



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS E INSTALACIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE
ENLACES DE FIBRA ÓPTICA, PARA LA EJECUCIÓN
ADECUADA DE PRÁCTICAS DE MEDICIONES EN EL
LABORATORIO DE SISTEMAS DE COMUNICACIONES
ÓPTICAS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A N

EMMANUEL SALVADOR HERRERA VILLAR

Y

SERGIO SAÚL SANTIAGO SILVA

DIRECTOR DE TESIS:

ING. ÁLVARO ALEJANDRO MARROQUÍN MORA

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, 2021





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

“La educación es el pasaporte hacia el futuro, el mañana pertenece a aquellos que se preparan para el día de hoy”

Malcolm X.

“Me parece haber sido sólo un niño jugando en la orilla del mar, divirtiéndose y buscando una piedra más lisa o una concha más bonita de lo normal, mientras el gran océano de la verdad yacía ante mis ojos con todo por descubrir”

Isaac Newton.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Por su sacrificio, confianza y apoyo incondicional que han depositado en cada una de mis decisiones en todo el trayecto académico que he forjado con el paso de los años. Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

Este presente es el fruto de nuestro esfuerzo.

A mi hermana:

Por tu apoyo constante a lo largo del camino y por mostrarme que, si uno hace lo que le apasiona, puede destacar en cualquier área. Por tus consejos y apoyo, me siento muy orgulloso y agradecido de tenerte como hermana y porque sé, que muy pronto tu también lo lograrás.

Con cariño, respeto y admiración este es un logro dedicado a ustedes.

Emmanuel

AGRADECIMIENTOS

A mis padres:

Martha Villar Ambriz
José Salvador Herrera Reyes

Gracias, madre por siempre estar al pendiente de mi y estar presente en todos los momentos que te he necesitado a pesar de cualquier circunstancia. Gracias por todo el amor que me has brindado y por tu apoyo incondicional en cada proyecto que he tomado a lo largo de este camino. Y, sobre todo, gracias por todo el esfuerzo que has puesto para llegar a este punto y concluir un objetivo más en esta vida.

Gracias, padre por tus palabras de aliento y tus enseñanzas a lo largo de este camino, incluyendo la importancia de la responsabilidad y el trabajo, valorando la vida y comprendiendo, que, en ésta, nada es fácil. Por enseñarme que, a pesar de las adversidades, se puede y se debe seguir luchando por lo que se quiere y por los que se quieren.

Gracias a los dos por darme la oportunidad de avanzar día con día y por todo el esfuerzo que han puesto en mi educación.

A mi hermana:

Martha Elisa Herrera Villar

Gracias, hermana por estar en cada momento viéndome crecer, realizar proyectos y tener intensas noches de estudio, gracias por tu apoyo en cada parte de esta carrera dándome tus puntos de vista en tareas, proyectos e ideas para tener mejores notas. Eres un motor muy importante para seguir adelante.

A mi asesor:

Álvaro Alejandro Marroquín Mora

Gracias, profesor por estar al pendiente de nuestro proyecto desde el servicio social. Gracias por todo el conocimiento brindado y por mostrarnos su confianza para culminar este proyecto donde hubo compañerismo puro y una gran amistad. Es una persona honorable ya que siempre ve por sus alumnos, no me queda más que decirle que le tengo mucho respeto y admiración.

A mi compañero y amigo Sergio Saúl Santiago Silva

Por su compañerismo y amistad dada a lo largo de la carrera, ser un motor de superación en cada una de las clases que tomamos juntos y ser un gran equipo para alcanzar nuestros objetivos grupales y personales. Por su esfuerzo y dedicación para elaborar la presente tesis desde lo escrito hasta lo que se tuvo que realizar de forma física para tener los resultados que se darán a continuación. Gracias por todos los momentos que pasamos dentro de la facultad y por las horas dedicadas de estudio tan fructíferas para que estemos en este punto de nuestras vidas, te deseo una vida y carrera llena de éxitos, amigo.

A mi institución:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Gracias por haberme permitido ser un alumno de esta gran institución, lo cual me llena de orgullo. Por permitirme estudiar, trabajar, divertirme, por dejarme tener independencia y libertad de expresión. Por querer mi superación y por hacer posible el desarrollo de mi proyecto de vida. Es un orgullo ser un estudiante de la máxima casa de estudios.

“Por mi raza hablará el espíritu.”

Emmanuel Salvador Herrera Villar

DEDICATORIAS

A mis padres

Por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, por tenerme la paciencia y creer en mí, muchos de los logros se los debo a ustedes, este es uno más de ellos. Me formaron con reglas y ciertas libertades, pero al final de cuentas, me motivaron con constancia para alcanzar mis anhelos.

Por darme lo mejor e incluso más que eso, por todo el esfuerzo y tiempo que les conllevó que yo llegara a este punto de mi vida, quiero que sepan que todos sus sacrificios valieron la pena.

Esto es para ustedes.

Sergio Saúl Santiago Silva

AGRADECIMIENTOS

A mis padres

Hermelinda Guadalupe Silva Carrizosa. Mamá muchas gracias por brindarme tu amor infinito, siempre me apoyaste y me diste más de lo que merecía, por tener siempre la fortaleza de salir adelante sin importar los obstáculos, por haberme formado como un hombre de bien, por ser la mujer que me dio la vida y me enseñó a vivirla, no hay palabras en este mundo para agradecerte.

Sergio Ángel Santiago Villalba. Papá gracias por toda la sabiduría que me has transmitido a lo largo de mi vida, todas esas enseñanzas directas e indirectas que me has regalado, por el valor y coraje que has tenido para levantarte ante cualquier adversidad y por darme ánimos siempre diciéndome lo orgulloso que te sientes de mí.

A ambos les agradezco la confianza que alojaron en mí y por todo el esfuerzo, apoyo y amor que me han brindado, los amo con todo mi corazón.

A mi hermana

Sandra Ithandahui Santiago Silva. Por darme otra perspectiva, por todas las enseñanzas de vida que me ha dado, alinearme cada vez que no veo claro o mi camino se está desviando.

A mi director de tesis

Ing. Álvaro Alejandro Marroquín Mora, gracias por la oportunidad de realizar este proyecto con usted, por todo el tiempo y apoyo que me brindó, las enseñanzas académicas que me inculcó.

A mis profesores de la carrera

Por darme las herramientas académicas y profesionales, gracias por su paciencia, por compartir sus conocimientos de manera profesional e invaluable, por su dedicación, perseverancia y tolerancia.

A mi compañero y amigo Emmanuel Salvador Herrera Villar

Gracias por compartir este proyecto, por todos los momentos que pasamos en la facultad y la gran amistad que tenemos, no se me olvidarán todos los momentos que pasamos, las risas con nuestros amigos, las desveladas, las tardes de trabajo en la facultad y en lo deportivo. Te admiro y respeto, espero verte como una persona de bien y muy exitosa en el futuro.

Por último, pero no menos importante les agradezco a mis amigos:

De la universidad: Néstor, Luis, Pedro, Mariano, Samuel, Ángel, Jorge, Vanessa, Julissa, Jair.

De la prepa: David, Isela, Isabel, Janet, Mario, Magali, Manu, Pepe, Fer, Vania, Emi, Kevin, May.

De la secundaria: Marisol, Lupita, Aline.

Y a todo aquello que alguna vez me apoyó, confió en mí y me brindó su amistad a lo largo de mi vida.

Con cariño, Sergio.

