



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FIBRA ÓPTICA
FRENTE A LA APLICACIÓN DE PRESIÓN MECÁNICA PARA LA
CARACTERIZACIÓN DE PROPAGACIÓN.”**

Trabajo de Integración Curricular
Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:
**INGENIERO ELECTRÓNICO EN TELCOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: IVÁN FABRICIO SILVA VERDEZOTO
DIRECTOR: Ing. Paúl David Moreno Avilés.

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Iván Fabricio Silva Verdezoto

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Iván Fabricio Silva Verdezoto, declaro que el presente trabajo de integración curricular es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 17 de agosto de 2023






Iván Fabricio Silva Verdezoto

060376042-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA INGENIERÍA ELETRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de titulación de tipo investigativo “ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DE FIBRA ÓPTICA FRENTE A LA APLICACIÓN DE PRESIÓN MECÁNICA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE PROPAGACIÓN.”, realizado por el señor: **Iván Fabricio Silva Verdezoto**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Pedro Severo Infante Moreira PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-11-17
Ing. Paúl David Moreno Avilés DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-11-17
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés ASESOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN		2023-11-17

DEDICATORIA

A mi familia y en especial a mis hermanos los cuales fueron y son el apoyo fundamental en este proceso.

Iván S

AGRADECIMIENTO

A todos mis amigos por su tiempo, apoyo y los mejores consejos que me brindaron motivándome a mejorar día a día, también a la institución que me brido sus instalaciones para poderme formar profesionalmente y a mis profesores que compartieron su conocimiento, soy el resultado final de todos sus esfuerzos.

Iván S.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	X
RESUMEN.....	XII
SUMMARY	XIII
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	
1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Limitaciones y delimitaciones.....	2
1.2.2. <i>Delimitaciones</i>	3
1.3. Problema general de investigación.....	3
1.4. Problemas específicos de investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	3
1.5.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.5.2. <i>Objetivos específicos</i>	3
1.6. Justificación.....	4
1.6.1. <i>Justificación teórica</i>	4
1.6.2 <i>Justificación metodológica</i>	5
1.6.3 <i>Justificación práctica</i>	5
CAPÍTULO II	
2. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Referencias Teóricas.....	8
2.2.1. <i>Fibra óptica</i>	8
2.2.2. <i>Definición de Fibra óptica</i>	8
2.2.3. <i>Estructura de la fibra óptica</i>	8
2.2.4. <i>Clasificación de la fibra óptica</i>	9
2.2.5. <i>Características de transmisión de la fibra óptica</i>	12
2.2.6. <i>Propagación Luminosa</i>	12
2.2.7. <i>Perdidas de señal o atenuación</i>	13
2.2.8. <i>Perdidas por Radiación</i>	15
2.2.9. <i>Apertura Numérica de la fibra óptica (AN)</i>	17
2.2.10. <i>Transmisores y receptores ópticos</i>	17

2.2.11. Sensores de fibra óptica.....	18
2.2.12. Redes de Bragg.....	19
2.2.13. Tipos de sensores de fibra óptica.....	19
2.2.14. Aplicación de sensores de fibra óptica.....	21
2.2.15. Herramientas de simulación.....	22
CAPÍTULO III	
3.MARCO METODOLÓGICO.....	24
3.1. Introducción.....	24
3.2. Desarrollo de la simulación.....	24
3.2.1. <i>Fimmwave</i>	24
3.2.2. <i>Simulación</i>	24
3.3. Desarrollo experimental.....	28
3.3.1. <i>Materiales</i>	29
3.3.2. <i>Recolección de medidas</i>	30
CAPÍTULO IV	
4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	36
4.1. Resultados de potencia de fibras ópticas.....	36
4.1.2. <i>Caracterización de las curvas</i>	38
4.1.3. <i>Histéresis en fibra óptica</i>	44
4.2. Resultados simulados.....	47
4.3. Comparación entre resultados simulados con experimentales.....	48
4.4. Discusión de resultados.....	52
CONCLUSIONES:.....	53
RECOMENDACIONES:.....	53
BIBLIOGRAFIA.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Tipos de fibra según el material el núcleo y el revestimiento.	9
Tabla 2-2: Diámetros comunes de una fibra óptica y su protección [μm]	11
Tabla 2-3: Comparación tipos de fibras según su clase	11
Tabla 2-4: Atenuación en el cable de fibra óptica.....	13
Tabla 3-1: Parámetros de simulación.....	24
Tabla 3-2: Discos de pesas disponibles.....	32
Tabla 4-1: Prueba de normalidad.....	36
Tabla 4-2: Prueba de Homogeneidad de varianzas	36
Tabla 4-3: Prueba ANOVA.....	37
Tabla 4-4: Comparación múltiples de fibra	37
Tabla 4-5: Datos de presión y reducción de la fibra simulados	48
Tabla 4-6: Comparación de datos de la fibra 1.	49
Tabla 4-7: Comparación de datos de la fibra 2	50
Table 4-8: Comparación de datos de la fibra 3	51

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1: Diagrama de bloques de simulación.	5
Ilustración 1-2: Diagrama de simulación sin aplicar peso a la fibra.	6
Ilustración 1-3: Diagrama de simulación aplicando peso a la fibra.	6
Ilustración 2-1: Estructura de la fibra óptica.	8
Ilustración 2-2: Fibra óptica monomodo 9 μm	10
Ilustración 2-3: Fibra óptica multimodo.	10
Ilustración 2-4: Espectro electromagnético.	12
Ilustración 2-5: Ventanas de transmisión óptico.	12
Ilustración 2-6: Perdidas por Macrocurvaturas.	16
Ilustración 2-7: Perdidas por Microcurvaturas.	16
Ilustración 2-8: Apertura numérica.	17
Ilustración 2-9: Sensores de fibra optica.	18
Ilustración 3-1: Simulación fibra óptica.	25
Ilustración 3-2: Gama de colores en la fibra óptica.	25
Ilustración 3-3: Simulación con un FE 0.8 8/125.	26
Ilustración 3-4: Potencia con un FE 0.8, 8/125.	27
Ilustración 3-5: Simulación con un FE 0.01, 8/125.	27
Ilustración 3-6: Simulación con un FE 0.01, 8/125.	28
Ilustración 3-7: Dispositivo para ejercer presión mediante peso.	28
Ilustración 3-8: Implementación de Platina en la parte cóncava y en la base.	29
Ilustración 3-9: Reducción de contacto con la fibra por medio de una llave hexagonal.	29
Ilustración 3-10: Configuración de equipos OLS Y OPM.	31
Ilustración 3-11: Instalación de la fibra óptica.	31
Ilustración 3-12: Incremento de peso en la mesa.	32
Ilustración 3-13: Valor de potencia en condiciones normales de la fibra.	33
Ilustración 4-1: Extrapolación polinómica de la curva de potencia fibra 1.	38
Ilustración 4-2: Extrapolación polinómica de la curva de potencia fibra 2.	39
Ilustración 4-3: Extrapolación polinómica de la curva de potencia fibra 3.	39
Ilustración 4-4: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 1.	41
Ilustración 4-5: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 2.	41
Ilustración 4-6: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 3.	42
Ilustración 4-7: Extrapolación exponencial de la curva de Potencia fibra 1.	43

Ilustración 4-8: Extrapolación exponencial de la curva de Potencia fibra 2	43
Ilustración 4-9: Extrapolación exponencial de la curva de Potencia fibra 3	44
Ilustración 4-10: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 1.....	45
Ilustración 4-11: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 2.....	46
Ilustración 4-12: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 3.....	46
Ilustración 4-13: Simulación de presión vs potencia.....	47
Ilustración 4-14: Extrapolación de la simulación de presión vs potencia	48

RESUMEN

La fibra óptica presenta innumerables ventajas, aunque a su vez exhibe características que en determinadas situaciones pueden dar lugar a atenuaciones o pérdidas de señal. Estas pérdidas pueden originarse tanto por factores intrínsecos como extrínsecos. Entre los primeros, se incluyen la composición del material empleado en la fabricación de la fibra, mientras que entre los factores extrínsecos se encuentra la deformación del cable bajo distintos parámetros como tensión mecánica, temperatura, presión, humedad y viscosidad; por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue realizar el análisis del comportamiento de la fibra óptica frente a la aplicación de presión mecánica para la caracterización de propagación. Para el desarrollo de este estudio se realizó una breve investigación sobre tipos de fibra óptica y sus características mediante estudios ya realizados. Con esta información se realizó el proceso para recolectar datos experimentales en cuanto a potencia por medio de un dispositivo que ejerce presión mediante el aumento de peso paulatinamente, de igual manera se realizó la recolección de datos mediante el software FIMMWAVE. Finalmente se comparó los resultados experimentales con los simulados dando una modelación de curvatura a la potencia de salida, la cual se somete a una función exponencial en lo experimental y lo simulado. La comparación de los ensayos experimentales presenta una correlación entre la aplicación de peso en la fibra óptica y la reducción de potencia en la salida, igualmente, se presenta una relación de similitud entre el peso ejercido en la fibra con respecto a la reducción del core en la fibra óptica al simular.

Palabras claves: <INTENSIDAD DE POTENCIA>, <PRESIÓN MECÁNICA>, <FIMMWAVE>, <MODELOS DE PROPAGACIÓN>, <PÉRDIDAS POR ABSORCIÓN >, <CARACTERIZACIÓN>, <EXTRAPOLACIÓN>, <HISTÉRESIS>



SUMMARY

The optical fiber offers numerous advantages but exhibits characteristics that can lead to signal attenuation or losses in certain situations. These losses can originate from both intrinsic and extrinsic factors. Among the intrinsic factors is the composition of the material used in fiber manufacturing, while extrinsic factors include cable deformation under various parameters such as tension, mechanics, temperature, pressure, humidity, and viscosity. Therefore, this research aimed to analyze the behavior of optical fiber when subjected to mechanical pressure for propagation characterization. To conduct this study, a brief investigation into the types of optical fibers and their characteristics was carried out through existing studies. With this information, experimental data on power was collected using a device that gradually applies pressure by increasing weight. Data collection was also performed using FIMMWAVE software. Finally, the experimental results were compared with simulated results, providing a modeling of power output as a function of curvature, which was subjected to an exponential function in both experimental and simulated scenarios. The comparison of experimental tests showed a correlation between weight application on the optical fiber and the reduction in power output. Likewise, there is a similarity between the weight applied to the fiber and the reduction of the core in the optical fiber during simulation.

Keywords: <MECHANICAL PRESSURE>, <FIMMWAVE>, <PROPAGATION MODELS>, <ABSORPTION LOSSES>, <CHARACTERIZATION>, <EXTRAPOLATION>, <HYSTERESIS>.



Lenin Iván Luna Olivo
0602546103

INTRODUCCIÓN

La fibra óptica se ha utilizado históricamente en sistemas de comunicaciones que usan ondas luminosas para la transmisión y recepción de información. Pero desde inicios de la década de 1990 la investigación se ha extendido al campo de la optoelectrónica, lo que ha conllevado el desarrollo de productos en la industria de la fibra óptica, especialmente la tecnología de sensores.

Los sistemas de monitorización con sensores de fibra óptica es una tecnología emergente en el campo de los sensores. Esta tecnología puede obtener mayores prestaciones en comparación con los sensores eléctricos convencionales en la medida de tensiones, temperatura, desplazamiento, presión, entre otros. Las ventajas más importantes que presentan los sensores de fibra óptica frente a los sensores convencionales son: la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas; una mayor precisión y fiabilidad de las medidas; mayor estabilidad temporal; mayor resistencia a condiciones ambientales adversas y la posibilidad de multiplexación de la información procedente de los sensores.

CAPÍTULO I

1.PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

las aplicaciones de la fibra óptica son múltiples, han producido grandes avances en el mundo tecnológico, diversas áreas se han visto beneficiadas, tales como medicina, arqueología, mecánica, telecomunicaciones, etc. la fibra óptica posee características que han superado el uso de componentes convencionales, las bondades de la fibra óptica son innumerables, pero de igual manera poseen características que en ciertas situaciones producen atenuaciones o pérdida de la señal, estas pérdidas pueden ser causadas por factores intrínsecos e extrínsecos tales como la composición del material, que se usa en la fabricación de la fibra o la deformación del cable cuando se somete diferentes parámetros como la tensión mecánica, temperatura presión, humedad, viscosidad, etc. Imitando así diferentes ambientes hostiles a lo que puede ser sometido a la fibra Óptica y de esta manera se puede realizar un seguimiento continuo de las propiedades como la intensidad, polarización, atenuación, distorsión de la señal.

1.2. Limitaciones y delimitaciones

1.2.1. Limitaciones

- Entre las limitaciones que se presentan en la presente investigación se tiene el uso de los equipos de medición para la luz, el uso está limitado en la duración de la batería del equipo, en el tiempo que dura la toma de cada muestra y en la disponibilidad de los horarios para uso del equipo.
- Otra limitante es la falta de disposición en cuanto al laboratorio ya que es usado por los estudiantes de la facultad y el software que se usa está ocupado por otros estudiantes que realizan otras investigaciones.
- Concluyendo se tiene la limitación en cuanto a adquirir fibras ópticas ya que existe limitaciones en cuanto en el estándar y lo comercial lo cual no permite realizar pruebas en una gran cantidad de fibras ópticas a lo contrario de lo simulado.

1.2.2. Delimitaciones

1.3 Problema general de investigación

¿Se podrá caracterizar el comportamiento de propagación de la fibra óptica al aplicar presión mecánica sobre ella?

1.4 Problemas específicos de investigación

- ¿Cuál es la situación actual en la industria con el uso de fibra óptica?
- ¿Qué software o herramienta nos sirve para la simulación de fibra óptica?
- ¿Qué grado de exactitud tiene los resultados simulados sobre fibra óptica?
- ¿Existirá variación de los datos experimentales con respecto a los datos simulados?
- ¿Al aplicar presión en la fibra óptica se tendrá variaciones en el comportamiento de propagación?
- ¿Qué fibras son más sensibles con respecto a la aplicación de presión mecánica?

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo general

Analizar el comportamiento de fibra óptica frente a la aplicación de presión mecánica para la caracterización entre presión y distorsión de la señal transmitida.

1.5.2 Objetivos específicos

- Estudiar el estado del arte de fibras ópticas que se emplea en la industria.
- Realizar un análisis de softwares o herramientas de simulación para elegir el adecuado para el proyecto.
- Simular fibras ópticas mediante software o herramientas de simulación.
- Realizar pruebas experimentales en diferentes tipos de fibras aplicándolas presión y hacer una comparación con los datos simulados.
- Caracterizar cuantitativamente el comportamiento de la fibra óptica en condiciones de presión.
- Analizar tipos de fibra que tengan un adecuado comportamiento a dichos ensayos.

1.6 Justificación

1.6.1 Justificación teórica

El incremento en la capacidad y la mejora en la eficiencia de las redes de transporte ópticas ha sido un reto importante de investigación por muchos años. La demanda imparable de diversos servicios de telecomunicaciones como computación en la nube, computación grid, video sobre demanda, transmisiones de video en alta definición, entre otros, exige brindarle mayor ancho de banda a los usuarios finales, los cuales han llevado a que el tráfico de datos crezca de manera exponencial en los últimos años, y se prevé que se requerirán transmisiones en el rango de los Terabits en un futuro cercano para redes metro e incluso de acceso (Jhon James Granada-Torres 2015)

Las pérdidas por macro curvaturas en una fibra óptica de acuerdo a la teoría modal son debidas a que, para cada modo, una parte de la energía óptica se propaga en la cubierta; de esta manera para un modo dado, debido a la curvatura, la energía que se propaga en la cubierta tiene que recorrer una distancia mayor a la que tiene que recorrer la energía que se propaga en el núcleo; ahora bien, para que el modo subsista, la energía debe propagarse en la cubierta a una velocidad mayor que en el núcleo y esta velocidad debe ser tanto mayor cuanto más lejos del núcleo de la fibra se propague la energía. Sin embargo, la energía no puede propagarse a una velocidad superior a la de la luz, por tanto, si la curvatura impone a la energía del modo que se propaga en la cubierta una velocidad superior a la velocidad de la luz la propagación no puede realizarse por lo que el modo desaparece y entonces existe atenuación (Hurtado 2016)

En un enlace óptico es importante garantizar que la señal llegue al receptor con un nivel aceptable de potencia para que la transmisión de la información sea fiable, muchas veces en la instalación o tendidos de la fibra se producen curvaturas a lo largo de estas, que causan atenuaciones a la señal, por el hecho que la interfaz deja de ser geométricamente uniforme, las luces refleja en algunos puntos con ángulos diferentes a los de la trayectoria inicial, perdiendo así el principio de reflexión total interna generándose modos de fuga hacia el revestimiento lo que implica un riesgo en la recepción de la señal. (Heredia Ch, Murillo y Vargas 2013)

Los sensores compuestos de fibra óptica poseen la capacidad de detección de cambios cuando se somete la fibra a diferentes parámetros como la tensión mecánica, temperatura presión, humedad, viscosidad, etc. Imitando así diferentes ambientes hostiles a lo que puede ser sometido a la fibra Óptica y de esta manera se puede realizar un seguimiento continuo de las propiedades como la intensidad false polarización atenuación etc. (Heredia Ch, Murillo y Vargas 2013)

La tecnología de sensores de fibra óptica utiliza este material como elemento sensor o como medio de transmisión de señales desde un sensor remoto hacia un dispositivo electrónico que las procesa. Junto con el desarrollo de productos confiables y de alta calidad, se ha dado una rápida aceptación, y en algunos casos incluso el reemplazo, de los tradicionales sensores eléctricos en una variedad de aplicaciones de detección tales como: mediciones de deformación, esfuerzo, temperatura, vibraciones, desplazamiento y deflexión. (Navarro y Enríquez, 2014).

1.6.2 Justificación metodológica

En esta investigación para la obtención de los datos medidos por los equipos disponibles se realiza mediante la metodología experimental recolectando de forma práctica las mediciones de potencia versus el peso, también se realiza la obtención de datos simulados por medio del software Fimmwave el cual permite simular una presión al reducir el diámetro de la fibra óptica y obtener la potencia de salida frente a diversos casos.

1.6.3 Justificación práctica

El principal tema de estudio de este proyecto es el análisis del comportamiento de la fibra óptica al aplicar presión sobre ella, lo primero que se plantea es la simulación de propagación de señales mediante herramientas o software que sirvan para el estudio propuesto, en la ilustración 1-1 se muestra un diagrama de bloques que representa de manera abstracta como se realizará la simulación tanto en condiciones normales que será el punto de referencia y cuando se aplique una presión, en ese diagrama se representa los datos de entrada, salida y el simulador a ocupar, para poder representar una presión en la fibra óptica al momento de simular se reducirá el grosor de la fibra óptica en una parte determinada con el propósito de modificar los parámetros de propagación, los demás parámetros serán los mismo.

