," in *Proceedings of European Meeting on Lasers and Electro-Optics CLEOE-96*, 1996, pp. 75–75.
- [7] P. Russell, "Photonic crystal fibers.," *Science*, vol. 299, no. 5605, pp. 358–62, Jan. 2003.
- [8] M. A. Islam and M. S. Alam, "Design of a Polarization-Maintaining Equiangular Spiral Photonic Crystal Fiber for Residual Dispersion Compensation Over $E\{+}S\{+}C\{+}L\{+}U\{+$ Wavelength Bands," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 11, pp. 930–932, Jun. 2012.

2. CERTIFICADO DE PONENCIA



International Conference on Optics, Photonics & Photosciences

CIOFF

The organizing committee acknowledges *Juan E. Usuga, Daniela Londoño-Amariles, Nelson Correa, Erick Reyes-Vera, Nelson Gómez-Cardona*

Who contributed the following POSTER PRESENTATION at CIOFF:
Analysis of chromatic dispersion compensator using a PCF with elliptical holes



Dr. Angel Augier Chairman

Hotel Nacional de Cuba, Havana, Oct. 14 - 17, 2014

3. HOJA DE VIDA

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

DATOS PERSONALES

Nombre y Apellidos Juan Esteban Usuga Restrepo
Lugar y Fecha de Nacimiento Medellín - Ant 24 /10 /1992
Estado Civil Soltero
Cédula de Ciudadanía 1037626188
Dirección y Barrio Cll 49 N° 37 23 Buenos Aires
Teléfonos, celular 2166705 , 300 779 92 67
E-mail jeur13@hotmail.com



INFORMACIÓN ACADÉMICA

Terminé Estudios de Secundario en: Institución Educativa Federico Ozanam

Estudiante de Telecomunicaciones Nivel 6 Jornada Mañana
 Ha firmado Contrato de Aprendizaje anteriormente? Si No

EXPERIENCIA LABORAL

EMPRESA	CARGO	TELÉFONO	TIEMPO LABORADO	JEFE INMEDIATO

REFERENCIAS PERSONALES Y/O FAMILIARES

NOMBRE Y APELLIDOS	DIRECCIÓN	TELÉFONOS	PARENTESCO	LABORA EN
Daniela Londoño Amariles	Cra 45 a N° 85 163	5839874	Amiga	Arturo calle
Carlos E Restrepo	Cll 49 N° 37 23	2166705	Tio	Independiente

FORMACIÓN Y COMPETENCIAS

Describe conocimientos y habilidades en los siguientes aspectos. ¿Cuáles?

En informática:
Manejo de Excel y macros

Competencias en segunda lengua: (Marque E - excelente, B - bueno, R - regular)

Idioma Inglés Lee B Escribe B Habla R

Otros estudios realizados (Cursos, Seminarios, Diplomados, etc.):

Seminarios: III congreso internacional de formación y modelación en ciencias básicas
 Universidad de Medellín
 2011

Semilleros: Prospectiva En Telecomunicaciones
 Universidad De Medellín
 2011
 Semillero de Análisis Geométrico
 2010
 Semillero básico de investigación (Telecomunicaciones)
 Universidad De Medellín
 2010

Perfil personal (cualidades y valores) y/o experiencias laborales significativas:
 Soy una persona honesta con capacidad de aprendizaje, responsable, disponibilidad de trabajo en equipo y con un trato humano homogéneo.


 Estudiante


 Prácticas Profesionales

 Institución Universitaria	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

FORMACION POR COMPETENCIAS

PROGRAMA: Tecnología en Telecomunicaciones

1. OBJETO DE FORMACION DEL PROGRAMA ACADÉMICO

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. Descripción de las competencias del saber o conocimientos básicos del programa:

- Analiza el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia, para resolver un problema específico de un sistema de comunicación.
- Revisa cálculos y procedimientos utilizando elementos como generadores de señales análogos o digitales para operar o mantener sistemas de comunicaciones análogos o digitales.
- Aplica los conceptos de reflexión y refracción de la luz en la solución de problemas específicos de transmisión, reflexión y refracción. En un modelo concreto, relaciona los fenómenos de la luz con su naturaleza ondulatoria y corpuscular.
- Interpreta, plantea y modela y la estructura del patrón de interferencia y aplica en solución de problemas técnicos y de ingeniería
- En un caso específico, configura una red creando VLANs, plantea soluciones y propone tecnologías, aplica técnicas de subdivisión de redes y configura de dispositivos de acuerdo con los requerimientos.
- Configura el conjunto de protocolos de TCP/IP, para la operación adecuada de los dispositivos de usuario y de red.
- 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.
- Resuelve problemas de conexión a la red, utilizando los dispositivos adecuados
- Recolecta y registra datos que le permitan reconocer y diferenciar características de patrones de radiación, utilizando medidores de campo.
- Realiza procedimientos para la medición de niveles de ruido y onda reflejada en antenas.

3. Descripción de las competencias del hacer profesional o las habilidades para desempeñarse en una empresa:

- Describir los conceptos básicos utilizados en un sistema de comunicaciones electrónicas.
- Reconocer las propiedades básicas del análisis de señales y sistemas, en el dominio del tiempo y la frecuencia.
- Implementar y operar diferentes circuitos osciladores para la generación de señales.

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


- Aplicar los conceptos de las funciones de Bessel como una herramienta matemática para su profesión.
- Diseñar e implementar circuitos lógicos combinacionales y secuenciales para la resolución de problemas empleando metodologías de diseño digital.
- Manejar instrumentos, libros y manuales en el desarrollo de prototipos.
- Instalar, operar y mantener diferentes medios de transmisión guiados, utilizados en el transporte de información de las redes de telecomunicaciones, teniendo en cuenta parámetros y métodos de medida.
- Aportar soluciones prácticas, oportunas, adecuadas y económicamente viables, a la operación, instalación y mantenimiento de las redes, basadas en el conocimiento de la arquitectura de redes existentes, los modelos de referencia y los medios de transmisión.
- Diseñar, seleccionar, instalar, mantener, soportar y supervisar sistemas de telecomunicaciones y gestionarlos con criterios técnicos, económicos y acorde con estándares y normas vigentes.
- Identificar los tipos de redes de telecomunicaciones de última generación, y las diferentes técnicas de conmutación según sus características y funcionamiento.
- Analiza el comportamiento de las señales en el dominio del tiempo y de la frecuencia.
- Aplica funciones de Bessel en sistemas de comunicaciones
- Determina la diferencia entre conductividad, resistividad y resistencia.
- Comprende el concepto de campo magnético, las fuentes que los generan, su interacción con otras fuentes y las leyes que se utilizan para calcularlo.
- Representación de un problema a través de una expresión con variables booleanas

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


Firma del Estudiante

Fecha de elaboración

4 Guía N°1

 <small>Institución Universitaria</small>	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>Juan Esteban Usuga Restrepo</u> Cédula: <u>1037626188</u> Carné: <u>12106142</u> Teléfonos: <u>2166705 ó 3007799267</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 compensadores de dispersión cromática empleando fibras ópticas microestructuradas.</u> • <u>Modelar empleando el método de elementos finitos vectorial el comportamiento de compensadores totalmente a fibra. Y determinar los parámetros de mejor desempeño mediante la evaluación y análisis computacional.</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

Juan Esteban Usuga R.
Estudiante

ZORBA IBAÑEZ
Prácticas profesionales ITM

5 Guía N°2

 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: Juan Esteban Usuga Restrepo

Programa: Tecnología de Telecomunicaciones

Empresa: ITM Fecha: _____

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
 Coordinador en la empresa

FREDY TORRES
 Prácticas Profesionales ITM

Entregar al mes

6 Guía N°3

 ITM 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: Juan Esteban Usuga Restrepo

Teléfonos: 3007799267 2166705

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Nombre de la empresa: INSTITUTO TECNOLOGICO METROPOLITANO

Dirección: Calle 54 A N°1-30 Teléfono: 4600727

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

Fecha 24 / 10 / 2014



Entregar a los 3 meses

7 GuíaN°4

 Institución Universitaria	Guía No. 4	Código	FDE 077
	EVALUACIÓN FINAL DE LA PRÁCTICA PROFESIONAL	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: Juan Esteban Usuga Restrepo

Programa: Tecnología de Telecomunicaciones


Empresa: INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO **Fecha:**

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				
Comprende e interpreta las observaciones realizadas por el jefe inmediato para llevar a cabo las funciones	X				

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

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

Erick Reyes
 Coordinador en la empresa

FREDY TORRES
 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.