INDICE

Contenido

1. OBJETIVOS	10
2. MARCO TEÓRICO	10
2.2. Fibra óptica	14
2.2.1. Características y parámetros	18
2.2.2. Tipos de Cables de fibra óptica	20
2.3. Equipos de medición y herramientas	23
2.3.1. Fuente de luz y medidor de potencia.....	23
2.3.2. Reflectómetro Óptico (OTDR).....	29
2.3.3. Empalmadora de Fusión.....	31
2.3.4. Punta de inspección de conectores (microscopio)	34
2.4. Conectores Ópticos	35
2.4.1 Ópticos Mecánicos.....	35
2.4.2 Conectores Ópticos basados en empalme de fusión de fibra óptica	35
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN.....	36
3.1. Análisis de los requerimientos de las prácticas de mediciones de fibra óptica	37
4. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE ÓPTICO DE 2MM SIMPLE	38
4.1. Características del tipo de cable	40
4.2. Conectores y elementos de red seleccionados	42
4.3. Resultado de instalación	45
5. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE DIELECTRICO.....	47
5.1. Características del tipo de cable	48
5.2. Conectores y elementos de red seleccionados	51
5.3. Resultado de instalación	54
6. TRABAJO A FUTURO	61
7. CONCLUSIONES	62
8. REFERENCIAS	66
9. LISTADO DE FIGURAS.....	70
10. LISTADO DE TABLAS	72

1. OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo escrito son los siguientes:

- Realizar un enlace con fibra monomodo de 2 mm simple para su instalación dentro del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas y UNAM Mobile.
- Realizar un enlace de fibra óptica con cable dieléctrico para distancias largas con una caja de empalme.
- Incentivar la creación y actualización de las prácticas del laboratorio con enfoque a la fibra óptica monomodo para largas distancias.

2. MARCO TEÓRICO

La industria de las telecomunicaciones se debe renovar constantemente debido a que tiene el propósito de proporcionar conectividad a todo el mundo y debe seguir innovando para satisfacer las necesidades de los usuarios en distintos aspectos, mediante telefonía fija o celular, mensajería, proporcionando internet, entre otras clases de servicios. Esta industria de telecomunicaciones se ha innovado año con año para la transmisión de datos y una forma de hacerlo de forma terrestre es con el uso de fibra óptica. La industria de la fibra óptica inició en los años 60 cuando se empieza a vislumbrar las posibilidades de este nuevo método de transmisión en las comunicaciones.

La invención del láser en esta década fue el que condujo a la investigación de los cables transmisores de vidrio y con el estudio de Kao y Hockman en 1966 se produjo un antes y un después en la investigación de este material y la revolución de las comunicaciones. En el estudio se concluía que la atenuación observada hasta entonces en las fibras de vidrio, no se debía a mecanismos intrínsecos sino a impurezas originadas en el proceso de fabricación. Es por ello por lo que se ponen en marcha para sustituir electricidad y los conductores mecánicos por el vidrio y la luz, en cuanto a las líneas telefónicas se refiere. [20]

Este tipo de fibra óptica fue multimodo (MM), su característica es que permite muchos caminos de propagación o modos transversales y es de un diámetro de núcleo grande lo que permite transmitir en múltiples vías y con varias longitudes de onda de luz. Se usa para distancias cortas y para aplicaciones donde se requiere transmitir alta potencia, por ejemplo, la fibra al escritorio o el panel de conexión al equipo, datos y aplicaciones de audio/video en las LAN. Sigue siendo usada hoy en día y es una buena opción para redes de área local, es importante saber su uso y por eso creemos que se debe seguir usando en las prácticas de laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas.

Durante la década de los 70 se realizó un estudio el que originó que muchos físicos empezaran a investigar sobre la atenuación, por lo que durante toda esta la década hubo diversos experimentos y estudios en los que la atenuación iba bajando cada vez más. Todo ello hizo que la fibra óptica fuera mejorando su transparencia cuantas más investigaciones se hacían. ¿Cómo lo lograron? Creando la fibra óptica monomodo. En este tipo de fibra óptica sólo se propaga un modo de luz y se logró reduciendo el diámetro del núcleo de la fibra hasta un tamaño de 10 micras que solo permite un modo de propagación. Es por lo que su ventaja contra la fibra multimodo es el alcance. La fibra monomodo alcanza grandes distancias de hasta 400 km mediante un láser de alta intensidad y transmite a elevadas tasas de transmisión aproximados a 10 Gbps. [20]

2.1.1. Mediciones de Pérdida de Inserción de enlaces de fibra óptica:

El objetivo de la práctica es aprender a medir la atenuación de una fibra óptica por el método de las pérdidas de inserción. La atenuación se define como la relación entre las potencias ópticas a la entrada y a la salida de un enlace de fibra óptica, y existen tres métodos normalizados en las recomendaciones internacionales ITU-T e IEC para la medición de la atenuación, uno de esos es el de pérdidas de inserción, otro es el método de corte y el último es el método de retroesparcimiento. El método de pérdida de inserción se utiliza frecuentemente en instalaciones ya terminadas, cuando la fibra óptica está con los hilos conectorizados. [4]

El desarrollo de la práctica consiste en seleccionar el tipo de conector que se va a utilizar, verificando que estén en buenas condiciones para su uso. Se ocupa un conector APC para la fuente óptica y para el medidor de potencia óptica se utiliza un conector UPC, esto es debido al tipo de entrada que manejan los dispositivos, se debe recordar que todos los dispositivos son distintos y no todos tienen el mismo tipo de entrada, por lo que se debe tener siempre en cuenta antes de realizar una conexión. Después de esto se hace la medición mediante un jumper corto para medir la potencia de referencia, una vez obtenida la potencia de referencia se conecta la fuente y el medidor con la bobina de fibra óptica multimodo mediante un acoplador.

El desarrollo de la práctica nos permite aprender la medición y fibra multimodo, este tipo de fibra se utiliza en cortas distancias utilizadas, por ejemplo, en una red de área local.

Para tener más visibilidad del campo, proponemos agregar una fibra monomodo. Esta sería de al menos de una longitud de 15 kilómetros para tener un ejemplo de enlace utilizado en una red metropolitana. Esto sería posible utilizando un cable de 48 hilos con una distancia de al menos 100 metros y en los extremos de cada cable empalmar los hilos para armar el enlace.

2.1.2. Mediciones de OTDR de larga distancia

Esta práctica contiene los fundamentos teóricos bajo los cuales se efectúa el análisis de la atenuación en la energía cuando se propaga a través de una trama de fibra óptica, utilizando un OTDR (Optical Time Domain Reflectometer). Además, se muestran las herramientas y tipos de fibra óptica que fueron de gran utilidad para elaborar las actividades y obtener los resultados.

Su objetivo es aprender qué mediciones se pueden realizar con el equipo OTDR por el método de retroesparcimiento para identificar el estado del cable de fibra óptica, es decir, medir el coeficiente de atenuación a lo largo de una fibra óptica, pudiendo determinar la longitud de la misma, detectar la distribución de la atenuación a lo largo de la fibra óptica por la presencia de irregularidades ópticas y medir las pérdidas por conexiones, empalmes, interrupciones, etc., pudiendo localizarlas por la distancia. Otro objetivo es aprender a emplear el equipo OTDR como fuente óptica para la medición del ensanchamiento de los pulsos ópticos debido a la dispersión sufrida por la señal óptica.

De la misma forma, se da una introducción de lo que es un OTDR y su funcionamiento, que está basado en el esparcimiento de Rayleigh el cual consiste en inyectar un pulso de luz monocromático a la fibra óptica, cuando ha pasado por un acoplador óptico direccional para que este pulso no afecte al receptor. El pulso mandado se mide en función del tiempo y puede sufrir ciertas alteraciones, esto debido a que la fibra óptica puede tener irregularidades, curvaturas, empalmes, grietas, etc., esto se refleja en el OTDR como retroesparcimiento, zonas muertas y eventos.

En el desarrollo de la práctica se utiliza un carrete de fibra dual multimodo de aproximadamente 7.5 km arreglado con conectores ópticos tipo ST, un OTDR para fibra multimodo, y su respectivo material para la limpieza de conectores. Se comienza haciendo la limpieza de conectores del carrete y así conectarlo al OTDR, después se configura con ciertos parámetros y a ciertas longitudes de onda. Finalmente, se le pide al alumno comparar y analizar las mediciones de atenuación y los eventos que se ven en la pantalla.

Con nuestro trabajo proponemos utilizar este y otro OTDR portátil para fibra monomodo ya que se analizarán los eventos que ocurran en la conexión de una red de larga distancia. Además del material ya requerido, se utilizará un jumper con conectores SC – LC ya que con este haremos la conexión del OTDR con la red, de igual forma el alumno tendrá que hacer la limpieza de los conectores y tener la teoría necesaria para la utilización del OTDR para fibra monomodo.