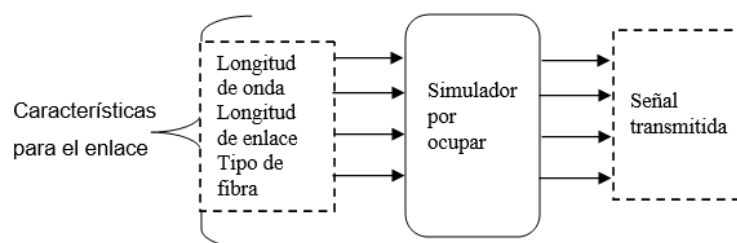


Ilustración 1-1: Diagrama de bloques de simulación.

Fuente: (Silva, 2023)

En la ilustración 1-2 se muestra un enlace óptico el cual servirá para el envío de información en condiciones normales el cual nos va a servir como punto de referencia para el estudio a realizarse,

luego a este mismo enlace se realizará pruebas de presión mecánica a la fibra óptica como se muestra en la ilustración 1-3.

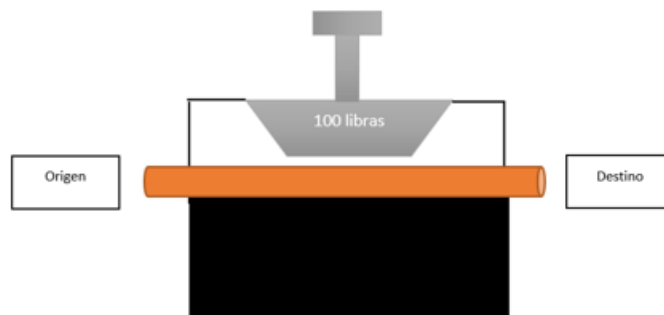


Ilustración 1-2: Diagrama de simulación sin aplicar peso a la fibra.

Fuente: (Silva, 2023)

El propósito de estas pruebas es el análisis del comportamiento de la señal enviada por la fibra, con el objetivo de obtener una caracterización de la señal transmitida con respecto a las pruebas de presión realizadas y por último se efectuará un análisis comparativo de la señal transmitida con respecto a la señal receptada tanto en condiciones experimentales como simuladas.

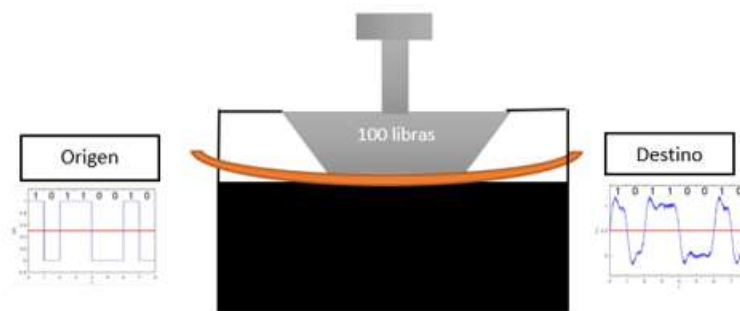


Ilustración 1-3: Diagrama de simulación aplicando peso a la fibra.

Fuente: (Silva, 2023)

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La era moderna de las comunicaciones empieza en 1830 con la invención del telégrafo. En 1980 se realiza la primera comunicación a 45 Mb/s, colocando fin a un periodo de más de 100 años dominado por las comunicaciones analógicas. Para mediados del siglo XX ya se podía decir que transmitir información por medio de luz podía incrementar la capacidad de los sistemas de comunicación. Sin embargo, hasta la invención del láser en 1960 se pudo contar con una fuente emisora de luz coherente (Gonzales 2007)

El problema siguiente fue el de encontrar un medio de transporte adecuado para la transmisión de la luz y fue así que en 1966 surgió la primera fibra óptica, que permitió resolver este problema. Sin embargo, las fibras ópticas en esa época presentaban grandes atenuaciones para la señal del orden de un decibel por metro, lo cual era demasiado para las comunicaciones ópticas.

En 1970 se fabrican las primeras fibras con baja atenuación para longitudes de onda de 1000 nm y los láseres de semiconductores que operaban en temperatura ambiente, lo que permitió compactar las fuentes ópticas. Esto trajo como consecuencia la disponibilidad de fibras a baja atenuación y el desarrollo de los sistemas de comunicaciones de alta capacidad (Gonzales 2007)

La fibra óptica se ha utilizado históricamente en sistemas de comunicaciones que usan ondas luminosas para la transmisión y recepción de información. Pero desde inicios de la década de 1990 la investigación se ha extendido al campo de la optoelectrónica, lo que ha conllevado el desarrollo de productos en la industria de la fibra óptica, especialmente la tecnología de sensores (Navarro Henríquez 2014)

Los sistemas de monitorización con sensores de fibra óptica es una tecnología emergente en el campo de los sensores. Esta tecnología puede obtener mayores prestaciones en comparación con los sensores eléctricos convencionales en la medida de tensiones, temperatura, desplazamiento, presión, entre otros. Las ventajas más importantes que presentan los sensores de fibra óptica frente a los sensores convencionales son: la inmunidad frente a interferencias electromagnéticas; una mayor precisión y fiabilidad de las medidas; mayor estabilidad temporal; mayor resistencia a condiciones ambientales adversas y la posibilidad de multiplexación de la información procedente de los sensores. (Vilar 2011)

2.2 Referencias Teóricas

2.2.1. Fibra óptica

La fibra óptica se trata de un medio de transmisión de datos mediante impulsos fotoeléctricos a través de un hilo construido en vidrio transparente u otros materiales plásticos con la misma funcionalidad. Estos hilos pueden llegar a ser casi tan finos como un cabello, y son precisamente el medio de transmisión de la señal. (Castillo 2019).

Básicamente por estos finísimos cables se transfiere una señal luminosa desde un extremo del cable hasta el otro. Esta luz puede ser generada mediante un láser o un LED, y su uso más extendido es el de transportar datos a grandes distancias, ya que este medio tiene un ancho de banda mucho mayor que los cables metálicos, menores pérdidas y mayores velocidades de transmisión (Castillo 2019).

2.2.2 Definición de Fibra óptica.

La fibra óptica es un hilo cilíndrico transparente muy delgado que constituye el medio de propagación de ondas luminosas, permitiendo el transporte de información. (Cortez 2016).

2.2.3. Estructura de la fibra óptica

Este cable especial está diseñado para utilizar la luz como un vehículo efectivo en la transmisión de datos. Esto se logra mediante terminaciones y placas especiales dispuestas a lo largo de su estructura, sus componentes comunes suelen ser el núcleo, revestimiento y el forro o protector como se aprecia en la Ilustración 2-1.

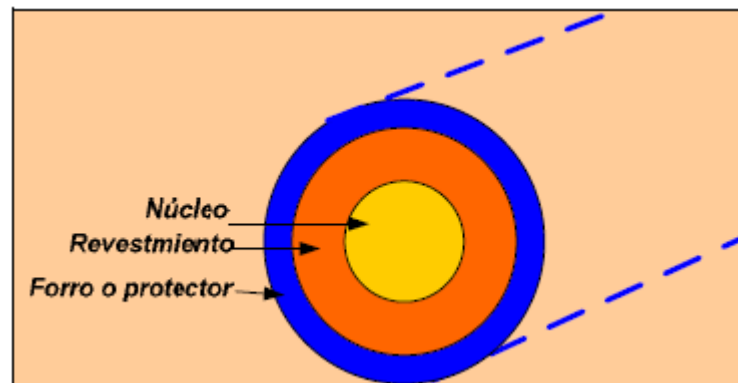


Ilustración 2-1: Estructura de la fibra óptica.

Fuente: Cortez, 2016

- El núcleo (core), es la parte interior de la fibra, que es fabricado por un material dieléctrico normalmente es de vidrio o de sílice.
- El revestimiento (cladding), es la parte que envuelve al núcleo y es fabricado con materiales similares al núcleo, pero con un índice de refracción menor.
- Forro o protector, generalmente es fabricado en plástico que tiene como objetivo proteger mecánicamente al núcleo y al revestimiento.

2.2.4. Clasificación de la fibra óptica.

2.2.4.1. Por los materiales que conforman el núcleo y el revestimiento

Esencialmente hay tres variedades de fibras ópticas disponibles actualmente como se lo puede apreciar en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Tipos de fibra según el material el núcleo y el revestimiento.

NÚCLEO	REVESTIMIENTO	CATEGORIA
VIDRIO	VIDRIO	A1: Índice gradual A2: Índice escalón
VIDRIO	PLÁSTICO	A3
PLÁSTICO	PLÁSTICO	A4

Fuente: Cortez, 2016

Las fibras con núcleo de vidrio y revestimiento de vidrio, llamadas SCS (sílice cubierta de sílice) ofrecen las mejores características de propagación y de baja atenuación, por otra parte, mecánicamente son las menos fuertes y las más susceptibles a los incrementos de atenuación cuando se expone a la radiación, por lo general las fibras monomodo siempre tienen núcleo y revestimiento de vidrio.

Las fibras con núcleo de vidrio y revestimiento de plástico, comúnmente llamadas PCS (sílice cubierta de plástico) poseen una atenuación baja y resulta menos afectadas por la radiación que las fibras que son netamente de vidrio.

Las fibras de plástico tienen varias ventajas con respecto a las fibras de vidrio ya que son más flexibles y como consecuencias más fuertes que el vidrio, son menos costosas y pesan aproximadamente 60% menos que las de vidrio, la principal desventaja en estos tipos de fibra es la alta atenuación.

2.2.4.2. Por el modo de transmisión.

2.2.4.2.1. Fibras Monomodo

Las fibras monomodo poseen un diámetro del núcleo muy estrecho, de manera que solo permiten un modo de transmisión. Poseen una atenuación típica de entre 0,1 dB y 0,4 dB por kilómetro. El núcleo mide entre 8 μm y 10 μm , por lo que requiere un acoplamiento de la luz muy confinado y preciso. Este diámetro tan estrecho causa, además, que el haz se propague siguiendo una trayectoria muy paralela al eje de la fibra por lo que se evita el desfase al final de la transmisión y reduce la dispersión causada, en la Ilustración 2-2 se tiene un esquema de la fibra monomodo de 9 μm (Prieto Jaime 2014)



Ilustración 2-2: Fibra óptica monomodo 9 μm .

Fuente: (Silva, 2023)

Principalmente estas fibras son usadas en enlaces de largas distancia y puede transportar señales de 10 a 40 Gbps o superiores, con la ayuda de la técnica de multiplexación por división de longitud de onda. (Guamán 2020)

2.2.4.2.2. *Fibras Multimodo*

En las fibras multimodo se engloban todas aquellas en las cuales el diámetro del núcleo de este tipo de fibras es amplio, por lo que es capaz de propagar varios modos de transmisión simultáneamente. Poseen una atenuación típica de entre 0,3dB y 1dB por kilómetro. El núcleo mide en torno a 50 μm ó 62,5 μm , por lo que el acoplamiento de la luz en sus diferentes modos es más sencillo. Debido a esto, es posible utilizar un LED como fuente emisora, así como conectores más sencillos y una instalación y mantenimiento con menos costo que la fibra monomodo. (Prieto Jaime 2014)

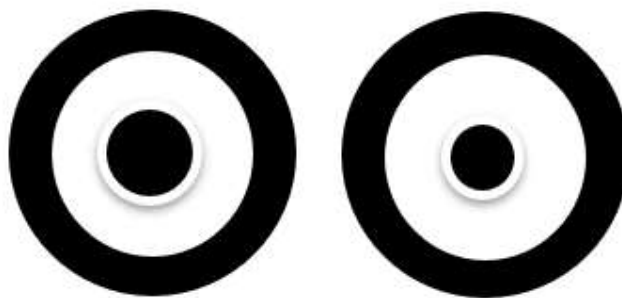


Ilustración 2-3: Fibra óptica multimodo.

Fuente: (Silva, 2023)

Las fibras multimodo son de dos tipos, como lo podemos observar en la Ilustración 2-3 que dependen del índice de refracción de la fibra, por lo tanto, se tiene fibras multimodo de índice fijo e índice gradual, Para la fibra multimodo de índice gradual es utilizada para compensar las diferentes longitudes de trayectoria de los modos, esto se da por las variaciones en la composición del vidrio en el núcleo, En cuanto a la fibra óptica multimodo de índice fijo se considera

como el primer diseño de fibra óptica, por lo tanto, la propagación del haz de luz es muy lento, debido a la dispersión causada por las diferentes longitudes de trayectos de los distintos modos. (Guamán Édison, 2019).

2.2.4.3. Por las dimensiones del núcleo y el revestimiento

Teniendo en cuenta los diámetros del núcleo y del revestimiento las fibras ópticas que se usan en las telecomunicaciones se fabrican en cinco grupos principales como lo podemos observar en la tabla 2-2

Tabla 2-2: Diámetros comunes de una fibra óptica y su protección [μm]

CLASE	NÚCLEO	REVESTIMIENTO	RECUBRIMIENTO	TUBO O PROTECCION
I	8 a 10	125	250 o 500	900 o 200
II	50	125	250 o 500	900 o 200
III	62,5	125	250 o 500	900 o 200
IV	85	125	250 o 500	900 o 200
V	100	140	250 o 500	900 o 200

Fuente: Cortez 2016

El tamaño de una fibra se puede especificar en el siguiente formato “núcleo/revestimiento”, por lo que indica que una fibra 62.5/125 quiere decir que el núcleo es de 62.5 μm de diámetro y un revestimiento de 125 μm de diámetro.

La fibra de Clase I se conoce como fibra monomodo ya que tiene un núcleo de 8 a 10/125 μm , mientras que las Clases II a la V son consideradas fibras multimodo, la fibra de diámetros 62.5/125 μm es la más popular para transmisión multimodo, se está convirtiendo en estándar para muchas aplicaciones y es menos susceptible a las pérdidas por microcurvaturas.

En la tabla 2-3 se muestra una comparación de las características más importantes de las fibras ópticas según su clase:

Tabla 2-3: Comparación tipos de fibras según su clase

CLASE	NÚCLEO	AN	PÉRDIDAS	ANCHO DE BANDA	LONGITUD DE BANDA
I	8 a 10	La más pequeña	Las más bajas	El mayor	1350-1550
II	50	Más alta	Más bajas	Más grande	850-1310
II	62,5	Media	Bajas	Medio	850-1310
IV	85	Grande	Altas	Más pequeño	850-1310
V	100	La más grande	Más altas	El más pequeño	850-1310

Fuente: (Cortez 2016)

2.2.5. Características de transmisión de la fibra óptica

Las características de transmisión en una fibra óptica dependen en gran medida de la longitud de onda utilizada para transportar la información. La longitud de onda es la distancia que ocupa un ciclo de una onda electromagnética, en la Ilustración 2-4 se visualiza el espectro de longitud de onda electromagnético.

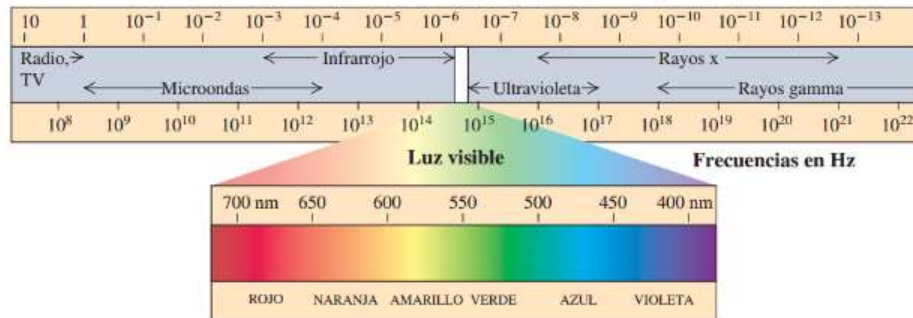


Ilustración 2-4: Espectro electromagnético.

Fuente: (Cortez, 2016)

Se ha descubierto que, a determinadas frecuencias, las ondas pasarán a través de ciertos materiales más fácilmente; en el caso de las fibras ópticas, si se modula a determinadas frecuencias los efectos de la dispersión y las pérdidas de material debidas a propagación de ondas tienden a cancelarse unas con otras y crear ventanas como se ilustra en la Ilustración 2-5.

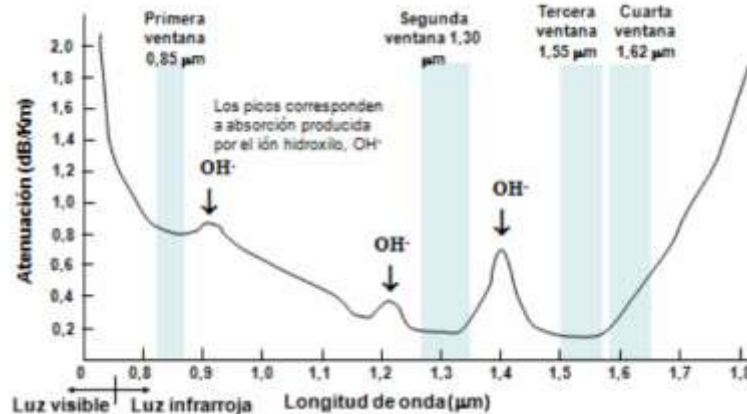


Ilustración 2-5: Ventanas de transmisión óptico.

Fuente: (Llumiquina y Mullo 2008)

2.2.6. Propagación Luminosa.

Las ondas luminosas que se propagan por el interior de las fibras ópticas muestran ciertos comportamientos que dependen principalmente de los fenómenos de reflexión y refracción. El efecto de la refracción se puede observar fácilmente introduciendo una varilla en agua; se puede ver que la varilla parece quebrarse bajo la superficie; en realidad lo que sucede es que la luz

reflejada por la varilla su imagen cambia de dirección al salir del agua, debido a la diferencia de índices de refracción entre el agua y el aire. Por otro lado, el fenómeno de reflexión puede observarse en un espejo donde, en este caso, la mayor parte de la luz no puede atravesar el material y se refleja al medio anterior. Estos fenómenos dependen tanto de los materiales como de los ángulos de incidencia de la luz. (Cortez, 2016)

2.2.7. *Perdidas de señal o atenuación.*

Es probable que la pérdida de potencia en un cable de fibra óptica sea la característica más importante del cable, con frecuencia se llama atenuación la pérdida de potencia, y produce una pérdida de potencia de la onda luminosa al atravesar el cable, la atenuación tiene varios efectos adversos sobre el funcionamiento, que incluyen la reducción del ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema.

En general, las fibras multimodales tienden a tener mayores pérdidas de atenuación que los cables unimodales, debido principalmente a la mayor dispersión de la onda luminosa, producida por las impurezas. Un cable con pérdida de 3 dB reduce la potencia de salida a 50% de la potencia de entrada. Aunque la pérdida total de potencia es de principal importancia, la atenuación de un cable óptico se expresa, en general, en decibelios de pérdida por unidad de longitud. La atenuación se representa con un valor positivo de dB, porque por definición es una pérdida. La tabla 2-4 es una lista de atenuaciones, en dB/km, para diversos tipos de cables de fibra. (Tomasi, Mata Hernández y González Pozo 2003).

Tabla 2-4: Atenuación en el cable de fibra óptica.