8 INFORMACIÓN DE TRABAJO DE GRADO

 ITM 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

COMPENSACION DE DISPERSION CROMATICA UTILIZANDO FIBRAS OPTICAS DE CRISTAL FOTONICO CON AGUJEROS ELIPTICOS			
Programa Académico:	Tecnología	<input checked="" type="checkbox"/>	Ingeniería
Modalidad Trabajo de Grado			
Proyecto de Grado	Práctica Profesional	<input type="checkbox"/>	Emprendimiento
Producto de Investigación	Prácticas en Laboratorios de Docencia o Investigación	<input checked="" type="checkbox"/>	Pasantías
Certificación	Reconocimiento Laboral	<input type="checkbox"/>	Cursos de Posgrado
Grupo de investigación: Grupo de Automática, Electrónica y ciencias computacionales		Código proyecto	P14123 y P14102
Tipo de Informe (Solo aplica modalidad Proyecto de Grado)	Propuesta de Proyecto de Grado	Informe Final de Proyecto de Grado	<input checked="" type="checkbox"/>
Estudiantes			
Nombre	Cédula	Correo electrónico	
Juan Esteban Usuga Restrepo	1037626188	Jeur13@hotmail.com	
Asesor			
Nombre	Institución	Correo electrónico	
Erick Reyes Vera	ITM	erickreyes@itm.edu.co	

CONCEPTO DEL JURADO EVALUADOR

Concepto inicial sobre el trabajo de grado			
Aprobado sin modificaciones	<input checked="" type="checkbox"/>	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 Reyes Vera		
Firma	Erick Reyes		
FECHA: 07/05/2015			

9. CARTA DE AUTORIZACIÓN DE DIVULGACIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

 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, comunice 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: Ingeniería

Programa: Tecnología en Telecomunicaciones

Nivel: Pregrado Especialización _____ Maestría _____ Doctorado _____

Modalidad de trabajo de grado: Práctica de laboratorio

Título del trabajo de grado: Compensación de dispersión cromática utilizando fibras ópticas de cristal fotónico con agujeros elípticos.

Restricciones a la publicación de la Obra:

- a. Derechos de propiedad intelectual pertenecientes a terceros **NO**
 b. Acuerdos, contratos o cláusulas de confidencialidad suscritas con el ITM y/o con terceros **NO** Quiénes? _____

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

Fecha _____ Lugar donde reposa el acuerdo, contrato o cláusula _____

- c. Licencias exclusivas concedidas a terceros NO
- d. Cesiones totales o parciales realizadas con 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? Si Nombre de la(s) Publicación (es) _____

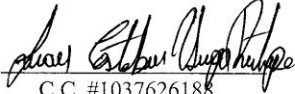
Fecha en la que se sometió la obra o fue publicada Octubre 14 del 2014

- 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:

Juan Esteban Usuga Restrepo


C.C. #1037626188

_____	_____
	C.C. #
_____	_____
	C.C. #
_____	_____
	C.C. #
_____	_____
	C.C. #

10. FICHA TÉCNICA TRABAJO DE GRADO PARA REGISTRO EN EL SISTEMA

 ITM 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. INFORMACIÓN GENERAL

Título

ANÁLISIS DE COMPENSACIÓN DE DISPERSIÓN CROMÁTICA UTILIZANDO FIBRAS ÓPTICAS DE CRISTAL FOTÓNICO CON AGUJEROS ELÍPTICOS

Objetivo

Diseñar un compensador de dispersión cromática, utilizando fibras ópticas de cristal fotónico con agujeros elípticos y circulares los cuales permitirán una mayor eficiencia en la transmisión y calidad de la información.