Para tener más visibilidad del campo se propone agregar una fibra en medición monomodo que esté conectada a la Red Delta Metropolitana [27] para obtener las

pérdidas provocadas por los conectores en una cierta trama de esta red, ya que se tienen decenas de conectores (de distintos tipos) en toda la conexión que generan pérdidas en distintas tramas de la red. Con esto los estudiantes podrán tener una visión amplia de cómo se usa la fibra monomodo a grandes distancias en distintas partes de la red Delta Metropolitana instalada en la Ciudad de México.

2.1.3 Mediciones de OTDR para FTTH

Esta práctica está asociada al desarrollo de varios experimentos, cuyo tema central son los dispositivos y las características necesarias para establecer un enlace de fibra óptica hacia las casas. Se analizan los elementos característicos para dividir el enlace entrante hacia diferentes puertos correspondientes a los puntos de los hogares, así como sus efectos ante la variación de longitudes de enlace.

El objetivo de esta práctica es conocer los elementos que componen una red de FTTH para que pueda instalarlos, caracterizarlos y cambiarlos de ser necesario, localizar fallas que se pueden presentar dentro de una línea de FTTH para proceder a su reparación y medir la atenuación que existe en una línea de FTTH mediante el OTDR de manera que cumpla las recomendaciones publicadas por la organización internacional denominada ITU-T.

El material empleado en la práctica es el OTDR portátil para fibra monomodo, una maqueta de una línea de FTTH, acometidas de fibra óptica, fuente de luz visible y roseta óptica. La práctica tiene un cuestionario previo, el cual da una introducción al alumno de lo que es una red PON, la arquitectura de una red FTTH, dispositivos ópticos y sus características, y el funcionamiento de un OTDR.

Durante la práctica se da primero la teoría sobre FTTH y redes PON, luego se explican los elementos de una red de fibra óptica pasiva y los distintos acrónimos que hay dependiendo de la arquitectura de conexión de los usuarios en este tipo de red. Posteriormente se hacen dos experimentos, el primero basado en una arquitectura de red planteada en la práctica donde primero localizan los elementos de la red y hacen las conexiones necesarias con las indicaciones mencionadas en la práctica para su buen funcionamiento, luego se hacen las mediciones de atenuación y longitud de la fibra con el OTDR variando algunos parámetros como ancho de pulso, duración de la prueba y resolución, de modo que los resultados sean los más precisos posibles, estos resultados son analizados y comparados con los esperados que son longitud, pérdidas totales y pérdidas por cable.

En un segundo experimento se analizan los eventos, como: pérdidas por conectores, divisores, empalmes y distancia, pero desde la central y se determina cual es el mejor lugar para realizar las mediciones justificando su respuesta.

El diagnóstico es que esta práctica es muy importante para el alumno, ya que está basada en una aplicación profesional, sin embargo, el material que existe en el laboratorio ya cuenta con una maqueta de prueba con divisores y cables de fibra óptica simulando una red de Fibra a la Casa (FTTH).

2.2. Fibra óptica

En la actualidad existen distintos tipos de fibra óptica que se pueden clasificar por sus parámetros ópticos, geométricos y la aplicación que se requiere. Se pueden definir por su perfil de índice de refracción, el número de modos transmitidos y por los materiales con los que está construido para tener una composición específica.

El haz de luz que entra en una fibra óptica no cumple con las ecuaciones de Maxwell en el espacio libre debido a que esta propagación se realiza en un medio de transmisión limitado, una guía de onda. El haz de luz ingresa al núcleo de la fibra y no mantiene las posiciones relativas de los componentes de campos eléctrico y magnético, esto hace que no se puedan establecer ondas transversales a lo largo de la trayectoria que formen un ángulo con el eje del núcleo y de esta forma se propaga en una forma en especial que se conoce como distintos modos transversales electromagnéticos que se propagan en fibras multimodo. Las fibras multimodo se dividen en dos principales categorías: índice escalonado e índice gradual.

Las de índice escalonado fueron las primeras en diseñarse. El núcleo de este tipo de fibra está fabricado con un tipo de material óptico distinto al material que se usa en el revestimiento (cladding) ya que tienen características ópticas diferentes. En este tipo de fibra óptica viajan varios rayos ópticos simultáneamente, y se reflejan con diferentes ángulos sobre las paredes del núcleo, por lo que recorren diferentes distancias y se desfazan en su viaje dentro de la fibra, razón por la cual la distancia de transmisión es corta. Estas fibras tienen mayor atenuación y la información que viaja a través de ellas lo hace de forma lenta, por lo que no son útiles para muchas aplicaciones debido a la dispersión causada por las diferentes distancias que recorren los diferentes modos a través del núcleo. [24]

Las fibras de índice escalonado se utilizan muy poco; sólo las fibras de plástico (POF), las fibras de sílice con revestimiento rígido o de plástico, y de revestimiento de plástico sobre núcleo de vidrio (PCS/HCS) utilizan el diseño de índice escalonado hoy en día. La fibra de plástico (POF) se utiliza principalmente para transmisiones de audio y de televisión.

Las fibras multimodo de índice gradual utilizan variaciones en la composición del vidrio del núcleo para compensar las diferentes longitudes de las trayectorias de los modos; ofrecen un ancho de banda cientos de veces mayor que la fibra de índice escalonado; se utilizan dos tipos, de 50/25 μm y de 62.5/125 μm , en donde los

números representan los diámetros del núcleo y del revestimiento (cladding) en micrómetros, respectivamente. La fibra multimodo de índice gradual se utiliza principalmente para redes en planta interna, de área local, de fibra hasta el escritorio, de CCTV y de otros sistemas de seguridad.

Por otro lado, la fibra monomodo tiene un núcleo tan pequeño que la luz puede viajar solamente en un haz, esto aumenta el ancho de banda hasta hacerlo casi infinito. El núcleo de la fibra monomodo mide entre 8 y 10 micrómetros, y se le conoce como "diámetro de campo modal", es decir, el tamaño efectivo del núcleo y un revestimiento (cladding) de 125 micrometros de diámetro. [22]

La fibra monomodo se utiliza para redes en planta externa, por ejemplo, redes de telecomunicaciones, de FTTH, de televisión por cable, municipales y enlaces de datos de larga distancia como las de gestión de redes de servicios públicos. Algunas redes troncales (backbones) de alta velocidad, generalmente a nivel campus, utilizan fibras monomodo. [23]

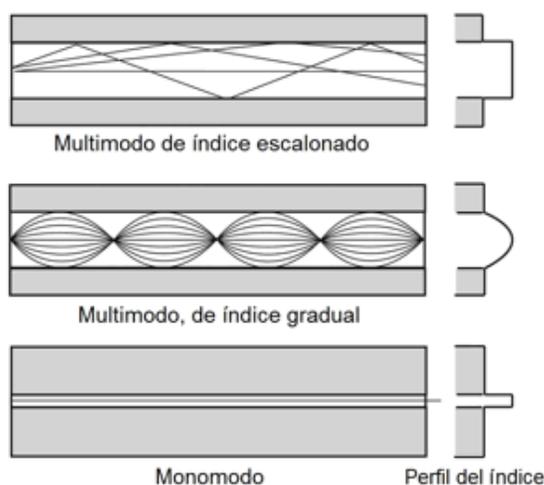


Figura 2.1 Perfil del índice en distintos tipos de fibra óptica. [24]

Por lo tanto, la clasificación general puede quedar de la siguiente mostrada en la Tabla 2.1.

CLASIFICACIÓN	TIPO DE F.O.
MATERIALES DIELECTRICOS	F.O. DE SILICIO F.O. DE VIDRIO F.O. DE PLÁSTICO
MODO DE PROPAGACIÓN	F.O. MONOMODO (SM) F.O. MULTIMODO (MM)
ÍNDICE DE REFRACCIÓN	F.O. ÍNDICE ESCALONADO F.O. INDICE GRADUAL

Tabla 2.1 Clasificación general de los tipos de fibra óptica. [4]

Los esfuerzos de estandarización iniciados en la década de los 70 dieron frutos en las recomendaciones de la UIT-T. Dentro del periodo de 1977-1980 la G.651 normalizó las fibras ópticas multimodo de 50/125 μm ; luego dentro del periodo de 1981-1984 la G.652 normalizó la fibra óptica monomodo y la G.956 los sistemas de línea. Las fibras ópticas monomodo para la tercera ventana se encuentran normalizadas en G.653/G.654/G.655.