Tipo de cable	Diámetro del núcleo μm	Diámetro del revestimiento μm	Longitud de banda	Atenuación (dB/km)
Unimodal	8	125	1300	0.5
	5	125	1300	0.4
Índice graduado	50	125	850	4
	100	10	850	5
Índice escalonado	200	350	850	6
	300	440	850	6
PCS	200	350	790	10
	400	550	790	10
Plástico	—	750	650	400
	—	1000	650	400

Fuente: Tomasi, Mata Hernández and González Pozo 2003

Las pérdidas de transmisión en los cables de fibra óptica son una de las características más importantes de la fibra, las pérdidas en la fibra causan una reducción de la potencia luminosa y,

en consecuencia, reducen el ancho de banda del sistema, la rapidez de transmisión de información, la eficiencia y la capacidad general del sistema. Las principales pérdidas en la fibra son:

Los diversos valores que puede tomar la intensidad de la señal Wifi, en toda el área de cobertura creada por la tecnología wifi-inalámbrica, afecta de manera directa a todos los usuarios que estén conectados a la red; está afectación se ve reflejada en su rendimiento al conectarse al servicio de acceso a Internet.

2.2.7.1. Pérdidas por absorción.

Son pérdidas que se producen debido a impurezas de los materiales con los que se fabrica la fibra óptica, estas impurezas absorben el rayo de luz transportado y lo convierte en calor, básicamente, las pérdidas por absorción se originan por los rayos ultravioletas, rayos infrarrojos y por la presencia de iones hidroxilo, las pérdidas por absorción ultravioleta se debe a la excitación electrónica (cambio de nivel de un electrón), cada uno de estos saltos da lugar a absorción de energía y a pérdidas, la absorción ultravioleta disminuye apreciablemente a medida que la longitud de onda crece, por lo tanto, en longitudes por encima de 1000nm su influencia es casi nula, y la absorción infrarrojos en cambio en esta opción actúa en la región infrarroja donde los fotones de luz son absorbidos por los átomos de las moléculas del núcleo de vidrio, los fotones absorbidos se convierten en vibraciones mecánicas aleatorias, características del calentamiento, dichas pérdidas crece exponencialmente con la longitud de onda y es despreciable por debajo de los 1400nm. (Panchi 2016)

2.2.7.2. Pérdidas por dispersión en material o de Rayleigh

La pérdida de Rayleigh ocurre cuando los rayos de luz que viajan a través de una fibra óptica en su camino chocan con partículas extrañas en el medio del material, cuyo diámetro es mucho más pequeño que la longitud de onda de la señal óptica, causando distorsión, los rayos que caen dispersos en muchas direcciones, parte del haz difractado escapa a través del revestimiento y la otra parte continúa a lo largo de las fibras, las pérdidas de Rayleigh tienen mayor influencia en longitudes de onda que están comprendidas entre 400nm y 1100nm, por tanto, para evitarlas se debe utilizar longitudes de onda lo más altas posible.(Panchi 2016)

2.2.7.3. Dispersión cromática, o de longitudes de onda.

La dispersión cromática en la fibra ocurre debido al ancho espectral de la fuente de luz, es decir, los transmisores que operan con láseres o LED's producen un rango de longitudes de onda, cada una de ellas viaja a diferente velocidad de propagación produciendo diferentes retardos, que al final de la fibra ocasionan el ensanchamiento del pulso emitido y por ende la dispersión limita la velocidad máxima del sistema de transmisión, esta es la principal causa de la dispersión cromática, ya que depende intrínsecamente del material y afecta tanto a fibras multimodo como monomodo.(Panchi 2016)

2.2.7.4. Dispersión modal.

Esto sucede cuando diferentes rayos de luz llegan al final de la fibra en diferentes momentos debido a diferentes caminos. Si se envían varios pulsos a través de la fibra a alta velocidad, se superpondrán debido a la dispersión y el receptor no podrá distinguir dónde comienza un pulso y dónde termina el siguiente, lo que limita el ancho de banda para una determinada longitud de fibra, este efecto sólo ocurre en las fibras multimodo, aunque se puede reducir en forma considerable en fibras de índice graduado. (Tomasi, Mata Hernández y González Pozo 2003)

2.2.7.5. Pérdidas por acoplamiento.

Estas pérdidas ocurren en la unión de fibras y pueden presentarse por tres formas ya sea la conexión de fuente luminosa a la fibra, conexión de la fibra a fibra y conexión de fibra a fotodetector, las pérdidas en las uniones se deben, con más frecuencia, a uno de los siguientes problemas de alineación: desalineamiento lateral, desalineamiento de entrehierro, desalineamiento angular y acabados superficiales imperfectos. (Tomasi, Mata Hernández y González Pozo 2003)

2.2.8. Pérdidas por Radiación.

Las pérdidas por radiación se deben principalmente a pequeños cambios de dirección y dobleces de la fibra. En esencia hay dos tipos de dobleces: los microdobleces y los dobleces con radio constante. El micro doblamiento se debe a variaciones en las velocidades de contracción térmica del núcleo y del material de revestimiento. Un micro doblez es un doblez o imperfección geométrica en miniatura del eje de la fibra, que representa una discontinuidad en ella en donde puede presentarse la dispersión de Rayleigh. Las pérdidas en microdobleces en general constituyen menos de 20% de la atenuación en una fibra. Los dobleces de radio constante se deben a demasiada presión y tensión y, en general, se presentan cuando se doblan las fibras durante su manejo o instalación. (Tomasi, Mata Hernández y González Pozo 2003)

2.2.8.1 Pérdidas por Curvatura

En los sistemas de comunicación óptica, se tiene curvaturas a lo largo del tendido de la fibra, las cuales dependen de un radio de curvatura lo que produce un efecto en el comportamiento de la intensidad de radiación en la señal que se propaga a través de la fibra, los modos de mayor orden se escapan del núcleo hacia el revestimiento como se muestra en la Ilustración 2-6 esta anomalía se le conoce como pérdidas por macrocurvaturas. (Castañeda 2018)

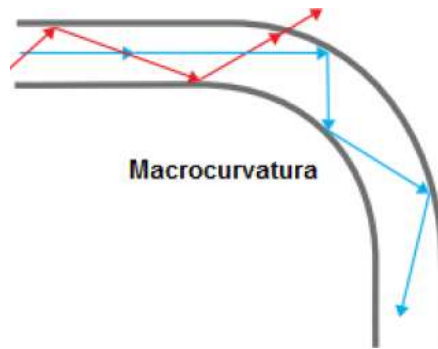


Ilustración 2-6: Pérdidas por Macro curvaturas.

Fuente: (Castañeda 2018)

También aparecen otras curvas que se derivan de la propia fibra, porque cada hilo de fibra no está aislado, sino que va con otros hilos en formas determinadas, donde cada una de ellas afecta la disposición de las otras produciendo pequeñas curvaturas o deformaciones de los hilos, con radios menores. A estas curvas se les da el nombre de microcurvaturas y producen pérdidas por microcurvaturas. (Pinto y Cabezas 2014)

Para el caso de las microcurvaturas, en las que las irregularidades de la fibra aparecen en el momento de cableado de la fibra, por lo que a veces se les llama pérdidas por cableado o empaquetado, la atenuación se deberá al acoplo repetido entre modos que se propagan y modos que se radian. Si los rayos al chocar con las irregularidades cambian de ángulo, se podría decir que los rayos ahora no se propagarán dentro de la fibra, sino que se radiarán. Para unos casos habrá interferencia destructiva y para otros constructiva como se ilustra en la Ilustración 2-7.



Ilustración 2-7: Pérdidas por Microcurvaturas.

Fuente: (Cabezas and Pinto 2014)

Si el haz de radiación considerado de un solo modo se propaga dentro de una fibra curvada con radio r , la distribución de la intensidad de radiación tendrá diferentes velocidades, sobre todo la intensidad de la energía atenuada cerca al revestimiento, por cuanto, por la parte superior de la curva los rayos deberán ir a una velocidad mayor que los del radio interior, ya que aquellos recorrerán mayor distancia. Por lo tanto, es posible que la energía del modo tienda a radiar en la parte externa y la radiación que se transmite por la fibra pierde parte de su intensidad.

Este tipo de pérdidas también se llaman pérdidas por radiación en las curvas. Los valores típicos de pérdidas por micro curvaturas que aparecen cuando se hace el cableado de los hilos, pueden llegar a ser de 1 a 2dB/km (Castañeda 2018)

2.2.9. Apertura Numérica de la fibra óptica (AN)

La abertura numérica se relaciona en forma estrecha con el ángulo de aceptación y es la Ilustración de mérito que se suele usar para medir la magnitud del ángulo de aceptación, Se usa la abertura numérica para describir la capacidad de reunir la luz que tiene una fibra óptica, mientras mayor sea la magnitud de la abertura numérica, la fibra acepta mayor cantidad de luz externa, como se puede apreciar en la Ilustración 2-8, para fibras unimodales o multimodales, la abertura numérica se define como el seno del ángulo máximo que un rayo de luz que entra a la fibra puede formar con el eje de la fibra, y propagarse por el cable por reflexión interna, es decir, el seno del medio ángulo de aceptación. Los rayos de luz que entran al cable desde el exterior del cono de aceptación entrarán al revestimiento y, en consecuencia, no se propagarán por el cable. (Tomasi, Mata Hernández y González Pozo 2003)

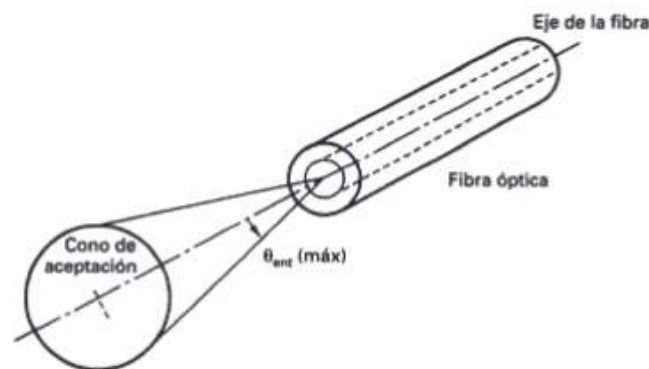


Ilustración 2-8: Apertura numérica.

Fuente: (Tomasi, Mata Hernández and González Pozo 2003)

2.2.10. Transmisores y receptores ópticos

2.2.10.1. Transmisores ópticos.

En la cabecera de la red óptica se encuentra el dispositivo transmisor que introduce la señal óptica en la red. Este dispositivo transmite a todos los usuarios clientes y enlaza la red con el exterior. Los emisores de luz que contiene cada transmisor están formados generalmente por láseres. Un láser es un dispositivo que utiliza un efecto de la mecánica cuántica, la emisión inducida o estimulada, para generar un haz de luz coherente con una alta pureza espectral. Hasta hace poco los LEDs eran utilizados como emisores de luz cuando su baja directividad no era un inconveniente en la mayoría de las fibras multimodo existentes entonces. Hoy en día, este inconveniente junto con su pulso de elevado ancho espectral, desplazan al LED para este tipo de aplicaciones, convirtiendo a los láseres en los dispositivos más utilizados para este fin.

2.2.10.2. Receptores ópticos.

En el lado final del usuario, o simplemente en la terminación de la fibra, se sitúa el receptor óptico,

es capaz de hacer llegar la señal óptica al destinatario de la misma, y convertirla en señal eléctrica para su procesamiento, el dispositivo que permite esta conversión opto-eléctrica es el fotodiodo, es el componente fundamental del sistema de comunicaciones ópticas que menos ha evolucionado, básicamente, el fotodetector no es más que una unión p-n de semiconductor polarizada en inversa que basa su funcionamiento en el fenómeno de absorción estimulada.

Existen dos tipos de fotodetectores para sistemas de comunicaciones ópticas, el primero de ellos, el fotodiodo PIN, se caracteriza por su alta fiabilidad y facilidad de fabricación, bajo ruido y compatibilidad con los amplificadores de bajo voltaje; mientras que el fotodiodo APD presenta una sensibilidad mucho menor, pero necesita altos voltajes de alimentación para su funcionamiento, los que les hace más convenientes en el caso de que la potencia recibida sea limitada.(Prieto Jaime 2014)

2.2.11. Sensores de fibra óptica

2.2.10.2. Características de sensores de fibra óptica.

Un sensor de fibra óptica es un dispositivo capaz de transformar la variación de uno o varios parámetros de interés en la modificación de una o más propiedades de la luz que se propaga por la fibra, la luz es detectada y procesada con el objeto de obtener el valor del parámetro mencionado, los dispositivos y componentes utilizados en el desarrollo de sensores de fibra óptica pueden ser activos o pasivos, en general, los primeros pueden generar o alterar las señales ópticas mediante métodos eléctricos y entre ellos encontramos amplificadores, moduladores, interruptores, etc. Desde un punto de vista genérico, los sensores de fibra óptica se pueden clasificar según la función de la fibra en intrínsecos y extrínsecos como se muestra en la Ilustración 2-9.

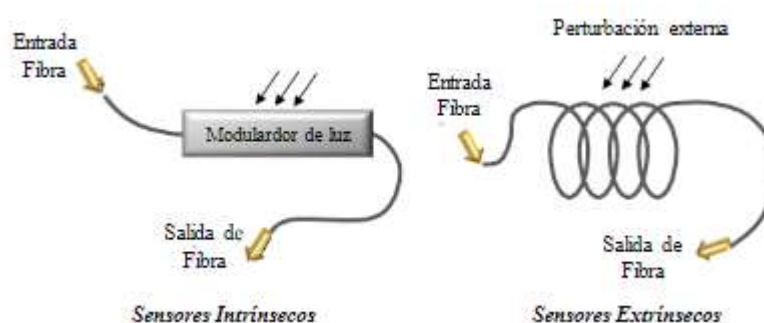


Ilustración 2-9: Sensores de fibra óptica.

Fuente:(Mesa 2018)

Los sensores intrínsecos de fibra óptica son aquellos en los que la propia fibra actúa como elemento transductor, es decir, es quién modifica o modula las características de la luz en forma proporcional a la perturbación o magnitud física a medir, en cambio, los sensores extrínsecos utilizan la fibra óptica sólo como medio para transmitir la información luminosa desde la fuente

de luz hasta el elemento transductor y desde éste hacia el sistema de detección y procesamiento.

2.2.12. Redes de Bragg

Las redes de Bragg en fibra comenzaron a desarrollarse en 1989 a partir del descubrimiento de la fotosensibilidad en fibras de sílice dopadas con germanio, que permitió generar una variación del índice de refracción del núcleo de la fibra cuando la misma era irradiada lateralmente con un patrón periódico de luz ultravioleta. Esto permitió diseñar distintos dispositivos con propiedades espectrales particulares, dependientes de si la variación en el núcleo de la fibra es periódica o no. Las redes de Bragg (FBG) tienen periodos de cientos de nanómetros y acoplan modos luminosos contra propagantes en el núcleo. Estas redes se consideran excelentes dispositivos para detectar deformación o tensión y temperatura. Las medidas de estos parámetros se traducen en cambios de longitud de onda, eliminando los problemas de fluctuación de amplitud o intensidad que existen en muchos tipos de sensores. (Mesa 2018)

2.2.13. Tipos de sensores de fibra óptica

En el lado final del usuario, o simplemente en la terminación de la fibra, se sitúa el receptor óptico, es capaz de hacer llegar la señal óptica al destinatario de la misma, y convertirla en señal eléctrica para su procesamiento, el dispositivo que permite esta conversión opto-eléctrica es el fotodiodo, es el componente fundamental del sistema de comunicaciones ópticas que menos ha evolucionado, básicamente, el fotodetector no es más que una unión p-n de semiconductor polarizada en inversa que basa su funcionamiento en el fenómeno de absorción estimulada.

Existen dos tipos de fotodetectores para sistemas de comunicaciones ópticas, el primero de ellos, el fotodiodo PIN, se caracteriza por su alta fiabilidad y facilidad de fabricación, bajo ruido y compatibilidad con los amplificadores de bajo voltaje; mientras que el fotodiodo APD presenta una sensibilidad mucho menor, pero necesita altos voltajes de alimentación para su funcionamiento, los que les hace más convenientes en el caso de que la potencia recibida sea limitada. (Prieto Jaime 2014)

2.2.13.1. Sensores modulados de amplitud

En esta categoría se puede incluir un tipo especial de sensores llamado de onda evanescente cuyo funcionamiento, a pesar de ser levemente diferente, también responde a la detección de cambios en la intensidad lumínica. Sensores modulados en amplitud o intensidad, la luz de una fuente óptica de intensidad constante es enviada a través del elemento a sensar, el cual altera la intensidad de la señal lumínica modulando su amplitud (atenuación que puede ser generada a través de la absorción o dispersión). Este tipo de sensores tiene la ventaja de no necesitar una fuente de luz coherente, ya que no se necesita determinar la variación de la fase sino de su amplitud o intensidad, pudiendo usarse por ejemplo un emisor LED. (Fidanboyu, Efendioglu, 2009)

2.2.13.2 Sensores modulados de fase

Los sensores de fase modulada utilizan cambios en la fase de la luz para detectar los cambios en

el parámetro a sensar. Se detecta entonces esta modulación de fase interferométricamente, mediante la comparación de la fase de la señal y la fase de una referencia. En un interferómetro la luz se divide en dos haces, uno de los cuales está expuesto al ambiente de sensado y el otro se aísla del mismo y se utiliza como referencia. Posteriormente los haces se recombinan e interfieren entre sí, dando lugar a una señal resultante de la cual se extrae la información del parámetro a medir. Los interferómetros de Mach-Zehnder, Michelson, Fabry-Perot y Sagnac son utilizados para implementar este tipo de sensores. Un ejemplo de aplicación puede mencionarse los sensores de deformación, el giróscopo para medir velocidad angular, desplazamientos entre otros. (Mesa 2018)

2.2.13.3 Sensores modulados en polarización

La dirección y evolución del campo eléctrico de la luz, determina su estado de polarización. El índice de refracción de una fibra cambia cuando se somete a estrés o tensión, generando una diferencia de fase inducida entre las diferentes direcciones de polarización. En otras palabras, bajo una perturbación externa como un estrés o tensión, la fibra óptica funciona como un retardador lineal. Esta propiedad se utiliza para medir esfuerzos sobre la fibra. (Gholamzadeh, Nabovati, 2008)

2.2.13.4 Sensores modulados espectralmente

Estos sensores basan su funcionamiento en la detección de cambios en la longitud de onda de la luz que se propaga por la fibra, como resultado de la variación del parámetro a sensar. Los sensores de fluorescencia, sensores de cuerpo negro y los basados en redes de Bragg son ejemplos de este tipo de dispositivos de longitud de onda modulada. (Mesa 2018)

2.2.13.5 Sensores Opico basados en procesos no lineales

En general, los sensores distribuidos basan su funcionamiento en efectos no lineales producidos en la fibra, entre ellos se encuentran: el efecto Raman, se produce debido a la interacción del bombeo con el material a través de la vibración de sus niveles energéticos, genera la dispersión de la luz en dos bandas espectrales a ambos lados de la frecuencia del haz de bombeo (componentes Stokes y anti-Stokes). Un sensor Raman tiene la gran ventaja de que es altamente sensible a la temperatura, cuando una fibra cambia de temperatura, excita los modos vibracionales dentro de su propia estructura por lo que puede usarse para medir este parámetro.