Plazo:	Inicio	19	08	14	Fin	20	10	14
---------------	---------------	----	----	----	------------	----	----	----

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


2. PERSONAL Y EMPRESA

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

3. DESCRIPCIÓN Y ALCANCE

Descripción

Alcance

 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

4. RECURSOS

Recursos

--

5. PARTICIPANTES

Nombre	Cedula
Juan Esteban Usuga Restrepo	1037626188
Observación	

6. SEGUIMIENTO

Seguimiento

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

11. REGISTRO DE HORAS

ITM Institución Universitaria		MODALIDAD PRÁCTICA TALLERES Y LABORATORIOS DE DOCENCIA O INVESTIGACIÓN DEL ITM			Código	FDE 146
Registro de actividades y cumplimiento de horas					Versión	01
					Fecha	2015-03-13
Documento de Identidad:		1037626188				
Nombre completo del estudiante:		JUAN ESTEBAN USUGA RESTREPO				
Programa académico ITM:		TECNOLOGÍA EN TELECOMUNICACIONES				
Nombre completo del Docente Asesor:		ERICK REYES UREA				
Fecha inicio práctica:		19/08/2014	Fecha fin práctica:		20/10/2014	
Nombre Taller o Laboratorio:		LABORATORIO DE OPTICA, FOTÓNICA Y VISIÓN ARTIFICIAL				
Ubicación:		PARQUE 2, SOTANO 2				
Campus:		TECNOLOGÍA				

Fecha			Actividad desempeñada por el estudiante	Hora Ingreso	Hora salida	Total horas	Firma Laboralista	Firma Docente Asesor	Firma Estudiante
A	M	D							
14	08	21	INVESTIGACIÓN	8:00	12:00	4		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	08	22	INVESTIGACIÓN	2:00	18:00	4		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	08	26	INVESTIGACIÓN	8:00	4:00	8		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	08	28	INVESTIGACIÓN	8:00	2:00	6		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	08	28	INVESTIGACIÓN	8:00	2:00	6		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	09	2	SIMULACIÓN EN CONSOL	8:00	2:00	6		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	09	3	SIMULACIÓN EN CONSOL	2:00	18:00	4		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	09	4	SIMULACIÓN EN CONSOL	8:00	12:00	4		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	09	5	INVESTIGACIÓN	8:00	14:00	6		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>
14	09	11	SIMULACIÓN EN CONSOL	8:00	14:00	6		Erick Reyes	<i>Juan Esteban Usuga Restrepo</i>

14	09	16	INVESTIGACIÓN	8:00	12:00	4		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	18	INVESTIGACIÓN.	8:00	12:00	4		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	19	SIMULACIÓN EN CONSOL	8:00	12:00	4		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	23	DISEÑO DE PARÁMETROS DE LA MICRO-ESTRUCTURA	8:00	14:00	6		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	25	INVESTIGACIÓN.	8:00	14:00	6		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	26	DISEÑO DE PARÁMETROS DE LA MICROESTRUCTURA	8:00	14:00	6		Erick Reyes	Juan Carlos
14	09	20	VARIACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS.	8:00	11:00	3		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	2	ANÁLISIS GRAFICO DEL INDICE DE REFRACCIÓN.	8:00	12:00	4		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	3	VARIACIÓN Y ANÁLISIS DE PARÁMETROS.	8:00	12:00	4		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	7	ANÁLISIS GRAFICO DEL INDICE DE REFRACCIÓN.	8:00	14:00	6		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	9	ANÁLISIS DEL GRAFICO INDICE EFECTIVO.	8:00	16:00	8		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	10	ANÁLISIS Y CREACIÓN CURVAS DE DISPERSIÓN.	8:00	16:00	8		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	16	ANÁLISIS Y CREACIÓN CURVAS DE DISPERSIÓN	8:00	16:00	8		Erick Reyes	Juan Carlos
14	10	17	REDACCIÓN DEL ARTÍCULO	8:00	16:00	8		Erick Reyes	Juan Carlos
TOTAL HORAS									

Juan Carlos
Firma Estudiante

Erick Reyes
Nombre y firma Laboratorista

Erick Reyes
Firma Docente Asesor

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



INFORME FINAL DE
TRABAJO DE GRADO

Código	FDE 089
Versión	03
Fecha	2015-01-22

FIRMA ESTUDIANTES

Juan Esteban Uney

FIRMA ASESOR

Erick Reyes Vera

FECHA ENTREGA: 07-05 2015

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO _____
MODIFICACIONES _____

ACEPTADO _____

ACEPTADO CON

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____