En la tabla 2.2 se identifican distintos tipos de fibra óptica, las fibras de plástico, fibras multimodo para redes de datos, monomodo para redes de alta velocidad y algunos tipos de fibra óptica para aplicaciones especiales. En la tabla 2.3 se encuentran las características de las fibras ópticas definidas por la UI-T en la serie 65.x. [25]

TIPO	TIPO DE F.O.
FO PLÁSTICA	Trabajan a λ de 650 nm. Se utilizan en aplicaciones de audio y tiene dimensiones más grandes, 485/500 μm con una atenuación de 240 dB/Km; 735/750 μm con 230 dB/Km y 980/1000 μm con 220 dB/Km.
FO 62,5/125 μm	Es una FO multimodo MM con perfil de índice de refracción gradual (Graded Index). Este tipo de FO es una normalización norteamericana ANSI. Es usada en redes de datos de alta velocidad para conexiones dúplex en anillos. Se puede conectorizar mediante terminales ST o SC.
FO 50/125 μm	Esta es una FO multimodo MM con perfil de índice parabólico es normalizada por UIT-T G.651. Usadas en la actualidad en redes de datos de corta longitud (hasta 2 km). Fue la única FO disponible hasta inicios de los años 80. Se usaba en 850 o 1300 nm.
FO STD	Es del tipo monomodo SM (Single Mode) normalizada en UIT-T G.652. Se trata de la FO más popular en redes de telecomunicaciones actuales. Es factible usarse en 1300 y 1550 nm. Debido a la dispersión cromática esta FO está optimizada para el cero de dispersión en 1300 nm.
FO DS	Esta FO monomodo de dispersión desplazada DS (Dispersion Shift) se encuentra en UIT-T G.653. Permite gran ancho de banda en redes de larga distancia trabajando en la tercera ventana. Esta FO tiene el cero de

	dispersión cromática en 1540 nm. La dispersión tiene un valor de -2 a +2 ps/km*nm
FO MINIMUN LOSS	Es del tipo de monomodo con mínima atenuación. Es normalizada en UIT-T G.654. Se aplica para enlaces de muy larga distancia en 1550 nm. Es de aplicación limitada debido a la reducida performance en cuanto a la dispersión cromática. Normalmente no es aplicable para sistemas STM-16 a 2.5 Gb/s.
FO NZ-DS	(Non Zero- Dispersion Shift) determinada en UIT-T 655. Es normalizada en 1994 para 1550 nm. Mejora a la G.653 para aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda WDM. La mejora en la intermodulación pasa a ser de 25 dB para la G.653 a más de 50 dB en la G.655. La intermodulación es producida por alinealidades de la FO en altas potencias cuando se inyectan varias longitudes de onda de tipo WDM. El cero de dispersión cromática se encuentra en 1525 nm para las FO producidas por Lucent y en 1560 nm para las producidas por Corning. La dispersión se encuentra entre 2.,6 y 6 ps/km*nm entre 1530 y 1560 nm.

Tabla 2.2 Tipos de F.O. en el mercado internacional. [25]

EIA-492; ISO/IEC 793. FIBRA MULTIMODO 62,5/125.	
<ul style="list-style-type: none"> • Apertura numérica-----NA de 0.275 (tolerancia de 0.015) • Perfil de índice de refracción-----Parabólico (Graded index) • Índice de refracción-----1.9% • Diámetro del núcleo-----62.5 µm • Diámetro del revestimiento-----125 µm • Recubrimiento de silicona Coating-----245 µm • Longitud de onda de aplicación-----850 y 1300 nm • Atenuación a 850 nm-----Entre 3 y 3.2 dB/Km • Atenuación a 1300 nm-----Entre 0.7 y 0.8 dB/Km • Ancho de banda a 850 nm-----Entre 200 y 300 MHz*km • Ancho de banda a 1300 nm -----Entre 400 y 600 MHz*km 	
ITU-T (CCITT) G.651. FIBRA MULTIMODO 50/125.	
<ul style="list-style-type: none"> • Apertura numérica-----NA=0.18 a 0.24 (tolerancia 10%) • Perfil de índice de refracción-----Parabólico • Diámetro del núcleo-----50 µm, revestimiento 125 µm • Recubrimiento de silicona Coating-----245 µm • Error de concentricidad-----6% • Error de circularidad del núcleo-----6% • Error de circularidad del revestimiento----2% • Atenuación a 850 nm-----Entre 2.7 y 3 dB/Km • Atenuación a 1300 nm-----Entre 0.7 y 0.7 dB/Km • Ancho de banda a 850 nm-----Entre 300 y 500 MHz • Ancho de banda a 1300 nm-----Entre 500 y 1000 MHz 	
ITU-T G.652. FIBRA MONOMODO STANDARD.	
<ul style="list-style-type: none"> • Longitud onda corte-----1.18 A 1.27 µm • Diámetro del campo modal-----9.3 (8 a 10) µm 	

<ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del revestimiento-----125 μm • Recubrimiento de silicona Coating-----245 μm • Error de circularidad del revestimiento----2% • Error de concentricidad de campo modal-1 μm • Atenuación-----De 0.4 a 1dB/Km en 1300 nm; 0.25 a 0.5 dB/Km en 1550 nm. • Dispersión cromática 1285-1330 nm-----3.5 ps/km*nm • Dispersión cromática 1270-1340 nm-----6 ps/km*nm • Dispersión cromática 1550 nm-----20 ps/km*nm
<p>ITU-T G.653. FIBRA SM DISPERSION SHIFT.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del campo modal-----8 (7 a 8.3) μm • Diámetro del revestimiento-----125 μm • Recubrimiento de silicona Coating-----245 μm • Error de circularidad del revestimiento----2% • Error de concentricidad de campo modal-1 μm • Atenuación----- De 0.25 a 0.5 dB/Km en 1550 nm; inferior a 1 dB/Km en 1300 nm. • Dispersión cromática-----3.5 ps/km*nm entre 1525-1575 nm
<p>ITU-T G.654. FIBRA SM DE MINIMA ATENUACION</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del revestimiento-----125 μm • Error de circularidad del revestimiento----2% • Error de concentricidad de campo modal-1 μm • Atenuación inferior a-----0.15 a 0.25 dB/Km a 1550 nm • Dispersión cromática-----20 ps/km*nm
<p>ITU-T G.655. SM NON-ZERO DISPERSION SHIFT.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diámetro del campo modal-----8.4 μm. Núcleo de 6 μm • Diámetro del revestimiento-----125 μm • Longitud de onda de corte-----1260 nm • Atenuación-----Desde 0.22 a 0.30 dB/Km en 1550 nm • Dispersión cromática-----4.6 ps/km*nm • Zona de dispersión no – nula-----Desde 1540 a 1560 nm

Tabla 2.3 Características principales de Fibras Ópticas normalizadas. [25]

2.2.1. Características y parámetros

Dentro de las características de una fibra óptica, también encontramos las ventajas de utilizarla en comunicaciones con respecto a los medios de comunicación ya utilizados como cable coaxial o par trenzado, dichas características son las siguientes:

Atenuación

La atenuación es cualquier tipo de fenómeno que causa la disminución de la potencia de la señal propagada, pero no afecta su forma. La atenuación de la fibra se expresa en dB/km, este valor significa la pérdida de luz en un kilómetro.

Los factores que influyen en la atenuación se pueden agrupar en dos tipos. Las pérdidas por absorción del material de la fibra son debido a impurezas tales como iones metálicos, níquel variado, etc. ya que absorben la luz y la convierten en calor. El vidrio ultrapuro usado para fabricar las fibras ópticas es aproximadamente 99.9999% puro. Aun así, las pérdidas por absorción entre 1 y 1000 dB/Km son típicas.

Las pérdidas por dispersión (esparcimiento) se manifiesta como reflexiones del material, debido a las irregularidades submicroscópicas ocasionadas durante el proceso de fabricación y cuando un rayo de luz se está propagando choca con estas impurezas y se dispersa y refleja.

El desarrollo y la tecnología de fabricación de las fibras ópticas han sido para conseguir un menor coeficiente de atenuación, es por lo que una gran ventaja de la fibra óptica para comunicaciones es la baja pérdida de potencia al transmitir información, esto hace que se pueda ocupar en largas distancias sin necesidad de usar tantos repetidores.