El Sensor Brillouin, cuenta con una fuente láser que genera pulsos de luz de alta coherencia (ancho de banda reducido) que cuando se propagan en una fibra óptica generan luz retro dispersada con componentes Stokes (longitud de onda más larga) y anti-Stokes (longitud de onda más cortas), al igual que en un sensor Raman, estos sensores son muy utilizados por ejemplo para realizar mediciones de deformación (strain) y temperatura en tuberías de gas o petróleo.

Sensor por Scattering Rayleigh, utiliza este efecto no lineal que genera la dispersión de la luz que se propaga por la fibra, se emplea para la medición de distancias con instrumentos como el OTDR (reflectómetro óptico en el dominio temporal), los cuales permiten determinar la posición de un corte en la fibra en un enlace de comunicaciones. (Rodríguez, 2009)

2.2.14. Aplicación de sensores de fibra óptica

El rápido crecimiento de la industria de las telecomunicaciones ha estimulado el desarrollo y constantes mejoras en la tecnología de las fibras ópticas. Esta tendencia ha hecho que los sensores de fibra óptica (SFO) se vuelvan más competitivos frente a los sensores tradicionales. El ámbito de los SFO se ha visto beneficiado de este crecimiento, haciéndolos más accesibles en diversos sectores productivos. Un aspecto relevante, que ha permitido la diversificación de las aplicaciones de los SFO, es su posibilidad de operar en ambientes hostiles. Además, son muy atractivos para aplicaciones donde el sensor requiere ser embebido en el material, puesto que no perturban significativamente las características o propiedades del mismo. Asimismo, el grado de alta performance alcanzado por dispositivos tales como fuentes de luz, fotodetectores y demás componentes fotónicos, ha permitido el desarrollo de una nueva generación de sensores que ofrece muchas e importantes oportunidades de medición y una gran variedad de aplicaciones. (Thompson, 2002)

2.2.14.1. Aplicación en la ingeniería civil

En los últimos años ha aumentado la demanda en la instalación de sensores para monitorear el estado de estructuras civiles tales como edificios, carreteras y puentes en el seguimiento de grietas, midiendo su longitud y velocidad de propagación, en el seguimiento de la deformación a largo plazo, o en la evaluación del daño post-sísmico, entre otros.

Las represas o diques son probablemente las mayores estructuras en ingeniería civil, por lo tanto, es vital controlar sus propiedades mecánicas durante y después de la construcción con el fin de garantizar la calidad de la misma, su longevidad y por cuestiones de seguridad, los sensores de fibra óptica distribuidos y las redes de Bragg son particularmente atractivos ya que tienen decenas de kilómetros de rango de medición con una resolución espacial de metros en el primer caso y centímetros en el segundo. (HBM, 2010)

2.2.14.2. Aplicación en la industria de la energía eléctrica

Los SFO fueron aplicados por primera vez en el año 1977 en la industria de la energía eléctrica, después de más de dos décadas de desarrollo, los sensores de corriente de fibra óptica entraron en el mercado, estos sensores basados en el efecto Faraday han encontrado importantes aplicaciones en la medición y detección de fallas, al igual que otras implementaciones de SFO, las redes de Braggson ideales para su uso en esta área debido a su inmunidad a las interferencias electromagnéticas, una de tantas aplicaciones es la medición de la temperatura de bobinados, para detectar los equipos defectuosos de alta potencia (generadores y transformadores) es necesaria una monitorización continua en la temperatura del devanado, lo que refleja el rendimiento de la refrigeración del sistema. (Thompson, 2002)

2.2.14.3. Aplicación en la industria del petróleo y gas

Los SFO son ideales para aplicaciones en la industria del petróleo y del gas debido a sus ventajas inherentes, tales como ser intrínsecamente seguros, mínimamente invasivos, inmunes a la emisión electromagnética, operables a gran temperatura y con capacidad de multiplexación. El monitoreo de Tuberías es una aplicación ideal que realizan los SFO, los sensores FBG se pueden utilizar con el fin de supervisar la temperatura en el tubo o la presión sobre las uniones, debido a que el índice de refracción de estas fibras es sensible a ambos parámetros. Además, pueden monitorear toda la longitud del tubo con una única fibra mediante el uso de métodos de multiplexación.

2.2.14.4. Aplicación en la industria aeroespacial

Los SFO se utilizan habitualmente para el monitoreo de estructuras fabricadas para vehículos tales como aviones, satélites, etc. Comparando con los materiales metálicos, los materiales compuestos avanzados, pueden tener mayor resistencia a la fatiga, menor peso y ninguna corrosión. Por lo tanto, el uso de sensores de redes de Bragg embebidos en los materiales compuestos al momento de su elaboración puede conducir a una reducción en el peso de las estructuras, de los intervalos de inspección y del costo de mantenimiento de las aeronaves, en consecuencia, a una mejora en el rendimiento. Debido a que los sensores FBG son sensibles tanto a la deformación como a la temperatura, son ideales para medir estos parámetros de manera simultánea, en el Monitoreo de vehículos lanzadores (cohetes), se los emplea para obtener el perfil de despegue, momento en el cual se establecen las excitaciones mecánicas más violentas (vibraciones y shocks), para lo cual se utilizan sensores como los acelerómetros y giróscopos de fibra óptica. (Mesa 2018)

2.2.15 Herramientas de simulación

2.2.15.1. Comsol Multiphysics

Los ingenieros y científicos utilizan el software COMSOL Multiphysics para simular diseños, dispositivos y procesos en todos los campos de la ingeniería, la fabricación y la investigación científica. COMSOL Multiphysics es una plataforma de simulación que proporciona capacidades de modelado de física simple y multifísica completamente acopladas. El modelo incluye todos los pasos del flujo de trabajo de modelado, desde la definición de geometrías, propiedades de materiales y la física que describe fenómenos específicos hasta la resolución y pos-procesamiento de modelos para producir resultados precisos. (COMSOL Multiphysics, 2022)

2.2.15.2. Fimmwave

Fimmwave es un simulador robusto y completamente vectorial para estructuras de guías de ondas 3D, que pueden ser de cualquier geometría ya sean de GaAs, AlGaAs y LiNbO₃, así como fibras de un solo núcleo y multinúcleo, contiene una variedad de solucionadores robustos

y computacionalmente eficientes dedicados a fibras circulares garantizando la confiabilidad de las simulaciones y las cuales se pueden implementar en prototipos.

Fimmwave contiene una variedad de solucionadores robustos y computacionalmente eficientes optimizados para tales estructuras. FIMMWAVE combina:

- métodos basados en técnicas semianalíticas, que permiten abordar de manera eficiente problemas con fuertes variaciones en el índice de refracción, capas delgadas, etc.
- métodos numéricos como elementos finitos (FEM) o diferencias finitas (FDM), proporcionando soluciones robustas a problemas arbitrarios.

Se ha puesto mucho trabajo original en este producto para hacer que estos solucionadores sean extremadamente confiables. FIMMWAVE también puede usar versiones aproximadas de estos métodos, ideales para la creación rápida de prototipos. Esto permite que Fimmwave ofrezca suficiente flexibilidad para resolver con precisión una variedad muy amplia de guías de onda. (FIMMWAVE, 2023)

2.2.15.3. *Ansys HFSS*

Ansys HFSS es un software de simulación electromagnética (EM) 3D para diseñar y simular productos electrónicos de alta frecuencia como antenas, conjuntos de antenas, componentes de RF o microondas, interconexiones de alta velocidad, filtros, conectores, paquetes de circuitos integrados y placas de circuito impreso. Ingenieros de todo el mundo utilizan el software Ansys HFSS para diseñar componentes electrónicos de alta frecuencia y velocidad que se encuentran en sistemas de comunicaciones, sistemas avanzados de asistencia al conductor (ADAS), satélites y productos de Internet de las cosas. (Ansys HFSS, 2022)

CAPÍTULO III

3.MARCO METODOLÓGICO

3.1. Introducción

Este capítulo detalla el desarrollo y el proceso sobre el estudio de la presión ejercida sobre la fibra, mediante simulaciones por medio del software fimmwave, también se realizó recolección de información en cuanto a la potencia de la fibra frente a la presión mecánica por medio de un dispositivo que ejerce presión paulatinamente mediante el incremento de peso.

3.2. Desarrollo de la simulación

3.2.1. Fimmwave

Fimmwave es un simulador robusto y completamente vectorial para estructuras de guías de ondas 3D, que pueden ser de cualquier geometría ya sean de GaAs, AlGaAs y LiNbO₃, así como fibras de un solo núcleo y multinúcleo, contiene una variedad de solucionadores robustos y computacionalmente eficientes dedicados a fibras circulares garantizando la confiabilidad de las simulaciones y las cuales se pueden implementar en prototipos.

3.2.2. Simulación

Para la simulación se definió varios parámetros los que se representa en la tabla 3-1.

Tabla 3-1: Parámetros de simulación.

Variables	Descripción
dR0	Diámetro de la fibra óptica
dR1	Variable de presión de la fibra óptica
dC0	Revestimiento de la fibra óptica
dC1	Variable de presión del revestimiento
FE	Presión a someter la fibra
L	longitud en donde se realiza la presión
Landa	Ventana de trabajo

Fuente: Silva I, 2023

Los parámetros variables para la simulación fueron el diámetro de la fibra (dR0) y el parámetro de presión (FE), el dR0 en la simulación varían desde 8 a 10 μm de acuerdo al tipo de fibra que se tiene en monomodo, el dC0 que es el revestimiento de la fibra óptica es constante en todos los casos a igual que la longitud de onda con un valor de 125 μm y un valor de 1550 nm respectivamente, la longitud en donde se aplicó la presión (L) es una distancia constante y en un punto específico que es aproximadamente 10 mm, en la mitad de la fibra óptica que es de 3m, los parámetros que varían paulatinamente tanto en la fibra óptica (dR1) como en el revestimiento (dC1) es mediante la ecuación 3-1 y la ecuación 3-2 respectivamente, la cual depende de los parámetros dR0 y dC0 y el parámetro de presión (FE), el parámetro FE varia en un rango de 1 hasta 0.01 permitiendo que tanto la fibra como el revestimiento tengan una reducción de su

diámetro como se visualiza la Ilustración 3-1.

$$dR1 = dR0 * \exp (\ln(FE) * Z) \quad 3-1$$

$$dC1 = dC0 * \exp (\ln(FE) * Z) \quad 3-2$$

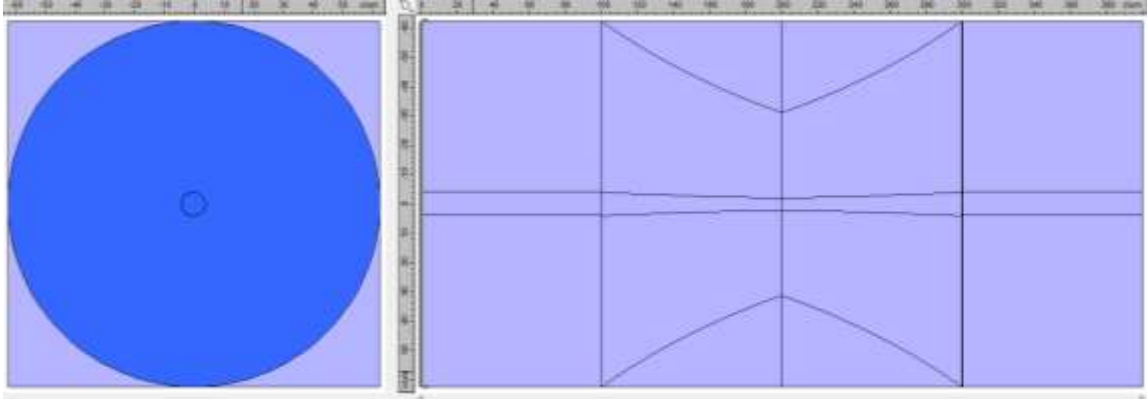


Ilustración 3-1: Simulación fibra óptica.

Fuente: (Silva, 2023)

En la Ilustración 3-2 se puede visualizar una gama de colores los cuales representa la transmisión de la luz por medio de la fibra óptica, el color amarillo indica que la transmisión es normal a lo largo de la fibra, el color rojo significa que hay una perturbación en el trayecto de la fibra óptica y si se tiene un color celeste se puede decir que no hay transmisión de la luz por ese medio.

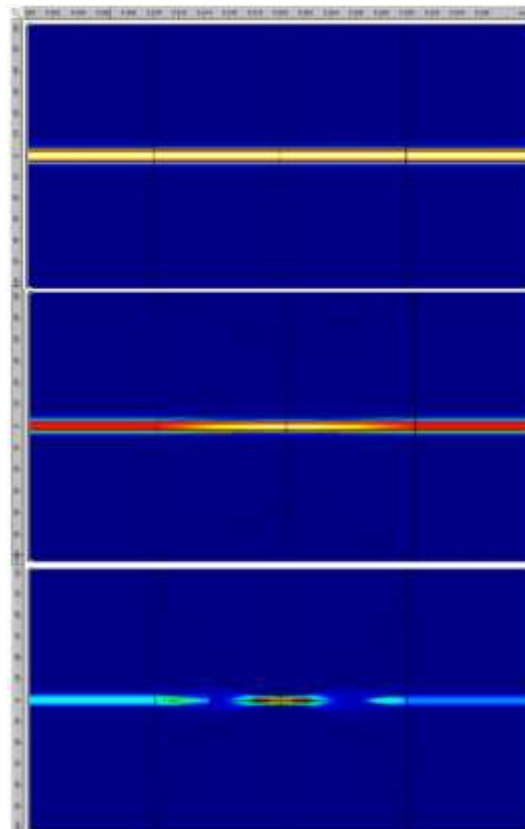


Ilustración 3-2: Gama de colores en la fibra óptica.

Fuente: (Silva, 2023)

Para la simulación se experimentó con tres escenarios variando el grosor de la fibra en el core de 8, 9 y 10 μm mediante la reducción, para representar una presión en la fibra se realizó una reducción tanto en el revestimiento como en el core, la reducción se realizó mediante el parámetro FE que va desde 1 hasta 0.01 con decrementos de 0.2 hasta 0.1 y después de eso los decrementos que se realizaron es de 0.02 hasta 0.01 en el cual ya no se visualizó paso de la luz por la fibra.

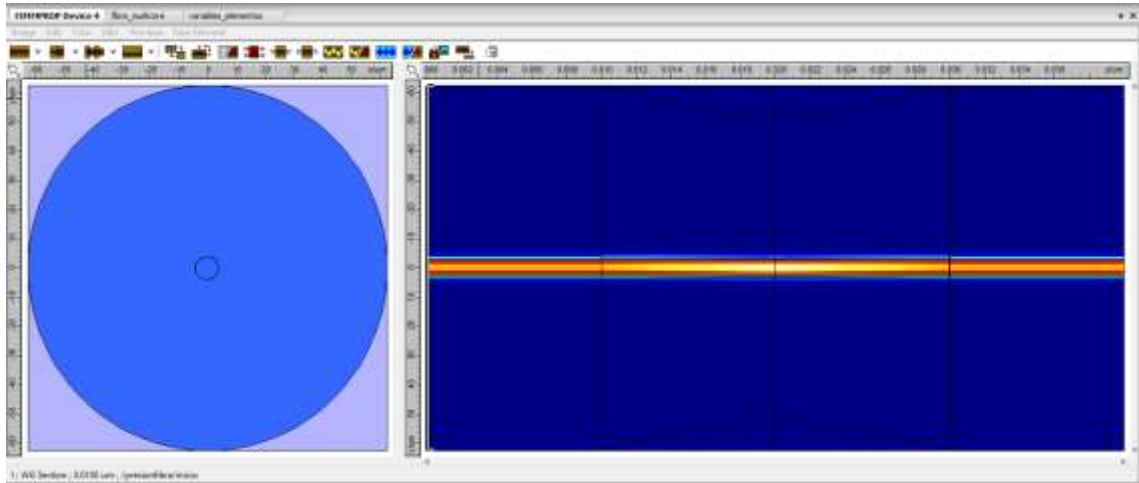


Ilustración 3-3: Simulación con un FE 0.8 8/125.

Fuente: (Silva, 2023)

En la Ilustración 3-3 se muestra una variación del grosor de la fibra con un FE de 0.8 un dR0 de 8 y un dC0 de 125 μm y se puede visualizar el color amarillo dentro de la fibra que indica que aún hay paso de la luz en el medio lo cual nos indica que existe transmisión por el cable de la fibra óptica, en la Ilustración 3-4 se muestra la potencia de dicha simulación que se encuentra a lo largo de la fibra, a una distancia de 0.02mm se tiene una anomalía que se pierde la señal con una reducción de potencia de 0.0997 cabe recalcar que estas unidades están normalizadas en el simulador de la fibra óptica y a lo largo de la fibra se mantiene con una potencia adecuada.

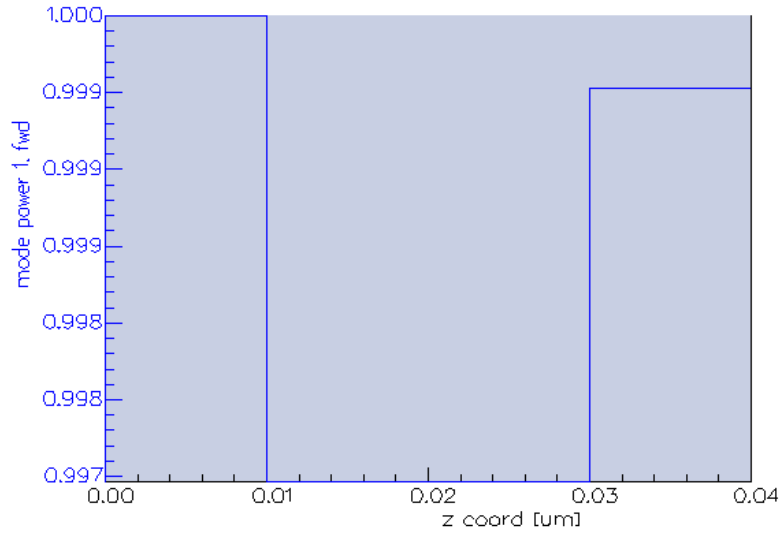


Ilustración 3-4: Potencia con un FE 0.8, 8/125.

Fuente: (Silva, 2023)

En la Ilustración 3-5 con los mismos parámetros anteriores tanto en dR0 y dC0 se muestra una simulación con un FE de 0.01 este valor es la máxima reducción de presión que se simuló el cual muestra una vista de color azul dentro de la fibra que indica que no hay paso de la luz en el medio donde se aplicó la presión, en la Ilustración 3-6 se muestra la potencia de dicha simulación que se encuentra a lo largo de la fibra, en una longitud de 0.008 mm se tiene una anomalía perdiendo la potencia de la señal y no permitiendo el paso de luz.

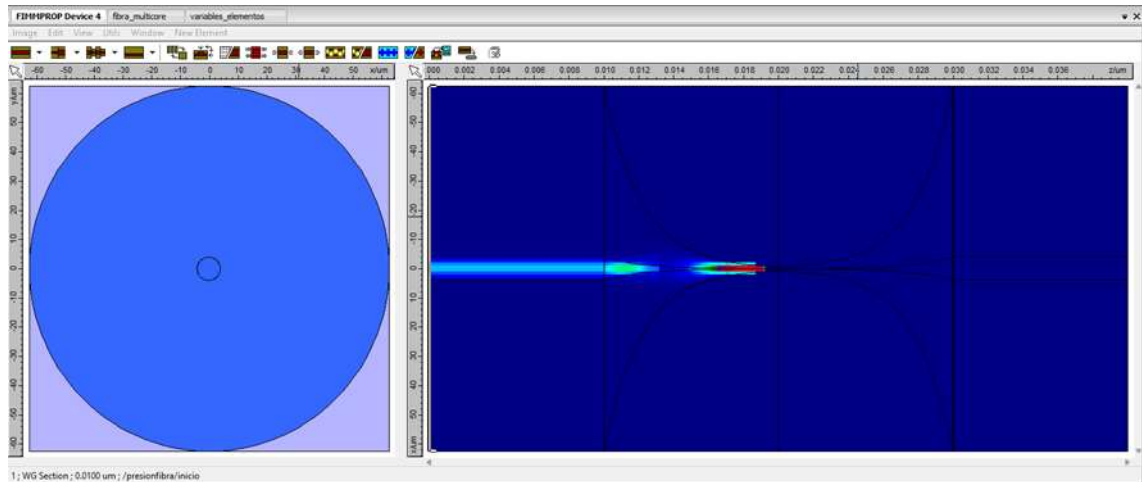


Ilustración 3-5: Simulación con un FE 0.01, 8/125.

Fuente: (Silva, 2023)

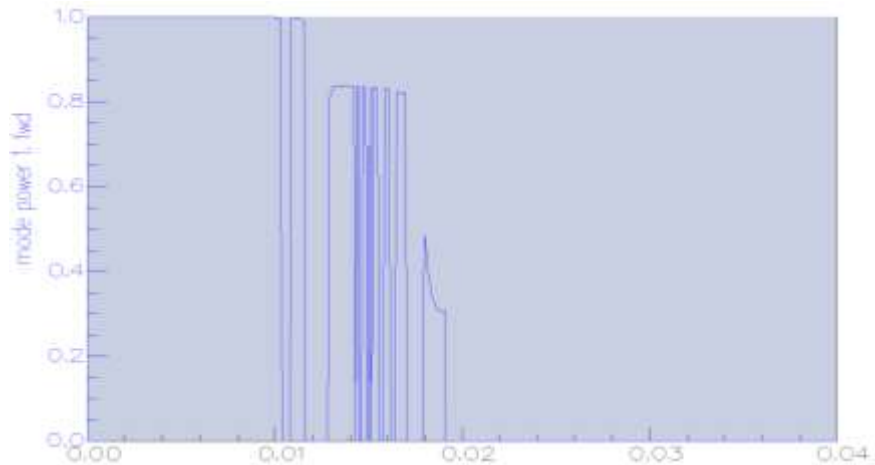


Ilustración 3-6: Simulación con un FE 0.01, 8/125.

Fuente: (Silva, 2023)

En simulaciones posteriores que se realizó con los valores del core y recubrimiento 9/125 y 10/125 respectivamente se obtuvieron los mismos resultados al aplicar presión paulatinamente de 1 hasta 0.001 como se indicó anteriormente.

3.3. Desarrollo experimental

En esta parte se realizó la toma de mediciones de potencia de forma física por medio de un dispositivo que ejerce presión mecánica en un punto de la fibra óptica, este dispositivo permitió realizar pruebas a diferentes presiones, en la Ilustración 3-7 se muestra el funcionamiento del dispositivo, en la parte central de forma horizontal se coloca la fibra la cual se sometió a presión de forma progresiva, en la parte superior se encuentra una mesa para poder colocar peso, también se tiene en la parte central una terminación cóncava que sirve para el contacto con la fibra óptica.



Ilustración 3-7: Dispositivo para ejercer presión mediante peso.

Fuente: (Silva, 2023)

Se realizó unas modificaciones al dispositivo que ejerce presión las cuales ayudo en la toma de mediciones de potencia en la fibra óptica, en la parte central cóncava se cubrió con una platina de 2 cm de ancho y 25 cm de largo a igual que en la parte recta donde reposa la fibra óptica, para que la fibra óptica no se incruste en la madera del dispositivo como se visualiza en la ilustración 3-8, para reducir la longitud de contacto de la parte cóncava con la fibra óptica se realizó poner en el intermedio un trozo de varilla hexagonal como se observa en la figura 3-9.



Ilustración 3-8: Implementación de Platina en la parte cóncava y en la base.

Fuente: (Silva, 2023)



Ilustración 3-9: Reducción de contacto con la fibra por medio de trozo de varilla hexagonal.

Fuente: (Silva, 2023)

3.3.1. Materiales

3.3.1.1. OTDR

Es un instrumento de fibra óptica que sirve para el mantenimiento de redes de telecomunicaciones con fibra óptica, con el OTDR se realiza pruebas mediante la transmisión y el análisis de luz láser en forma de pulsos que recorre la fibra óptica, es decir, se comporta como un radar óptico proporcionando información detallada sobre la ubicación y el estado general de los empalmes, las conexiones, los defectos y otras cuestiones de interés.

3.3.1.2. Optical Power Meter (OPM)

Es un instrumento electrónico que sirve para realizar pruebas, instalación, depuración y

mantenimiento en las redes de fibra óptica, permite medir la salida de la potencia de un equipo de fibra óptica, así como la pérdida de una señal óptica que se transmite a través de un cable, las unidades de medición en el medidor de potencia óptica es el dbm o db, permite medir en diferentes longitudes de onda que son desde los 850 nm hasta los 1550 nm.

3.3.1.3. Optical Laser Source (OLS)

Es un instrumento electrónico que emite una fuente de luz led y laser, contiene 2 puertos diseñados para realizar mediciones de pérdidas en la fibra óptica ya sea multimodo o monomodo, las salidas led y laser pueden ser configuradas para diferentes longitudes de onda 850, 1300, 1310 y 1550 nm.

3.3.1.4. Pesas

Son piezas de metal que tienen un peso conocido que se usa para determinar lo que pesa un objeto, con lo que se equilibra una balanza.

3.3.1.5. Patch core

Es una porción de fibra óptica que contiene en sus extremos conectores los cuales permite la conexión directa de dos equipos activos, conectar un equipo activo a una caja pasiva o interconectar dos cajas pasivas conformando en un sistema administrable de cableado, su longitud es desde los 1.5 hasta los 5 metros y son de usos monomodo.

3.3.2. Recolección de medidas.

Para la toma de medidas primero se configuró los equipos, el primer equipo que se configuró es el OLS para que emita una señal a los 1550 nm con señal continua ya que este instrumento tiene dos formas de emitir el haz de luz forma continua y de tonos, la diferencia entre las dos formas es la potencia que emite, la mayor potencia es con la configuración continua como se visualiza en la ilustración 3-10 a, luego se realizó la configuración en el OPM con la misma longitud para poder receptar la señal y tener el valor de la potencia emitida en condiciones normales ilustración 3-10 b, cabe recalcar que para la toma de mediciones se procedió en realizar una espera de tiempo de al menos 5 minutos para que los equipos de medición se mantengan constantes conectados entre sí por medio de la fibra óptica en la cual se estaba trabajando.



(a)

(b)

Ilustración 3-10: Configuración de equipos OLS Y OPM.

Fuente: (Silva, 2023)

En la ilustración 3-11 se visualiza la instalación del patch core en el dispositivo de presión el cual permitió realizar las pruebas a diferentes presiones, donde en un extremo se emitió luz por medio de OLS que sería el transmisor y en el otro el receptor con el equipo OPM, las presiones que fueron ejercidas en la fibra se realizaron por medio de pesas las cuales son colocadas en la mesa de la máquina de presión como se observa en la ilustración 3-12, el incremento de la presión por medio de peso se desarrolló desde 3 kg hasta 34 kg como se indica en la tabla 3-2.



Ilustración 3-11: Instalación de la fibra óptica.

Fuente: (Silva, 2023)



Ilustración 3-12: Incremento de peso en la mesa.

Fuente: (Silva, 2023)

Tabla 3-2: Discos de pesas disponibles

Números de discos.	Valor de pesas en Kg.	Valor total en kg
Esquema central del dispositivo	3	3
4	0.5	2
7	1	7
8	1.25	10
8	1.5	12
	Total, de peso	34

Fuente: Silva, 2023

Para el incremento del peso al inicio se realizó primero con un peso de 3 kg ya que el esquema central del dispositivo de presión pesa esa cantidad, posteriormente se realizó el incremento de peso con rangos iguales por medio de discos de 1 kg hasta los 10 kg, luego se realizó el incremento de peso mediante discos de 1.25 hasta los 20 kg, continuando con la toma de datos de potencia se realizó el aumento de peso con discos de 1.5 kg hasta los 32 kg y finalmente se aumentó de peso de 1 kg con discos de 0.5kg hasta los 34kg.

Dichas pruebas se realizaron con tres tipos de fibras ópticas con las mismas características, en la ilustración 3-13 se visualiza el valor de la potencia que se obtuvo en la fibra 1 en condiciones normales la cual es 638.2 μW este valor es el punto de referencia para el análisis de la presión ejercida en dicha fibra, cuando se sometió con el peso máximo de los 34 kg el valor de la potencia que se obtuvo es de 269.7 μW , después de 3 minutos que se mantuvo el mismo peso se llegó a estabilizar con una potencia de 236.0 μW , de igual manera se obtuvo los datos de regeneración al quitar el peso paulatinamente y se obtuvo una potencia de 640.1 μW en condiciones normales.



Ilustración 3-13: Valor de potencia en condiciones normales de la fibra 1.

Fuente: (Silva, 2023)

En la ilustración 3-14 se visualiza el valor de la potencia que se obtuvo en la fibra 2 en condiciones normales la cual es $557.1 \mu\text{W}$ este valor es el punto de referencia para el análisis de la presión ejercida en dicha fibra, cuando se sometió con el peso máximo de los 34 kg el valor de la potencia que se obtuvo es de $358.0 \mu\text{W}$, después de 3 minutos que se mantuvo el mismo peso se llegó a estabilizar con una potencia de $244.3 \mu\text{W}$, de igual manera se obtuvo los datos de regeneración al quitar el peso paulatinamente y se obtuvo una potencia de $567.5 \mu\text{W}$ en condiciones normales.



Ilustración 3-14: Valor de potencia en condiciones normales de la fibra 2.

Fuente: (Silva, 2023)

En la ilustración 3-15 se visualiza el valor de la potencia que se obtuvo en la fibra 3 en condiciones normales la cual es $595.6 \mu\text{W}$ este valor es el punto de referencia para el análisis de la presión ejercida en dicha fibra, cuando se sometió con el peso máximo de los 34 kg el valor de la potencia que se obtuvo es de $386.3 \mu\text{W}$, después de 3 minutos que se mantuvo el mismo peso se llegó a

estabilizar con una potencia de $404.5 \mu\text{W}$, de igual manera se obtuvo los datos de regeneración al quitar el peso paulatinamente y se obtuvo una potencia de $602.5 \mu\text{W}$ en condiciones normales.



Ilustración 3-15: Valor de potencia en condiciones normales de la fibra 3.

Fuente: (Silva, 2023)

En la ilustración 3-16 se muestra los valores de potencia que se logró obtener de forma experimental con respecto al sometimiento y reducción de peso en la fibra 1, la curvatura azul muestra la disminución de potencia cuando se aumenta paulatinamente el peso, mientras la curvatura roja es la potencia que se tiene cuando se retira paulatinamente el peso, con estos resultados se realiza un análisis de potencia inicial y potencia final lo cual se evidencia en el siguiente capítulo, también permitió realizar el análisis de restauración de la fibra con respecto al peso ejercido sobre ella.

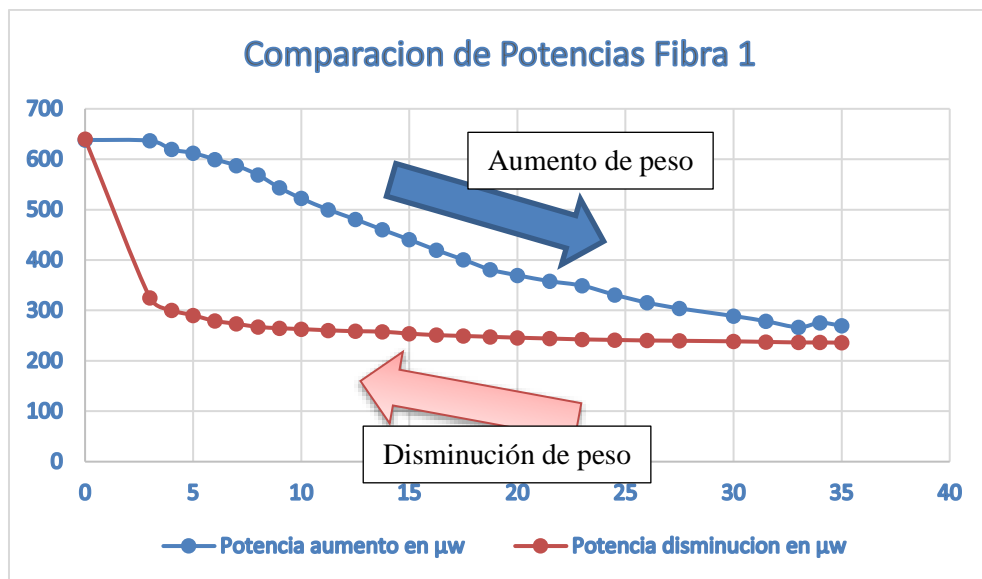


Ilustración 3-16: Curvatura de potencias fibra 1.

Fuente: (Silva, 2023)

El mismo procedimiento se realizó tanto en la fibra 2 como en la fibra 3 para obtener la potencia al sometimiento de presión como su restauración evidenciando las curvas que se observa en la ilustración 3-17 y 3-18 respectivamente, a igual como se mencionó anteriormente estas curvaturas permiten realizar su respectivo análisis tanto en la pérdida de potencia como en la capacidad de restauración de la fibra óptica.

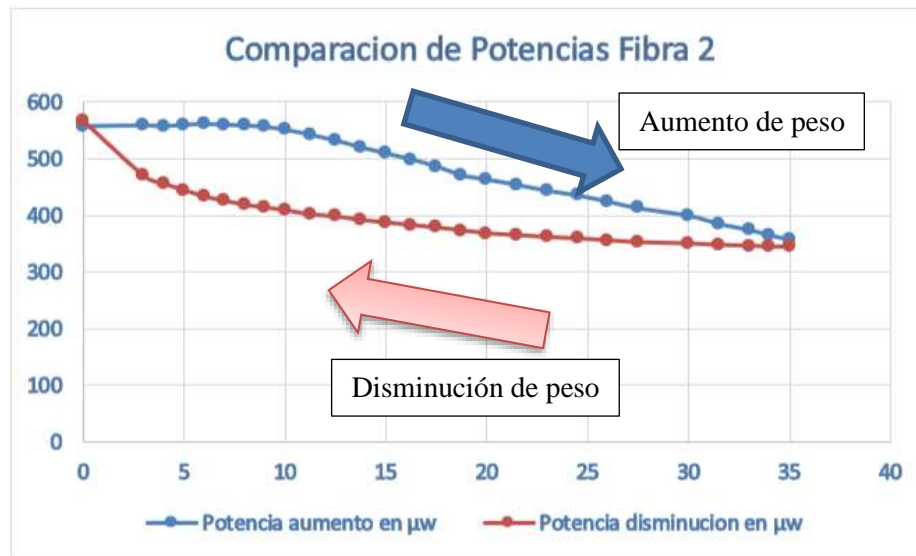


Ilustración 3-17: Curvatura de potencias fibra 2

Fuente: (Silva, 2023)

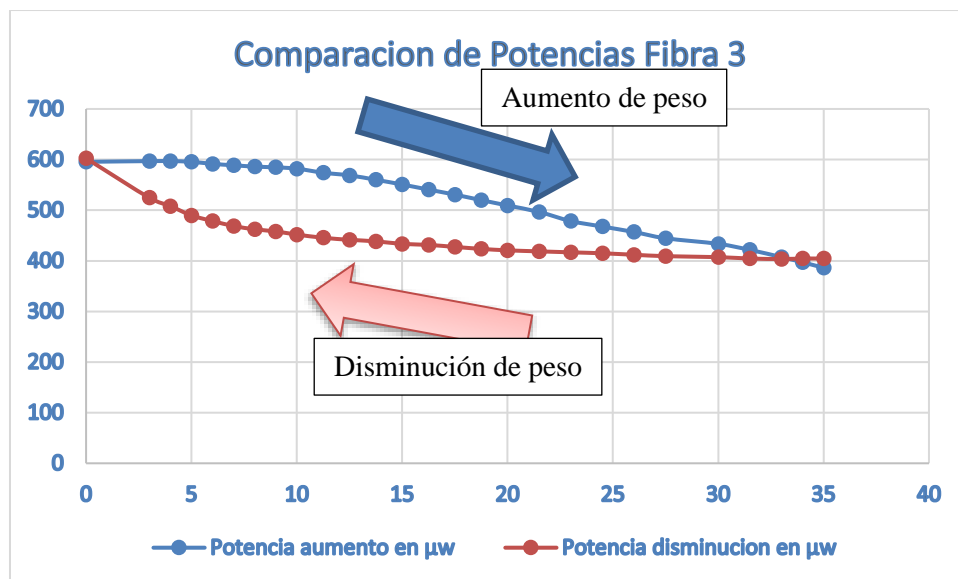


Ilustración 3-18: Curvatura de potencias fibra 3

Fuente: (Silva, 2023)

Las flechas azules que se encuentran en las ilustraciones anteriores representan la dirección de potencia cuando se aumenta el peso mientras que las flechas rojas representan la potencia cuando el peso es retirado.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presenta los resultados de mediciones de potencia que se realizó en el capítulo anterior, primero se analizaron las mediciones obtenidas por el software Fimmwave las cuales permitieron realizar un análisis de la potencia transmitida con la potencia recibida, en otro punto se realiza el análisis de las mediciones de la potencia que se logró obtener experimentalmente con equipos de emisión y recepción de luz óptica en medio de tres fibras ópticas, las cuales proporciona una análisis de la potencia recibida y la potencia transmitida, también se logró tener una caracterización de la regeneración de la fibra frente al sometimiento de presión en cada una de las fibras ópticas, en cuanto a la parte estadística se realizó el análisis por medio del software IBM SPSS.

4.1. Resultados de potencia de fibras ópticas

4.1.1. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizó mediante la prueba ANOVA o análisis de varianza sobre los resultados de potencia que se obtuvieron en la parte experimental, este análisis ayuda a realizar comparaciones entre dos o más productos que se encuentran en estudio, por medio del software IBM SPSS se procedió a realizar el análisis de los datos de potencia, si los datos de potencia cuentan con una distribución normal se procede a realizar un análisis paramétrico, para lo cual el valor de significancia debe ser mayor al valor estadístico, en la tabla 4-1 se muestra los valores de significancia que se obtuvieron en el software.