Dispersión

La dispersión es la variación en la velocidad de grupo que provoca el ensanchamiento de los pulsos ópticos y por lo tanto limita la tasa de transmisión. El primer tipo de dispersión es la dispersión modal, en fibras multimodo no todos los rayos viajan con el mismo ángulo y es por lo que no llegan al final al mismo tiempo. El segundo tipo de dispersión es la dispersión cromática, la luz que se obtiene en un LED o en un láser no es monocromática, es decir, contiene varias longitudes de onda y la diferencia en velocidad que se presenta entre ellas hace que algunas señales se retrasen a pesar de viajar en el mismo haz de luz.

Apertura numérica

La apertura numérica corresponde a la propiedad de la fibra para recolectar luz y propagarla; depende de los índices de refracción del núcleo y de la cubierta, pero no de sus dimensiones. De eso se puede concluir que se puede aumentar la cantidad de luz que puede entrar en la fibra si se escogen los dos índices con mayor diferencia en el proceso de fabricación. De esta manera se puede disminuir las dimensiones de la fibra conservando su capacidad de recolectar la luz, con lo que se tiene la ventaja de hacerla flexible.

Diámetro

El conocimiento de las medidas del diámetro es de gran importancia debido a que varios parámetros en comunicaciones ópticas tienen que observar de manera directa o indirecta con las dimensiones de ésta. El haz coherente que ingresa al núcleo de la fibra no mantiene las posiciones relativas de los componentes de

campos E y H, por lo que pueden establecerse ondas totalmente transversales a lo largo de trayectorias que formen un ángulo con el eje del núcleo, con lo que se propaga en una forma especial que se conoce como distintos modos transversales electromagnéticos.

Si se considera una fibra por la que viaja un haz por su zona central, se puede deducir que una disminución del diámetro del núcleo (o su apertura numérica) irá haciendo progresivamente más difícil la dispersión del haz de entrada, con lo que se reducirá el número de modos posible a la salida, hasta llegar al que define una fibra de tipo monomodo. Por consiguiente, el valor del diámetro del núcleo de la fibra es de importancia fundamental.

2.2.2. Tipos de Cables de fibra óptica

En la actualidad existen distintos tipos de fibra óptica que contienen diferentes clasificaciones del hilo de fibra óptica que utilizan conforme ISO 11801:

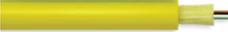
Clasificación ISO 11801	Color de forro del cable	Núcleo	Velocidad	Distancia	Fuente de luz
Monomodo OS1 OS2		9 um	Sin Limite		LASER
Clasificación ISO 11801	Color de forro del cable	Núcleo	Velocidad	Distancia	Fuente de luz
OM1		62.5 um	10/100	2 Km	LED
OM2		50 um	1 Gb	550 m	LED
OM3		50 um	10 Gb	300 m	VCSEL
OM4		50 um	40 Gb	150 m	VCSEL

Figura 2.2 Tipos de Cable por tipo de hilo de fibra óptica utilizado. [4]

También se pueden clasificar por el tipo de instalación para Planta Externa:

1.Armados.

2.Dielectricos.

3.Auto-Soportados.



Figura 2.3 Tipos de Cable por tipo de instalación en planta externa. [6]

2.2.2.1. Cables Armado

Enterrado directo en instalación subterránea:

- El cable es colocado directamente en una zanja.
- La zanja debe tener una profundidad mínima de 60 cm.
- Coloca cinta de advertencia 45 cm encima del cable.

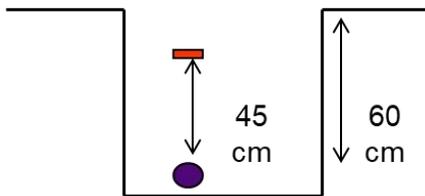


Figura 2.4 Instalación de Cable Armado. [4]

2.2.2.2. Cables Dieléctricos

Enterrado en ducto en instalación Subterránea:

- Ducto es colocado en una profundidad mínima de 60 cm.
- El ducto puede ser:
 - PVC pared gruesa

- Concreto
- Metal

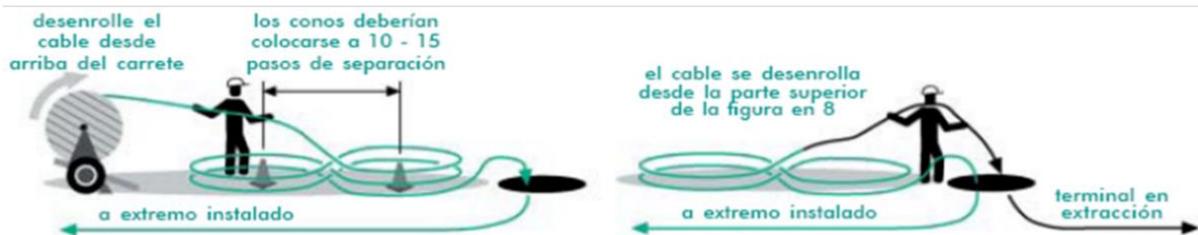


Figura 2.5 Instalación de Cable Dieléctrico. [4]

2.2.2.3. Cables Aéreos Auto-Soportados

Ventajas:

- Más económico de instalar
- Fácil para Mantenimientos y atención de fallas
- Fácil de mantener
- Cable es económico

Desventajas:

- Estética
- Sujeto a daños
- Susceptible al clima

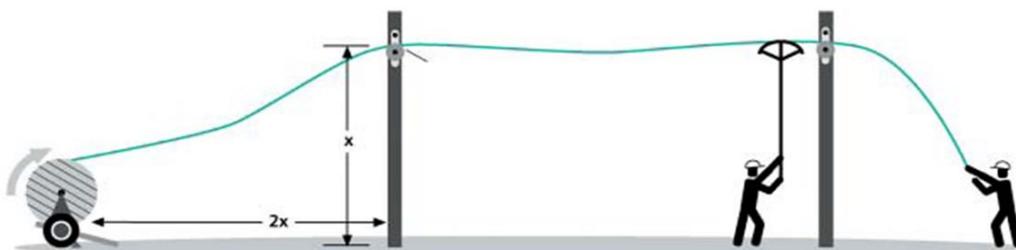


Figura 2.6 Instalación de Cable Aéreo Auto-Soportado. [4]

2.3. Equipos de medición y herramientas

Los equipos de medición de un sistema de fibra óptica son de vital importancia para establecer redes y mantener su fiabilidad. En la actualidad sin ellos no se podría crear un enlace seguro ya que no se contaría con las especificaciones necesarias para saber que está en buen funcionamiento. Es necesario establecer parámetros mínimos de mantenimiento y de pruebas para proporcionar una respuesta rápida y una gran fiabilidad.

Por otra parte, una vez instalado el enlace, su supervisión debe de realizarse sin interferir con la transmisión de los datos, es por eso necesario que las pruebas iniciales se hagan en fibras sin tráfico de señal.

También se requieren herramientas para empalmar la fibra en caso de que se rompa o se tengan que hacer derivaciones a nuevos servicios.

Estos equipos resultan necesarios en tareas de revisión y certificación de redes de fibra óptica, como principales equipos que utilizamos en este proyecto son los siguientes:

- Fuente de Luz y medidor de potencia
- Reflectómetro óptico
- Empalmadora de fusión
- Punta de inspección de conectores.

2.3.1. Fuente de luz y medidor de potencia

2.3.1.1 Fuentes de Luz

Las fuentes de luz simulan las señales de datos, video y voz ópticas, lo que las convierte en un componente básico de un proceso de prueba completo. Una fuente de luz óptica es un conversor electroóptico que genera un nivel de potencia óptica a la longitud de onda que se requiera, esto va a ser en consideración del uso de fibra óptica que se quiera usar o viceversa.

Las características que nos interesan en las prácticas de la fuente de luz son las siguientes:

- La potencia que se quiere utilizar
- El ancho espectral de la fuente
- La longitud de onda central

Principalmente se tienen tres tipos de fuentes que se utilizan en fibras ópticas para Telecomunicaciones:

- Fuentes de LED (Diodo emisor de luz)
- Fuentes de Fabry-Perot (Diodos Láser)
- Fuentes de DFB (Diodos Láser)

Fuentes de LED (Diodo emisor de luz)

Se considera que la fuente óptica es el componente activo de un sistema de comunicación por fibra óptica. Su función fundamental es convertir la energía eléctrica en forma de corriente en energía óptica (luz) de una manera eficiente que permita que la salida de luz sea lanzada o acoplada efectivamente a la fibra óptica.