Tabla 4-1: Prueba de normalidad

Pruebas de normalidad							
Tipo de fibra		Kolmogórov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	Gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Potencia de la fibra con peso en micro watts	fibra1	,114	27	,200*	,914	27	,028
	fibra2	,161	27	,071	,881	27	,005
	fibra3	,157	27	,085	,882	27	,005

Fuente: Silva I., 2023

La tabla 4-1 representa dos métodos que son Kolmogórov-Smirnov y Shapiro-Wilk, en la columna del valor de significancia se visualiza el mayor número con respecto al valor estadístico en el método de Kolmogórov-Smirnov lo cual significa que tiene una distribución uniforme.

Tabla 4-2: Prueba de Homogeneidad de varianzas

Potencia de la fibra con peso en micro watts			
Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
12,420	2	78	,000

Fuente: Silva I., 2023

Continuando con el análisis se verifica si existe homogeneidad de varianzas mediante la prueba de homogeneidad de varianzas, el cual muestra que el valor de significancia con respecto al estadístico es menor como se visualiza la tabla 4-2, es decir, no se puede ocupar dicha prueba ya que el valor debe ser mayor al valor estadístico.

Tabla 4-3: Prueba ANOVA

Potencia de la fibra con peso en micro watts					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter grupos	93950,040	2	46975,020	5,282	,007
Intra grupos	693641,055	78	8892,834		
Total	787591,095	80			

Fuente: Silva I., 2023

La prueba ANOVA menciona que se debe tener un valor menor en el parámetro significativo con respecto al valor estadístico, en la tabla 4-3 se visualiza el valor de significancia de 0.007, esto quiere decir que el valor de significancia con respecto al valor estadístico que es de 0.05 es menor lo cual permite realizar el análisis de comparación de las fibras frente a la aplicación de peso.

Tabla 4-4: Comparación múltiples de fibra

Comparaciones múltiples							
	(I) Tipo de fibra	(J) Tipo de fibra	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
						Límite inferior	Límite superior
Games-Howell	fibra1	fibra2	-47,31111	28,29657	0,228	-116,1658	21,5436
		fibra3	-83,15926*	28,35434	0,015	-152,1409	-14,1776
	fibra2	fibra1	47,31111	28,29657	0,228	-21,5436	116,1658
		fibra3	-35,84815	19,27489	0,161	-82,3508	10,6545
	fibra3	fibra1	83,15926*	28,35434	0,015	14,1776	152,1409
		fibra2	35,84815	19,27489	0,161	-10,6545	82,3508
La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.							

Fuente: Silva I., 2023

La tabla 4-4 se tiene una comparación con respecto a los tres tipos de fibra que se utilizó para dicho estudio, por el método de Games-Howell menciona que al comparar el valor significativo con el valor estadístico se puede inferir que son diferentes o iguales, para que un par de fibras ópticas sean iguales se requiere que el valor significativo sea mayor al valor estadístico, en la tabla 4-4 hace la comparación de la primera fibra con las otras fibras dando como resultado que la fibra1 y la fibra 3 no son iguales, la fibra 2 con respecto a la fibra 1 y fibra 3 menciona que son iguales.

4.1.2. Caracterización de las curvas

4.1.2.1. Extrapolación polinómica

Para poder caracterizar las curvas de potencia se pueden expresar mediante expresiones matemáticas que se realizó por medio de extrapolación polinómica la cual permite predecir valores que no se encuentran en la curva en discusión.

Para el caso de la fibra 1 se realizó el respectivo análisis matemático por medio del software Excel el cual arrojó los resultados que la curva que se adapta para representarla es una ecuación de grado 4, cabe recalcar que la gráfica se obtuvo a partir de los datos obtenidos anteriormente lo cual se puede extrapolar hasta que la potencia llegue al valor mínimo de cero, en la ilustración 4-1 se visualiza la tendencia de la gráfica con su respectiva expresión matemática, la curva continua de color rojo es la tendencia que se prolonga de la línea azul.

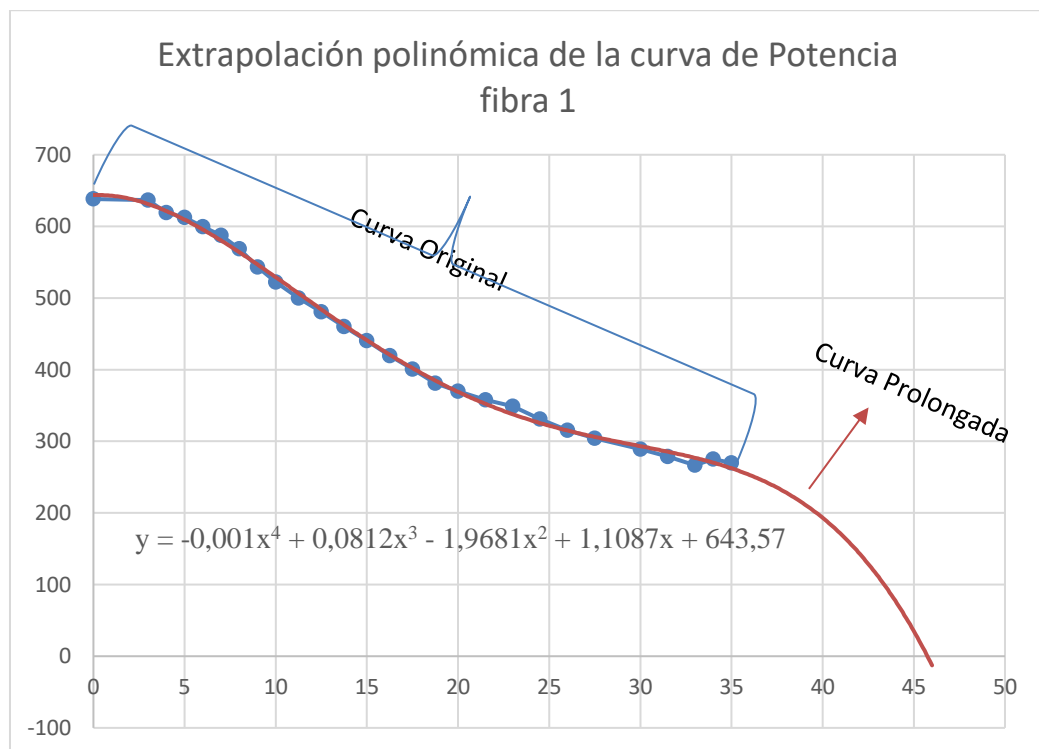


Ilustración 4-1: Extrapolación polinómica de la curva de Potencia fibra 1

Fuente: (Silva, 2023)

Para encontrar una expresión matemática a la curva de potencia en la fibra 2 se realizó el mismo procedimiento que en la fibra 1, por medio del software Excel, el resultado que se obtuvo es una función de grado cuatro la cual nos expresa la tendencia de la curvatura de dicha fibra, en la ilustración 4-2 se visualiza la curva original con respecto a la curva prolongada y la expresión

matemática, la línea azul es la curva original que se obtuvo anteriormente, mientras que la curva roja es la prolongación que se obtuvo mediante extrapolación, cabe recalcar que para la curva prolongada se analizó solo hasta el valor de cero.

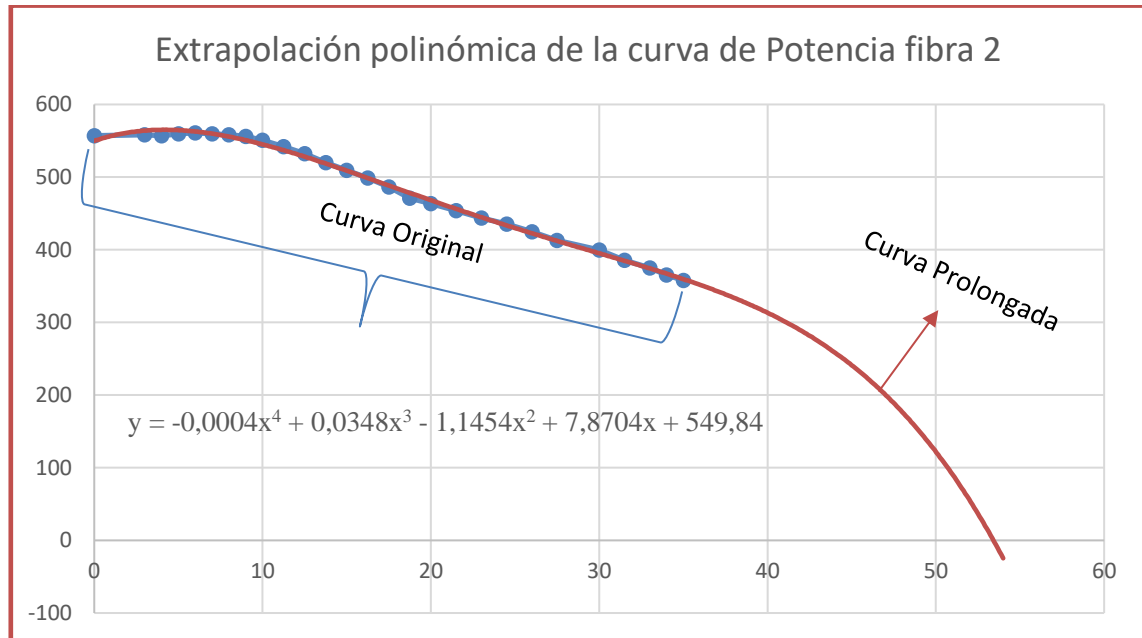


Ilustración 4-2: Extrapolación polinómica de la curva de Potencia fibra 2

Fuente: (Silva, 2023)

Para la fibra 3 se realizó el mismo procedimiento para encontrar una expresión matemática que describa la curvatura de la potencia frente al sometimiento de peso, mediante el software Excel se realizó extrapolación de dicha curva obteniendo como resultado una expresión matemática de grado dos como podemos observar en la ilustración 4-3, la curva de color azul representa la potencia que se obtuvo de forma experimental, es decir la curva original, mientras que la curva roja es la tendencia que se tiene de dicha curva, como se mencionó anteriormente el análisis de potencia se realiza con lo mínimo es decir, cuando la potencia es cero.

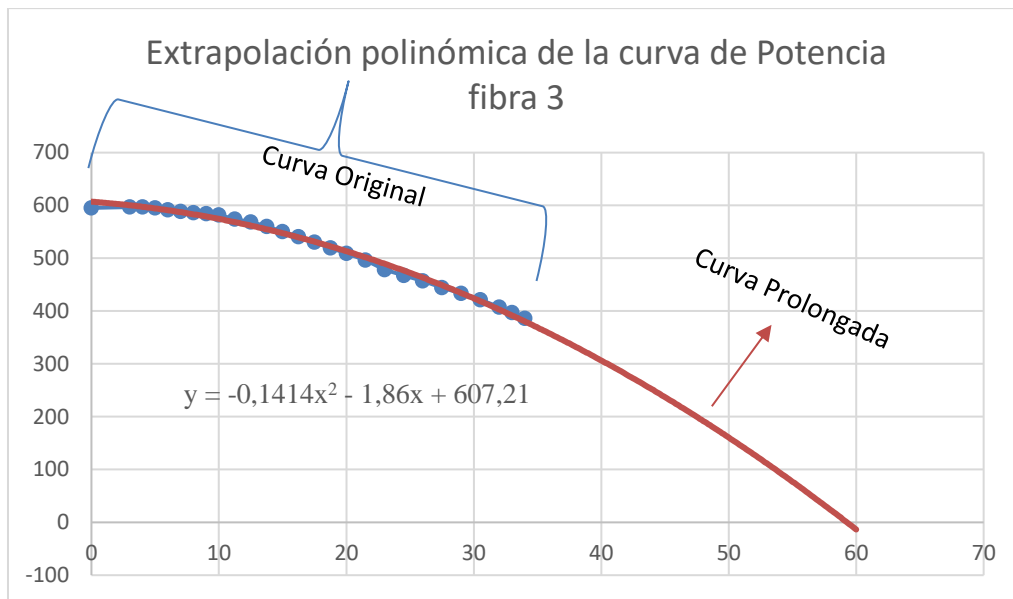


Ilustración 4-3: Extrapolación polinómica de la curva de Potencia fibra 3

Fuente: (Silva, 2023)

4.1.2.2. Extrapolación lineal

Para poder caracterizar las curvas de potencia se pueden expresar mediante expresiones matemáticas que se realizó por medio de extrapolación lineal la cual permite predecir valores que no se encuentran en la curva en discusión.

Para el caso de la fibra 1 se realizó el respectivo análisis matemático por medio del software Excel el resultado obtenido es una línea recta, es decir, es una ecuación de grado 1, cabe recalcar que la gráfica se obtuvo a partir de los datos obtenidos anteriormente lo cual se puede extrapolar hasta que la potencia llegue al valor mínimo de cero con 18 puntos posteriores a la curva original, en la ilustración 4-4 se visualiza la tendencia de la gráfica con su respectiva expresión matemática.

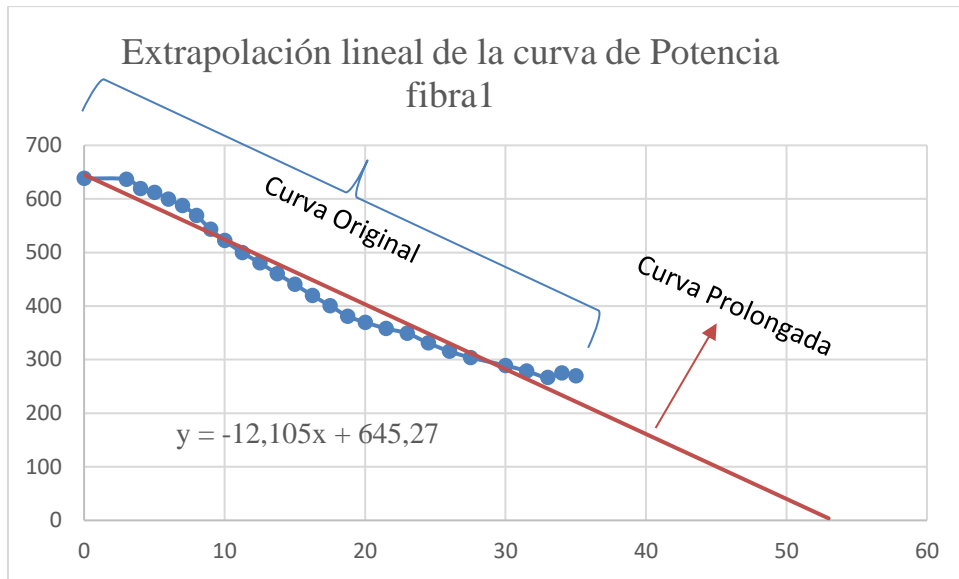


Ilustración 4-4: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 1

Fuente: (Silva, 2023)

Para encontrar una expresión matemática aplicando extrapolación lineal a la curva de potencia en la fibra 2 se realizó el mismo procedimiento que en la fibra 1, por medio del software Excel, el resultado que se obtuvo es una función de grado 1 la cual expresa la tendencia de la curvatura de dicha fibra, en la ilustración 4-5 se visualiza la curva original con respecto a la curva prolongada y la expresión matemática, la línea azul es la curva original que se obtuvo anteriormente, mientras que la curva roja es la prolongación que se obtuvo mediante extrapolación, cabe recalcar que la potencia que se analizó es hasta su valor mínimo de cero con 55 puntos posteriores a la curva original.

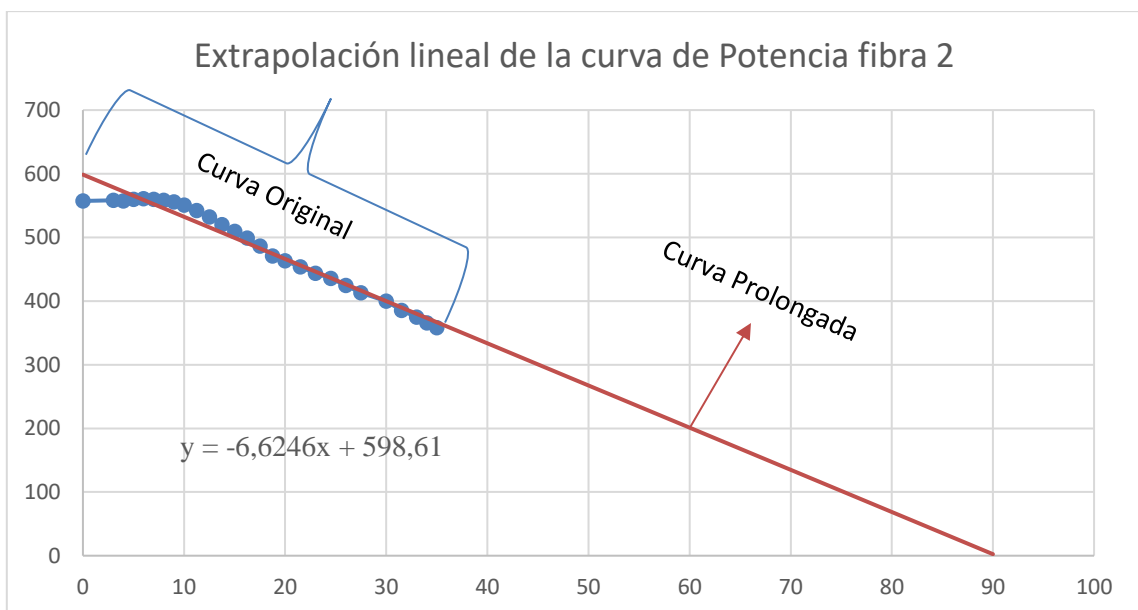


Ilustración 4-5: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 2

Fuente: (Silva, 2023)

Para la fibra 3 se realizó el mismo procedimiento que se realizó con la fibra 1 y 2 para encontrar una expresión matemática que describa la curvatura de la potencia frente a al sometimiento de peso, mediante el software Excel se realizó extrapolación lineal de dicha curva obteniendo como resultado una expresión matemática de grado uno como podemos observar en la ilustración 4-6, la curva de color azul representa la potencia que se obtuvo de forma experimental, es decir la curva original, mientras que la curva roja es la tendencia que se tiene de dicha curva, con 59 puntos de extrapolación se tiene un valor de cero en potencia con un peso aproximado de 93 kg.

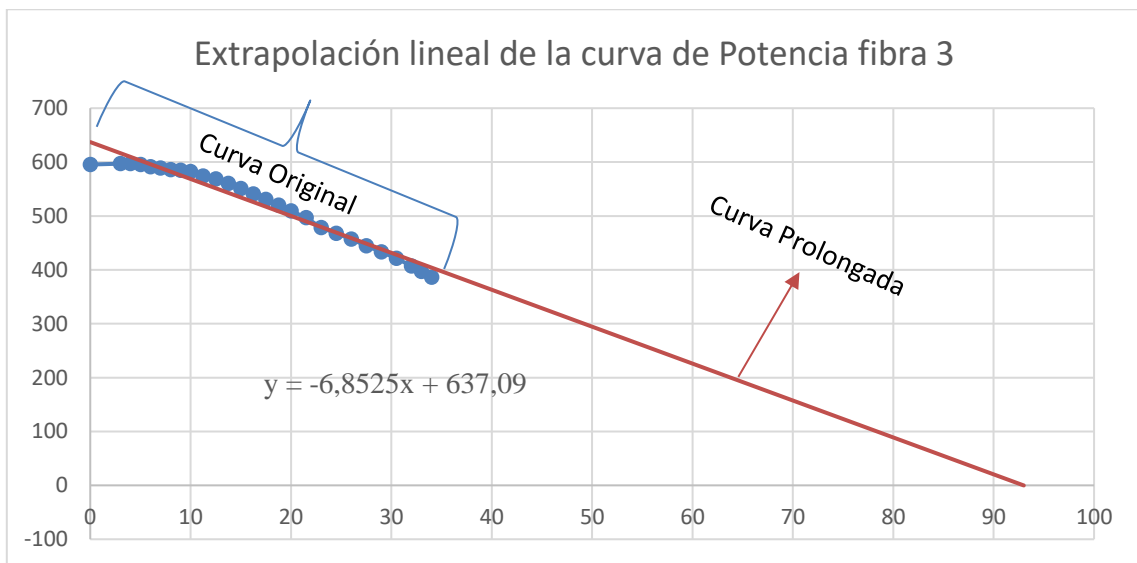


Ilustración 4-6: Extrapolación lineal de la curva de Potencia fibra 3

Fuente: (Silva, 2023)

4.1.2.3. Extrapolación exponencial

Para poder caracterizar las curvas de potencia se pueden expresar mediante expresiones matemáticas que se realizó por medio de extrapolación exponencial la cual permite predecir valores que no se encuentran en la curva en discusión.

Para el caso de la fibra 1 se realizó el respectivo análisis matemático por medio del software Excel el resultado obtenido es una ecuación exponencial, cabe recalcar que la gráfica se obtuvo a partir de los datos obtenidos anteriormente lo cual se puede extrapolar hasta que la potencia llegue al valor mínimo pero como es una expresión exponencial se realizó para 55 puntos posteriores a la curva original teniendo como potencia mínima un aproximado de 50 μW como se puede observar en la ilustración 4-7 se visualiza la tendencia de la gráfica con su respectiva expresión matemática.

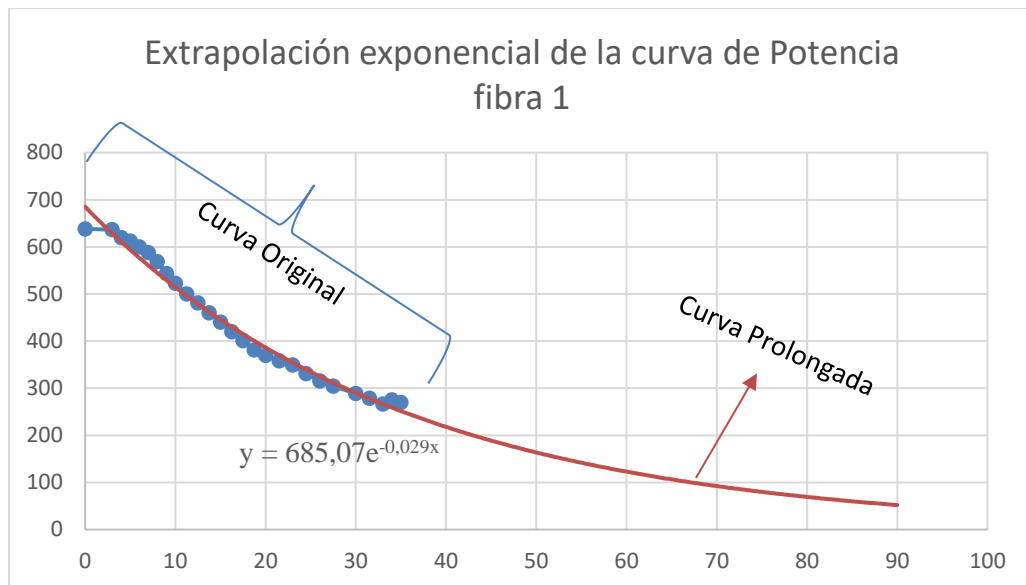


Ilustración 4-7: Extrapolarción exponencial de la curva de Potencia fibra 1

Fuente: (Silva, 2023)

Para encontrar una expresión matemática que aplique la extrapolarción exponencial de la curva de potencia en la fibra 2, se realizó el mismo procedimiento que en el caso de la fibra 1, utilizando Excel, y el resultado obtenido es una función exponencial que expresa la dirección de curvatura de dicha fibra, la ilustración 4-8 muestra la curva original con respecto a la curva de elongación y la expresión matemática, la línea azul es la flexión original obtenida previamente, mientras que la curva roja es la elongación obtenida por extrapolarción, y cabe señalar que la potencia analizada alcanza un valor de 190 μW aproximadamente y con un peso de 90 kg con 55 puntos después de la curva original.

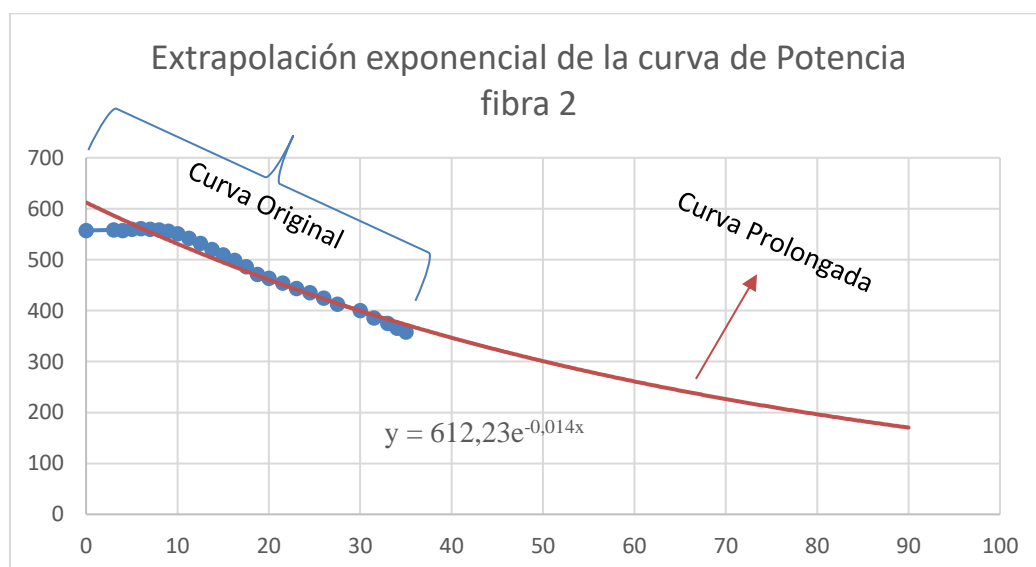


Ilustración 4-8: Extrapolarción exponencial de la curva de Potencia fibra 2

Fuente: (Silva, 2023)

Para la fibra 3 se realizó el mismo procedimiento que se realizó con la fibra1 y 2 para encontrar una expresión matemática que describa la curvatura de la potencia frente a al sometimiento de peso, mediante el software Excel se realizó extrapolación exponencial de dicha curva obteniendo como resultado una expresión exponencial como se puede observar en la ilustración 4-6, la curva de color azul representa la potencia que se obtuvo de forma experimental, es decir la curva original, mientras que la curva roja es la tendencia que se tiene de dicha curva, con 55 puntos de extrapolación se tiene un valor de 198 μ W en potencia aproximadamente con un peso aproximado de 87 kg.

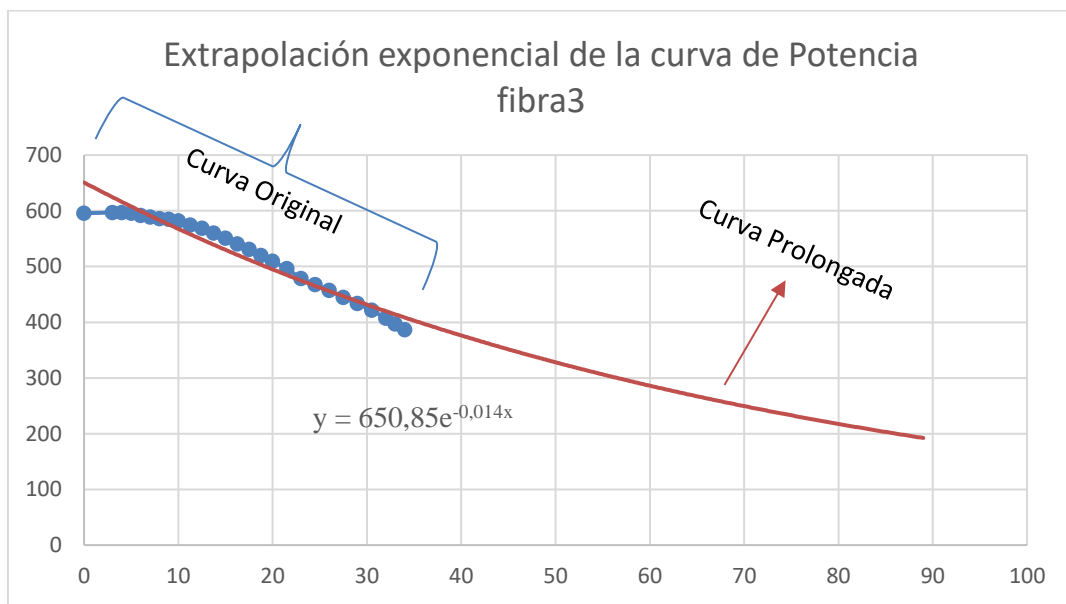


Ilustración 4-9: Extrapolación exponencial de la curva de Potencia fibra 3

Fuente: (Silva, 2023)

4.1.3. Histéresis en fibra óptica

La histéresis es la capacidad de relacionar entre la diferencia de una medida con respecto a la misma en forma inversa, es decir es la diferencia máxima que se observa en los valores indicados por el instrumento cuando la variable recorre toda la escala en los dos sentidos ascendente y descendente, en el caso de estudio la variable que se toma a consideración es la potencia que se encuentra en la fibra óptica cuando disminuye al momento de incrementar el peso y cuando aumenta al momento de retirar e peso, para obtener el porcentaje de la histéresis se realiza por la ecuación 4-1.

$$\text{histéresis} = \frac{\text{Diferencia punto medio}}{\text{Rango de medida}} \times 100 \quad 4-1$$

Para poder realizar una caracterización en cuanto a la restauración de la fibra óptica primero se realizó un análisis por medio de histéresis del valor de potencia mediante las dos curvas que se

visualizan en la ilustración 4-10, para encontrar el porcentaje del valor se tomó los puntos medios en las dos curvas, en el caso de la fibra1 se tomó el rango de potencia que va desde 236 a 640.1 μW , el valor de peso que es de 16.25 kg con un valor de potencia de 419.7 μW para subida de peso y 251.1 μW para reducción de peso, con la aplicación de la ecuación 4-1 se obtuvo un resultado del 41.57% para la fibra 1.

$$\text{Histéresis} = \frac{(419.7 - 251.1)}{(640.1 - 236)} * 100$$

$$\text{Histéresis} = 41.57\%$$

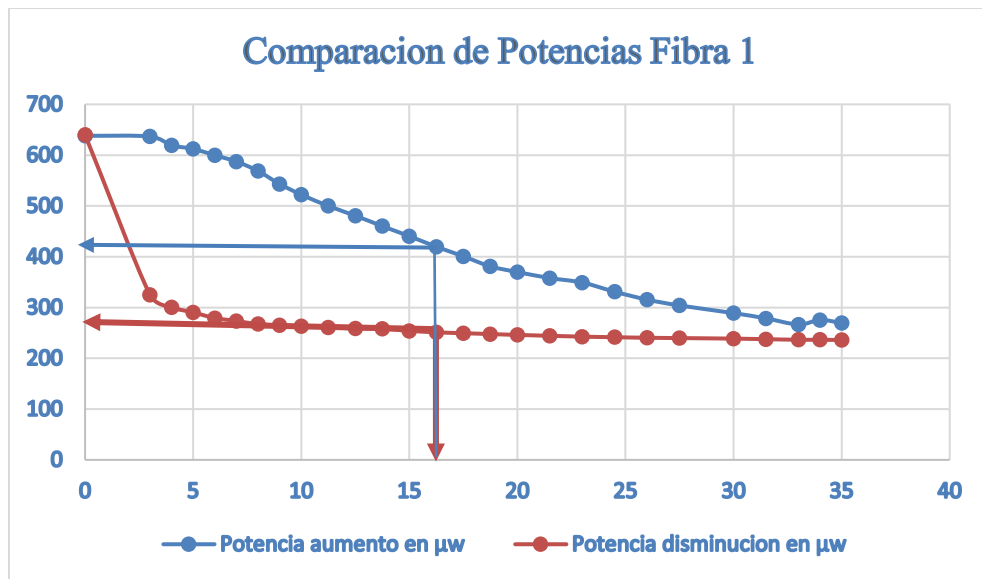


Ilustración 4-10: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 1.

Fuente: (Silva, 2023)

En el caso de la fibra2 se tomó el rango de potencia que va desde 344.3 a 561 μW , el valor de peso que es de 16.25 kg con un valor de potencia de 498.8 μW para subida de peso y 382.8 μW para reducción de peso como se visualiza en la figura 4-5, con la aplicación de la ecuación 4-1 se obtuvo un resultado del 57.53% para la fibra 2.

$$\text{Histéresis} = \frac{(498.8 - 382.8)}{(561 - 344.3)} * 100$$

$$\text{Histéresis} = 53.53\%$$

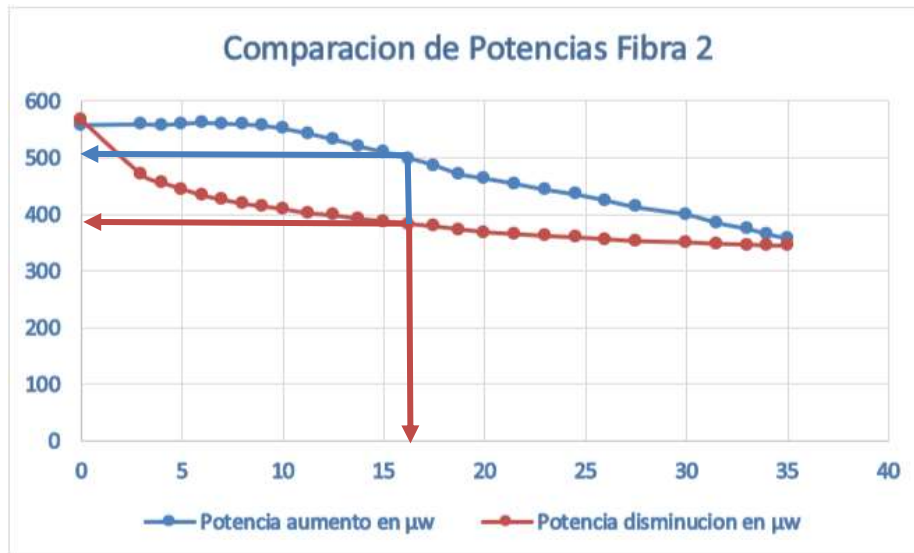


Ilustración 4-11: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 2.

Fuente: (Silva, 2023)

En el caso de la fibra3 se tomó el rango de potencia que va desde 386.3 a 595.6 µW, el valor de peso que es de 16.25 kg con un valor de potencia de 540.7 µW para subida de peso y 431.5 µW para reducción de peso como se visualiza la figura 4-6, para la fibra 3 aplicando la ecuación 4-1 se obtuvo un resultado del 52.17%.

$$\text{Histéresis} = \frac{(540.7 - 431.5)}{(595.6 - 386.3)} * 100$$

$$\text{Histéresis} = 52.17\%$$

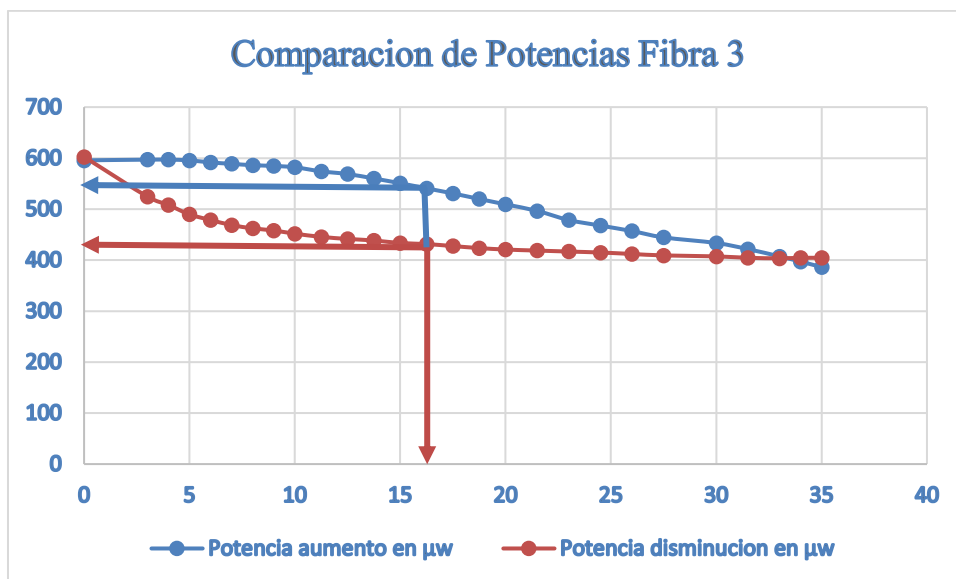


Ilustración 4-12: Toma de potencia en subida y bajada de peso fibra 3.

Fuente: (Silva, 2023)

4.2. Resultados simulados

Para el análisis de los resultados que se obtuvieron en el capítulo anterior primero se realizó una tabulación de la reducción del core de la fibra óptica con respecto a su potencia, cabe recalcar que la reducción del core representa el peso sometido en la parte experimental y su potencia esta normalizada en la simulación con respecto a la parte experimental, la reducción máxima es representado por el cero mientras que las condiciones normales es representado con la unidad, en la ilustración 4-13 se muestra la curvatura que se tiene en cuanto la reducción del core y su potencia respectivamente.