El LED puede funcionar a densidades de corriente más bajas que el láser de inyección, pero los fotones emitidos tienen fases aleatorias y el dispositivo es una fuente óptica incoherente. Además, la energía de los fotones emitidos es solo aproximadamente igual a la energía de banda prohibida del material semiconductor, lo que da un ancho de línea espectral mucho más amplio (posiblemente por un factor de 100) que el láser de inyección.

El ancho de línea de un LED corresponde a un rango de energía fotónica entre 1 y 3,5 KT , donde K es la constante de Boltzmann y T es la temperatura absoluta. Esto proporciona anchos de línea de 30 a 40 nm para dispositivos basados en GaAs que funcionan a temperatura ambiente. Por lo tanto, el LED admite muchos modos ópticos dentro de su estructura y, por lo tanto, se usa a menudo como una fuente a fibras multimodo. Además, los LED tienen varios inconvenientes adicionales en comparación con los láseres de inyección. Éstos incluyen:

- Generalmente menor potencia óptica acoplada a una fibra (μW);
- Generalmente menor ancho de banda de modulación;
- Distorsión armónica.

Sin embargo, aunque estos problemas pueden parecer inicialmente que hacen del LED una fuente óptica menos atractiva que el láser de inyección, el dispositivo tiene una serie de ventajas distintas que le han dado un lugar destacado en las comunicaciones por fibra óptica.

- Fabricación más sencilla. No hay facetas de espejo y en algunas estructuras no hay geometría rayada.
- Costo. La construcción más simple del LED conduce a un costo muy reducido que siempre es probable que se mantenga.
- Fiabilidad. El LED no presenta una degradación catastrófica y ha demostrado ser mucho menos sensible a la degradación gradual que el láser de inyección. También es inmune a la auto pulsación y los problemas de ruido modal.

- Generalmente menor dependencia de la temperatura. La salida de luz contra la característica de corriente se ve menos afectada por la temperatura que la característica correspondiente para el láser de inyección. Además, el LED no es un dispositivo de umbral y, por lo tanto, el aumento de la temperatura no aumenta la corriente de umbral por encima del punto de funcionamiento y, por lo tanto, detiene el funcionamiento.
- Circuito de transmisión más simple. Esto se debe a las corrientes de accionamiento generalmente más bajas y a la menor dependencia de la temperatura, lo que hace que los circuitos de compensación de temperatura sean innecesarios.
- Linealidad. Idealmente, el LED tiene una salida de luz lineal en función de la corriente, a diferencia del láser de inyección. Esto puede resultar ventajoso en lo que respecta a la modulación analógica. [19]

Estas ventajas, combinadas con el desarrollo de dispositivos de ancho de banda relativamente alto y de alta radiación, han asegurado que el LED siga siendo una fuente ampliamente utilizada para las comunicaciones por fibra óptica.

Las estructuras fabricadas con el sistema de material GaAs / AlGaAs están bien probadas para su funcionamiento en la región de longitud de onda más corta. Además, ha habido avances sustanciales en dispositivos basados en la estructura del material InGaAsP / InP para su uso en la región de longitud de onda más larga, especialmente alrededor de 1,3 μm .

A esta longitud de onda, la dispersión del material en las fibras de vidrio de sílice pasa por cero y, por lo tanto, el ancho de línea más amplio del LED impone una limitación mucho menor en la longitud del enlace que la dispersión intermodal dentro de la fibra multimodo. Además, la atenuación reducida de la fibra a esta longitud de onda operativa puede permitir sistemas LED de mayor recorrido.

Fuentes de Fabry-Perot (Diodos Láser)

Las propiedades electroluminiscentes del diodo de unión p – n polarizado hacia adelante se han considerado en las secciones anteriores. La emisión estimulada por la recombinación de los portadores inyectados se fomenta en el láser de inyección de semiconductores (también llamado diodo láser de inyección (ILD) o simplemente láser de inyección) mediante la provisión de una cavidad óptica en la estructura cristalina para proporcionar la retroalimentación de fotones. Esto le da al láser de inyección varias ventajas importantes sobre otras fuentes de semiconductores (por ejemplo, LED) que pueden usarse para comunicaciones ópticas. Estos son los siguientes:

- Gran luminosidad debido al efecto amplificador de la emisión estimulada. Los láseres de inyección generalmente suministrarán mW de potencia de salida óptica.
- Ancho de línea estrecho del orden de 1 o menos, lo cual es útil para minimizar los efectos de la dispersión del material.
- Capacidades de modulación que actualmente se extienden hasta el rango de gigahercios y sin duda serán mejoradas.
- Coherencia temporal relativa, que se considera esencial para permitir la detección heterodina (coherente) en sistemas de alta capacidad, pero que actualmente se utiliza principalmente en sistemas monomodo.
- Buena coherencia espacial que permite enfocar la salida con un lente en un punto que tiene una intensidad mayor que la emisión desenfocada dispersa. Esto permite un acoplamiento eficiente de la potencia de salida óptica en la fibra incluso para fibras con baja apertura numérica. La coincidencia de pliegues espaciales con la fibra óptica que se puede obtener con la fuente láser no es posible con un emisor incoherente y, en consecuencia, las eficiencias de acoplamiento se reducen mucho.

Los primeros láseres de inyección tenían la forma de una cavidad de Fabry-Pérot, a menudo fabricada en arseniuro de galio, que era el principal semiconductor compuesto III-V con propiedades electroluminiscentes en la longitud de onda adecuada para los sistemas de primera generación.

La estructura básica de este dispositivo de homounión se muestra en la Figura 1.7, donde los extremos hendidos del cristal actúan como espejos parciales para estimular la emisión estimulada en la cavidad cuando se inyectan electrones en la región de tipo p.

Sin embargo, como se mencionó anteriormente, estos dispositivos tenían una densidad de corriente de umbral alto (superior a 10^4 A cm⁻²) debido a su falta de contención de portadores y demostraron ser fuentes de luz ineficientes. Las altas densidades de corriente requeridas dictaron que estos dispositivos, cuando se operaban a 300 K, se utilizaban en gran medida en modo pulsado para minimizar la temperatura de unión y así evitar daños.[19]

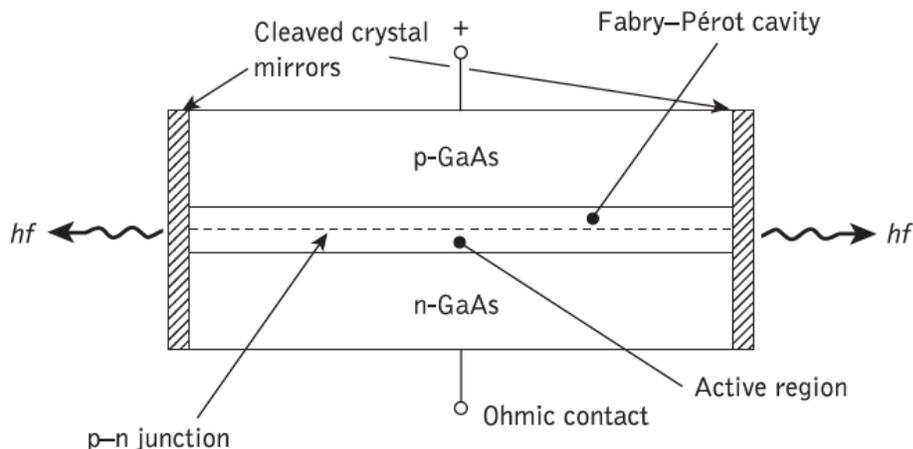


Figura 2.7 Diagrama esquemático de un láser de inyección de homounión de GaAs con una cavidad de Fabry-perot. [19]

Fuentes de DFB (Diodos Láser)

Un enfoque elegante para la operación de frecuencia única que ha encontrado una aplicación generalizada implica el uso de resonadores distribuidos, fabricados en la estructura del láser para proporcionar selectividad de longitud de onda integrada. La estructura que se emplea es la rejilla de difracción de Bragg distribuida que proporciona una variación periódica en el índice de refracción en la guía de ondas de heteroestructura láser a lo largo de la dirección de propagación de la onda, de modo que la retroalimentación de la energía óptica se obtiene a través de la reflexión de Bragg en lugar de los espejos hendidos habituales.[19]

Por lo tanto, la estructura de rejilla ondulada que se muestra en la Figura 2.8 (a) determina la longitud de onda de la emisión en modo longitudinal en lugar de la curva de ganancia de Fabry-Pérot que se muestra en la Figura 2.8 (b). Como se puede observar en la Figura 2.8 (a), este modo particular será láser mientras que los otros modos que exhiben pérdidas más altas se suprimen de la oscilación.

Desde el punto de vista del funcionamiento del dispositivo, los láseres semiconductores que emplean el mecanismo de retroalimentación distribuida se pueden clasificar en una amplia categoría, denominada láser de retroalimentación distribuida (DFB). En el láser DFB, la rejilla óptica se aplica generalmente sobre toda la región activa que se bombea

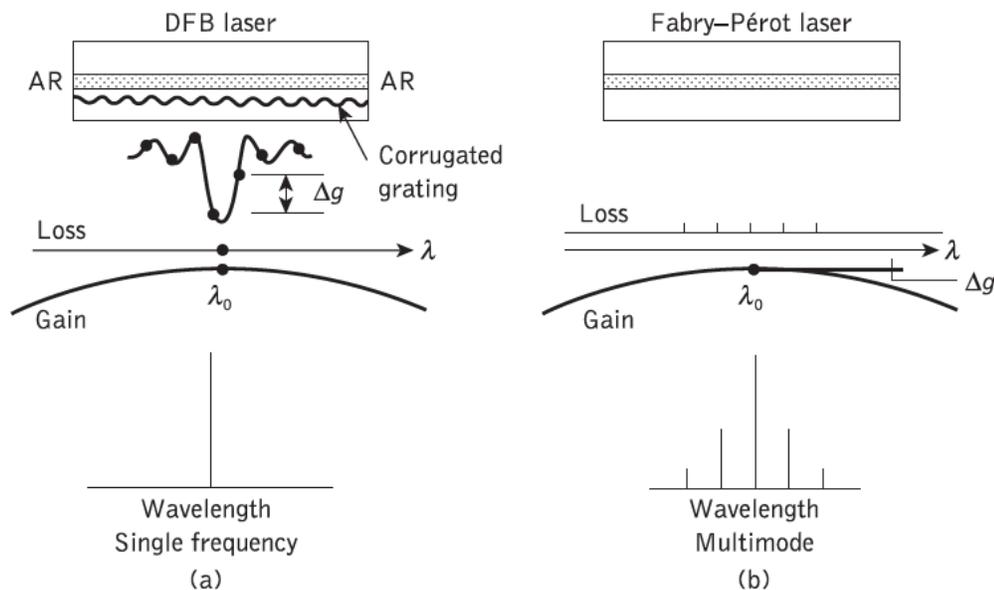


Figura 2.8 Ilustración que muestra el funcionamiento de frecuencia única de (a) el láser de retroalimentación distribuida (DFB) en comparación con (b) el láser Fabry-Pérot. [19]

En particular, los láseres DFB se han desarrollado en muchos laboratorios, que exhiben corrientes de umbral bajo (10 a 20 mA), velocidades de modulación altas (varios Gbps) y potencias de salida comparables con dispositivos Fabry-Pérot con geometrías similares y opera perfectamente en la longitud de onda de 1550 nm.

2.3.1.2. Medidor de potencia óptica

Los medidores de potencia son de gran importancia para el trabajo en telecomunicaciones, se puede considerar específicamente como una caja de herramientas fundamental para todos los técnicos que se dedican a instalar o mantener todo tipo de redes de fibra.

El funcionamiento de un medidor de potencia mide la intensidad de luz de una señal óptica, para ser más específicos la diferencia del punto en que la iluminación empieza a aumentar hasta el punto en que esta llega a su pico y es una gran herramienta para cuando se quiere hacer un ajuste de potencia.

Las aplicaciones típicas de esta herramienta son las siguientes:

- Mediciones de potencia del transmisor (dBm y W)
- Prueba de pérdida de inserción de enlace de fibra o componentes ópticos (dB)

Para el uso de esta herramienta se es necesario tener sus precauciones y seguir las indicaciones que se encuentran en su respectivo manual.

Principalmente se tienen dos tipos de sensores utilizados en los medidores de potencia:

- Medidor con Detector de INGaAs: estos tienen un nivel bajo de ruido a temperatura ambiente, una buena uniformidad de respuesta superficial y un amplio rango dinámico. Por estos motivos son los elementos detectores por excelencia en instrumentos de medida de la radiación óptica en el intervalo comprendido entre 800 nm y 1600 nm [9]
- Medidor con Detector de Ge: al igual que el detector de INGaAs es muy bueno para ser un instrumento de medida de la radiación óptica, sin embargo, su nivel de ruido no es tan bajo como el de INGaAs.

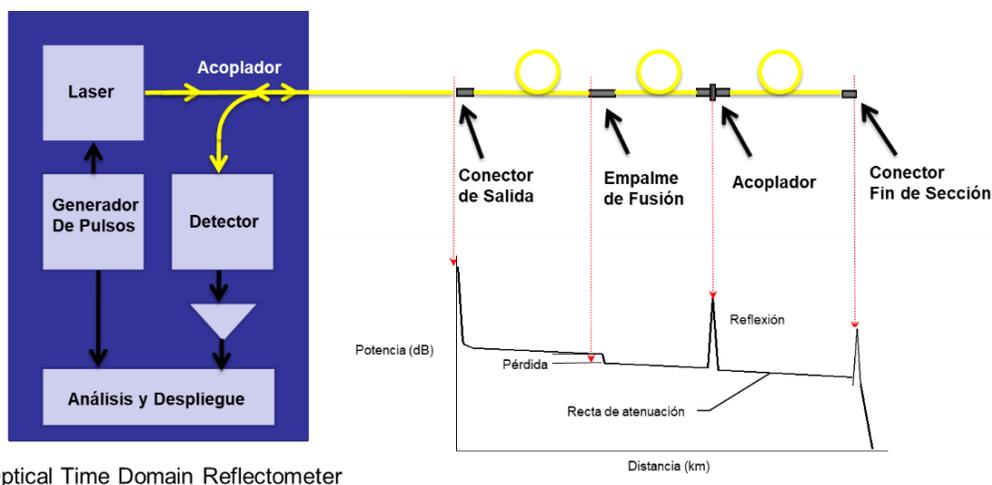
En el campo de las telecomunicaciones por fibra óptica los medidores de potencia óptica utilizan fotodiodos de Ge e InGaAs, debido a que su sensibilidad abarca las longitudes de onda a las cuales se transmite la señal (generalmente en las ventanas de 850 nm, 1 300 nm o 1 550 nm, según el tipo de fibra óptica utilizada) [8].

2.3.2. Reflectómetro Óptico (OTDR)

Un Reflectómetro óptico es una herramienta que permite la medición de atenuación CON respecto a la longitud de la fibra óptica mediante un tren de pulsos cortos y de alta potencia que viajan a través de la fibra óptica de un extremo al otro. Su funcionamiento está basado en el esparcimiento de Rayleigh y consiste en inyectar un pulso monocromático a la fibra óptica que ha pasado por un acoplador óptico direccional en la entrada de la fibra óptica y que hará que dicho pulso luminoso no afecte al receptor. En toda la trayectoria el pulso sufrirá irregularidades, ondulaciones, curvaturas, empalmes, conectores, agrietamientos, reflexiones en el extremo final, etc., lo cual se verá reflejado al tenerse una pérdida de potencia luminosa, es decir, se presentará una atenuación.

Cuando el pulso regresa al equipo incidiendo sobre el acoplador óptico direccional, hará que el pulso llegue al foto-receptor donde se convertirá en una señal eléctrica, se amplifica y se procesa para poder visualizar los resultados obtenidos en dicho viaje de luz.

Los bloques básicos de un Reflectómetro óptico se ven mostrados en la Figura siguiente.