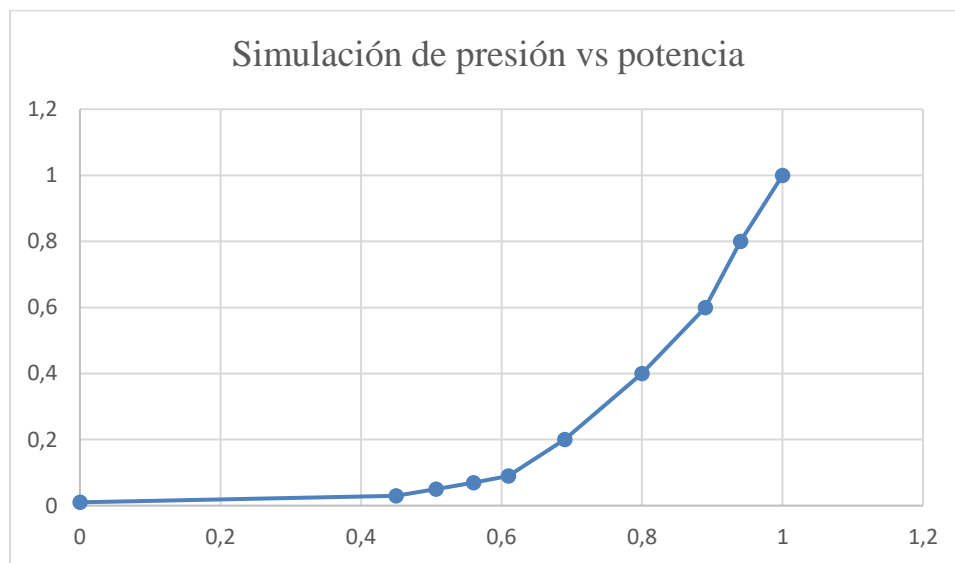


Ilustración 4-13: Simulación de presión vs potencia

Fuente: (Silva, 2023)

Para tener una caracterización de la reducción del core frente a la potencia obtenida se realizó un análisis de extrapolación a igual que se realizó en la parte experimental, el resultado que se obtuvo es la extrapolación exponencial como se muestra en la ilustración 4-14, donde la línea azul es la curvatura que se obtuvo en el simulador mientras que la curva de color rojo es la aproximación de la extrapolación realizada por el software Excel.

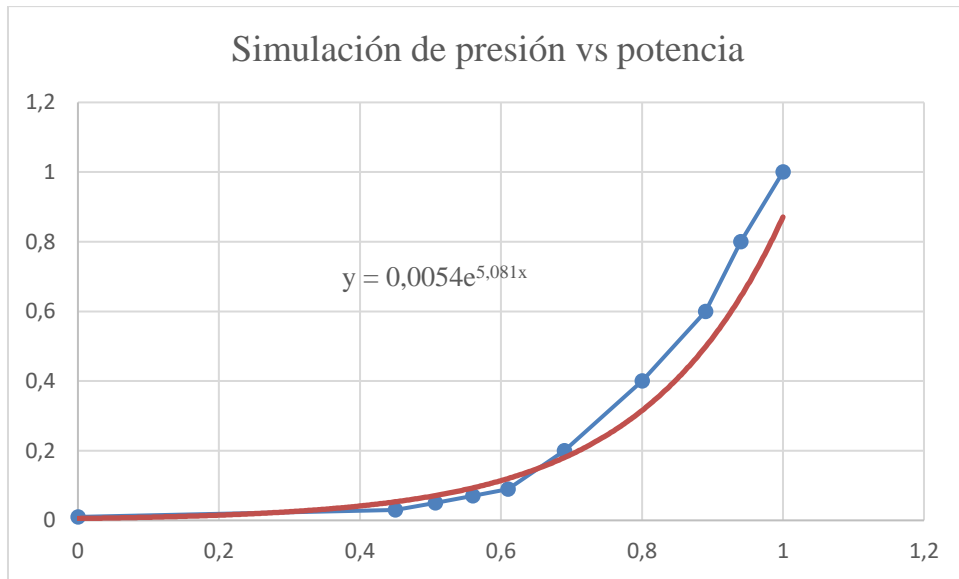


Ilustración 4-14: Extrapolación de la simulación de presión vs potencia

Fuente: (Silva, 2023)

4.3. Comparación entre resultados simulados con experimentales

Para comparar los datos simulados con los datos experimentales primero se realizó una normalización a uno ya que los datos expresados por el software FIMMWAVE son unitarios, es decir que la potencia máxima es la unidad mientras que los datos experimentales se tiene valor máximo de 600 μ W, en la tabla 4-5 muestra los valores de potencia y la reducción de la fibra óptica (presión) que se realizó en el simulador ya mencionado.

Tabla 4-5: Datos de presión y reducción de la fibra simulados

Reducción (presión)	Potencia
1	1
0,8	0,94
0,6	0,89
0,4	0,8
0,2	0,69
0,09	0,61
0,07	0,56
0,05	0,507
0,03	0,45
0,01	0

Fuente: Silva I., 2023

La tabla 4-6 muestra la comparación de la fibra óptica 1 con los datos simulados, también muestra la reducción de potencia de al menos el 43,3% al aplicar un peso de 34kg en la fibra óptica, al comparar los resultados simulados con los experimentales primero se realizó la normalización de

los datos a la unidad dando como resultado la coincidencia de 8 datos los cuales se pueden observar en la tabla 4-6, podemos asociar la reducción del core con respecto al peso aplicado en la fibra óptica, es decir que para un peso de 6 kg se reduce el core al 0,8 para tener una potencia similar.

Tabla 4-6: Comparación de datos de la fibra 1.

Peso kg	Experimental			Simulado	
	Potencia en μW	% de pérdida de potencia	Normalización	Reducción (presión)	Potencia
0	638,2	100,0	1,00	1	1
3	636,7	99,8	1,00		
4	619,4	97,1	0,97		
5	612,3	95,9	0,96		
6	599,7	94,0	0,94	0,8	0,94
7	587,4	92,0	0,92		
8	568,8	89,1	0,89	0,6	0,89
9	543,2	85,1	0,85		
10	522,3	81,8	0,82	0,4	0,8
11,25	500	78,3	0,78		
12,5	480,8	75,3	0,75		
13,75	460,2	72,1	0,72		
15	440,5	69,0	0,69	0,2	0,69
16,25	419,7	65,8	0,66		
17,5	400,8	62,8	0,63		
18,75	381	59,7	0,60	0,09	0,61
20	369,8	57,9	0,58		
21,5	358	56,1	0,56	0,07	0,56
23	349,1	54,7	0,55		
24,5	331,1	51,9	0,52		
26	315,5	49,4	0,49	0,05	0,507
27,5	304	47,6	0,48		
29	289	45,3	0,45	0,03	0,45
30.5	278,6	43,7	0,44		
32	266,6	41,8	0,42		
33	275,4	43,2	0,43		
34	269,7	42,3	0,42		

Fuente: Silva I., 2023

Para la fibra 2 se realizó el mismo proceso que en la fibra 1 es decir, se realizó la comparación de los datos tomados experimentalmente con los datos simulados dando como resultado la coincidencia de 5 datos los cuales se pueden observar en la tabla 4-7, cabe recalcar que se realizó la normalización de potencia a la unidad para poder comparar, lo cual ayudo a la asociación de reducción del core con respecto al peso aplicado en la fibra óptica, podemos observar que al reducir el core al 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 se asocia a unos 13.75, 17.5, 23, 30.5kg respectivamente para obtener la misma potencia, también se puede observar la reducción de potencia que es de al menos 64.3% cuando se somete la fibra óptica al máximo peso.

Tabla 4-7: Comparación de datos de la fibra 2

Aumento de peso				Simulado	
Peso kg	Potencia en μ W	% de pérdida de potencia	Normalización	Reducción (presión)	Potencia
0	557,1	100,0	1,00	1	1
3	558,4	100,2	1,00	1	1
4	557,1	100,0	1,00	1	1
5	559,7	100,5	1,00	1	1
6	561	100,7	1,01	1	1
7	559,7	100,5	1,00	1	1
8	558,4	100,2	1,00	1	1
9	555,9	99,8	1,00	1	1
10	550,8	98,9	0,99		
11,25	542	97,3	0,97		
12,5	532,1	95,5	0,96		
13,75	519,9	93,3	0,93	0,8	0,94
15	509,3	91,4	0,91		
16,25	498,8	89,5	0,90		
17,5	486,4	87,3	0,87	0,6	0,89
18,75	470,9	84,5	0,85		
20	463,4	83,2	0,83		
21,5	453,9	81,5	0,81		
23	443,6	79,6	0,80	0,4	0,8
24,5	435,5	78,2	0,78		
26	424,6	76,2	0,76		
27,5	413	74,1	0,74		
29	399,9	71,8	0,72		
30.5	385,4	69,2	0,69	0,2	0,69
32	374,9	67,3	0,67		
33	365,5	65,6	0,66		
34	358	64,3	0,64		

Fuente: Silva I., 2023

Para la fibra 3 se realizó el mismo proceso que en la fibra 1 y fibra 2 es decir, se realizó la comparación de los datos tomados experimentalmente con los datos simulados dando como resultado la coincidencia de 5 datos los cuales se pueden observar en la tabla 4-8, cabe recalcar que primero se realizó la normalización de potencia a la unidad para poder comparar, lo cual ayudo a la asociación de reducción del core con respecto al peso aplicado en la fibra óptica, podemos observar que al reducir el core al 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 se asocia a unos 13.75, 17.5, 23, 30.5kg respectivamente para obtener la misma potencia, también se puede observar la reducción de potencia que es de al menos 64.9% cuando se somete la fibra óptica al máximo peso.

Table 4-8: Comparación de datos de la fibra 3

Aumento de peso				Simulado	
Peso kg	Potencia en μW	% de pérdida de potencia	Normalización	Reducción (presión)	Potencia
0	595,6	100,0	1,00	1	1
3	597	100,2	1,00	1	1
4	597	100,2	1,00	1	1
5	595,6	100,0	1,00	1	1
6	591,5	99,3	0,99		
7	588,8	98,9	0,99		
8	586,1	98,4	0,98		
9	584,7	98,2	0,98		
10	582,1	97,7	0,98		
11,25	574,1	96,4	0,96		
12,5	568,8	95,5	0,96		
13,75	560,1	94,0	0,94	0,8	0,94
15	550,8	92,5	0,92		
16,25	540,7	90,8	0,91		
17,5	530,8	89,1	0,89	0,6	0,89
18,75	519,9	87,3	0,87		
20	509,3	85,5	0,86		
21,5	496,5	83,4	0,83		
23	478,6	80,4	0,80	0,4	0,8
24,5	467,7	78,5	0,79		
26	457	76,7	0,77		
27,5	444,6	74,6	0,75		
29	433,5	72,8	0,73		
30.5	421,6	70,8	0,71	0,2	0,69
32	407,3	68,4	0,68		
33	397,1	66,7	0,67		
34	386,3	64,9	0,65		

Fuente: Silva I., 2023

4.4. Discusión de resultados

Esta investigación tuvo como propósito caracterizar la potencia transmitida por medio de la fibra óptica frente al sometimiento de presión sobre ella, se pretendió realizar un análisis experimental y simulado en un grupo de fibras ópticas, además, se identificó el porcentaje de pérdida de potencia en la señal de la fibra óptica frente al peso sometido, a continuación, se discute los principales hallazgos de este estudio.

De los resultados obtenidos en esta investigación, se puede deducir que la potencia se reduce cuando la fibra óptica se somete a un peso relevante, es decir a mayor peso de sometimiento en la fibra óptica la potencia disminuye, en cuanto a los resultados simulados también se puede deducir que la reducción del diámetro del cable de fibra óptica tiende a reducir exponencialmente la potencia, es decir que a mayor reducción del diámetro mayor disminución de potencia en dicho cable.

Con los resultados obtenidos en esta investigación se puede correlacionar la parte experimental con respecto a la parte simulada, es decir que se relaciona el peso sometido en la fibra óptica con la reducción del diámetro en la fibra óptica, en las pruebas realizadas la relación que se muestra es que al reducir el diámetro a 0.8, 0.6, 0.4, 0.2 se relaciona con 13.75, 17.5, 23, 30.5kg respectivamente para obtener la misma potencia.

Del análisis de los resultados obtenidos en la parte simulada se tiene una reducción de potencia mínima que es el 0.45% cuando se reduce el diámetro de la fibra óptica al 0.03, al reducir el diámetro al 0.01 se tiene una potencia de cero, con estos resultados se dedujo que se puede modelar una expresión matemática en cuanto a la potencia frente al peso sometido en la fibra, la expresión que más se adapta es una ecuación exponencial ya sea para la parte simulada como para la parte experimental.

Para el análisis de la restauración de la fibra óptica frente a la presión se dedujo que por medio de un análisis de histéresis la fibra con menor restauración es la fibra 1 con un porcentaje de 41.57% en cambio en la fibra 2 y 3 se tiene un porcentaje de 53,53% y 52,17% respectivamente con estos resultados se puede deducir que la fibra 2 y fibra 3 tiene una mejor respuesta a la restauración de la fibra óptica frente al peso sometido sobre ellas.

Los datos obtenidos en esta investigación sobre la potencia obtenida frente al peso sometido en la fibra óptica se relacionan con investigaciones con respecto a sensores ópticos aplicados a la construcción cuando se somete presión a una estructura o columnas de concreto, la investigación realizada por Roxana Heredia evidencia esta investigación dando como conclusión que la presión sometida a un sensor óptico reduce la señal y su potencia, a igual por la investigación de Víctor Manuel Bonilla menciona sobre la deformación de estructuras civiles al utilizar sensores de fibra óptica que la presión ejercida en dicho sensor tiene una relación con la deformación de aquellas estructuras y su potencia.

CONCLUSIONES:

- En base a la recopilación de información en diferentes investigaciones sobre tipos de fibras ópticas se concluye que para la aplicación en la industria se emplea sensores ópticos ya que estos dispositivos tienen una mejor sensibilidad para la presión mecánica y mediante esa sensibilidad se puede inferir que tipo de estructura soporta una determinada presión ya sea en un edificio o un puente.
- Los resultados de la simulación demostraron que ejercer presión mediante un peso en la fibra óptica provoca una reducción significativa en el diámetro del cable, como consecuencia directa, se demostró una disminución en la potencia de salida, la cual está directamente relacionada con el porcentaje de reducción del diámetro.
- Mediante la realización de los ensayos experimentales revelan una correlación significativa entre la aplicación de peso en la fibra óptica y la reducción de potencia en la salida, además se observa a medida que aumenta el peso aplicado, la reducción de potencia también se incrementa, al comparar el peso aplicado con la reducción del diámetro en la simulación, podemos establecer una relación clara entre ambos factores.
- Al analizar y comparar los datos experimentales y simulados se infiere que la relación entre la potencia de salida y la reducción del diámetro en la fibra óptica se rige por un modelo matemático de fórmula exponencial, esta representación matemática proporciona una descripción precisa y cuantitativa de cómo la disminución del diámetro afecta a la potencia de salida.
- Al analizar los diferentes cables de fibra óptica se concluye que cuando se somete presión mecánica en la fibra óptica se tiene una reducción exponencial de la potencia en la salida, comparando los resultados entre las tres fibras se tiene una reducción de potencia del 57.16% en promedio frente al sometimiento de 34kg de peso.

RECOMENDACIONES:

- Se recomienda tener en cuenta el uso de equipos de medición con una sensibilidad mejor ya que los equipos utilizados tienen sus limitaciones, no se puede regular la sensibilidad con un valor más exacto.
- Se recomienda que para futuras investigaciones se amplie la toma de mediciones en cuanto a la simulación para poder comparar significativamente con la parte experimental.
- Se debe tener en cuenta que para la relación de toma de mediciones en la parte experimental se debe tener un ambiente idéntico para cada fibra óptica y tener un tiempo de espera en cuanto a la estabilización de los equipos.

BIBLIOGRAFIA

1. **PINTO, R. y CABEZAS, A.**, 2014. *SISTEMAS DE COMUNICACIONES ÓPTICAS*. Primera Edición. Bogotá: 2014. vol. Primer volumen.
2. **CASTAÑEDA, P.**, 2018. ANALIS Y SIMULACIÓN DEL FENOMENO DE DISPERSIÓN CROMÁTICA EN LAS FIBRAS ÓPTICAS MONOMODO ITU-TG.652 E ITU-T G.655. *Escuela Politécnica Nacional*,
3. **COIMBRA, E.**, 2011. TRANSMISIÓN DE DATOS POR FIBRA ÓPTICA. [en línea]. Disponible en: www.coimbraweb.com.
4. **CORTEZ, P.**, 2016. *MANUAL PRÁCTICO PARA EL CABLEADO DE LA RED AÉREA DE FIBRA ÓPTICA DE TELCONET EN LA CIUDAD DE QUITO*. Proyecto de Investigación. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
5. **GONZALES, A.**, 2007. *Análisis de Atenuación, Dispersión y Automodulación de Fase en Sistemas de Comunicación de Único Canal por Fibra Óptica a 10 Gb/s*. Guanajuato: Centro de Investigaciones en Óptica.
6. **GUAMÁN, E.**, 2020. *Módulo Experimental de Laboratorio para detectar fallos en enlaces de fibra óptica Monomodo por reflectometría óptica en el dominio del tiempo, a través de un OTDR*. Quito: Universidad Tecnológica Israel.
7. **GUAMÁN ÉDISON**, 2019. *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA ISRAEL APROBACIÓN DEL TUTOR*. S.l.: s.n.
8. **HEREDIA CH, R., MURILLO, M.P. y VARGAS, G.L.**, 2013. Modelaje y simulación de un sensor de curvatura. Guayaquil:
9. **HURTADO, M.R.**, 2016. *Análisis modal de fibras ópticas curvadas: aplicaciones de sensor*. Tesis Doctoral. Valencia: Universidad de Valencia.
10. **JHON JAMES GRANADA-TORRES, A.M.C.S.N.G.G.**, 2015. Redes ópticas elásticas: un nuevo paradigma en las futuras redes de telecomunicaciones. *Maestría en Ingeniería de Telecomunicaciones*.
11. **LLUMIQUINGA, D. y MULLO, C.**, 2008. *ANÁLISIS Y DISEÑO DEL SISTEMA REDUNDANTE DE FIBRA ÓPTICA QUITO-GUAYAQUIL PARA LA RED DE TELCONET S.A*. Tesis. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
12. **MESA, A.**, 2018. *Diseño, Desarrollo, Caracterización y Análisis de Sensores de Fibras Ópticas: Aplicación al Estudio de Materiales y Estructuras*. Tesis de Doctorado. Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.
13. **NAVARRO HENRÍQUEZ, F.**, 2014. Sensores de fibra Óptica FBG para el monitoreo de la salud estructural de los puentes. *Tecnología en Marcha*, vol. 27,
14. **PANCHI, M.**, 2016. *DISEÑO DE UNA RED GPON PARA LA EMPRESA CINE CABLE*

TV. Tesis. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

15. **PRIETO JAIME**, 2014. *Diseño de una Red de Acceso Mediante Fibra Óptica*. Tesis. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
16. **TOMASI, Wayne., MATA HERNÁNDEZ, G. y GONZÁLEZ POZO, V.**, 2003. *Sistemas de comunicaciones electrónicas*. S.l.: Pearson Educación. vol. 4. ISBN 9702603161.
17. **VILAR, B.**, 2011. *Diseño de Sensores Ópticos Avanzados basados en FBGs*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 21/11/2023

INFORMACIÓN DE LOS AUTORES	
Nombres – Apellidos: Iván Fabricio Silva Verdezoto	
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL	
Facultad: Facultad de Informática y Electrónica	
Carrera: Telecomunicaciones	
Título a optar: Ingeniero Electrónico en Telecomunicaciones y Redes	
f. Analista de Biblioteca responsable:	 Ing. Fernanda Arévalo M.



1732-DBRA-UPT-2023