Optical Time Domain Reflectometer

Figura 2.9 Bloques básicos de un Reflectómetro óptico. [4]

1. Fuente de emisión de pulsos láser.
2. Acoplador óptico direccional.
3. Conector de salida de fibra óptica.
4. Detector.
5. Amplificador.
6. Microprocesador.
7. Pantalla.

Con esta información se puede determinar que un Reflectómetro óptico (OTDR) mide la atenuación de un enlace, determina las pérdidas por empalmes, conectores y defectos; puede determinar la longitud de la fibra óptica y del mismo modo localiza dónde están los empalmes, conectores y defectos.

Los OTDR son muy utilizados para evaluación, instalación, activación, mantenimiento y monitoreo de las redes de fibra óptica que se utilizan para las comunicaciones. [4]

A continuación, se mencionan algunos de los términos más utilizados en el análisis que se realiza con el equipo de Reflectómetro óptico (OTDR).

Retro esparcimiento. Es la señal proveniente de la misma fibra ocasionada por el esparcimiento de Rayleigh debido a pequeños cambios en el índice de refracción del material, reflejándose una parte de la señal al OTDR causando un nivel de retro esparcimiento. Al medir este valor, el OTDR puede determinar las pérdidas introducidas a lo largo de la fibra por los cambios en el nivel de dicho valor. [2]

Rango dinámico. Este valor se refiere a la distancia dentro de la fibra en la que el OTDR puede medir. Si el OTDR no tiene un rango dinámico amplio, el nivel de retro esparcimiento alcanzará el nivel de ruido y eventos pequeños como los empalmes por fusión pueden permanecer ocultos. [2]

Resolución. Es la exactitud de la localización de los eventos en la fibra óptica o la medida de longitud del segmento de fibra óptica. [2]

Zonas muertas. Es la longitud de fibra que no puede ser analizada debido a que las reflexiones causadas por las conexiones y empalmes mecánicos tienden a saturar el receptor del OTDR. Lo mejor para un OTDR sería tener una zona muerta lo más pequeña posible, para lo cual se puede modificar el ancho del pulso emitido, lo que también afectará el rango dinámico. [2]

Eventos. Son fenómenos o procesos que ocurren dentro de la fibra, que modifican la forma de propagación de la luz y que se pueden detectar. [2]

Eventos reflexivos: Los conectores, empalmes mecánicos y fisuras en la fibra producen tanto pérdidas como reflexiones. Se presentan cuando existe una discontinuidad abrupta en el índice de refracción. Estos eventos se identifican fácilmente por un pico, seguido de una atenuación. Las pérdidas se determinan por la diferencia de retro esparcimiento, mientras las reflexiones se determinan por la amplitud de la reflexión por encima del retro esparcimiento. [2]

Eventos no reflexivos: Los empalmes por fusión y los dobleces producen pérdidas, pero no reflexiones ya que se despliegan en la pantalla del OTDR como una caída repentina de retro esparcimiento. También se les conoce como eventos tipo escalón. [2]

Evento positivo: Indica una ganancia aparente, pero es debida a la unión de dos segmentos de fibra con coeficientes de difusión de Rayleigh diferentes. [2]

Fibra continua: Aparece cuando el rango definido es más corto que la fibra bajo prueba. [2]

Final de prueba: Sucede cuando el ancho del pulso no tiene un rango dinámico suficientemente grande como para llegar al final de la fibra. [2]

Segmento de fibra: Es una región sin eventos. [2]

2.3.3. Empalmadora de Fusión

La forma más eficiente y más utilizada hoy en día para unir fibras ópticas es mediante empalmes por fusión, para esto son necesarias las empalmadoras de fusión, estas empalmadoras son herramientas que se encargan de todo el proceso de la unión de las fibras, pero antes de esto, depende de la persona preparar la fibra, es decir, se debe de hacer un corte recto perpendicular, sin astillas o defectos en la superficie a unir y limpiar dicha superficie con alcohol isopropílico para quitar polvo o grasa para que la empalmadora de fusión trabaje correctamente.

El empalme por fusión se basa en que, al unir las puntas de la fibra, se calentarán a cierta temperatura para que al suavizarse y unir las puntas se fusionen.

Para una fusión óptima ambas caras deben estar lisas, tener un ángulo menor a 3° y se debe hacer una prueba antes de empalmar con el arco eléctrico ya que de no ser así es seguro que la fibra óptica sufra daños o el empalme no se haga de forma correcta.

En la Figura 2.8 y 2.9 se muestran los elementos principales de una empalmadora.

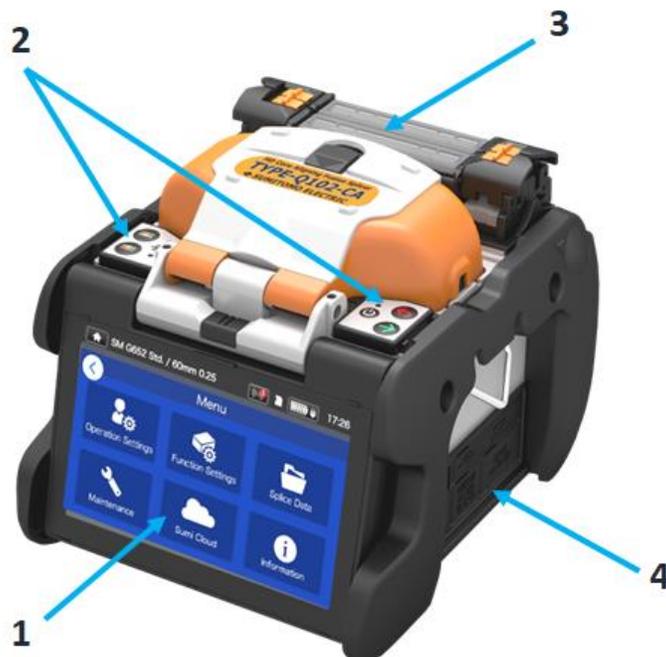


Figura 2.10 Componentes de una Empalmadora. [4]

1. Pantalla Táctil
2. Botones de funciones
3. Doble horno independiente
4. Batería

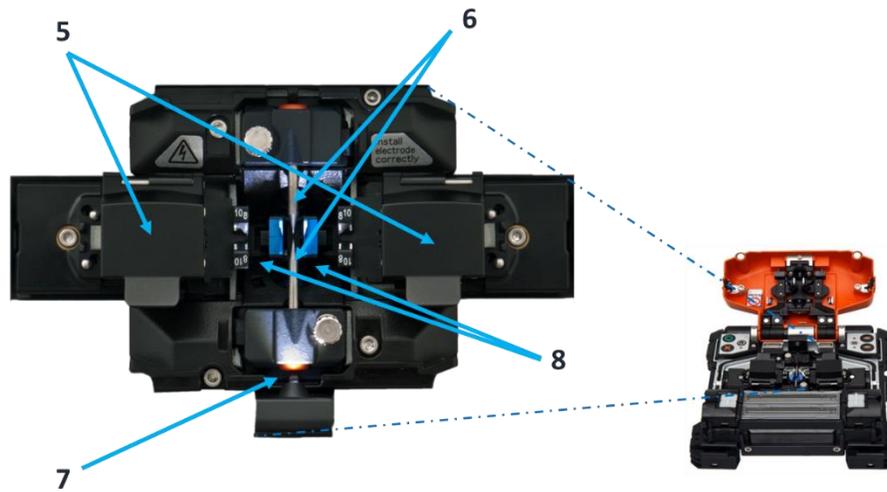


Figura 2.11 Componentes de una Empalmadora (Continuación). [4]

- 5. Sujetadores de Fibra
- 6. Electrodos
- 7. LED de iluminación
- 8. Microscopios



Cortadora de precisión



Pinzas para pelar fibra óptica
3 posiciones



Alcohol y toallas de
limpieza

Figura 2.12 Componentes de una Empalmadora (Continuación). [4]

Para la realización de este trabajo utilizamos la empalmadora por fusión Modelo Type-55 y Modelo Type-56 de la Marca Sumitomo Electric Lightwave, ya que nos permite empalmar las fibras de forma óptima, tiene una pantalla táctil y dos microscopio en los cuales podemos inspeccionar la fibra óptica y observar la alineación de ellas, si las puntas de la fibra óptica están listas la unión entre ellas se hará de forma correcta, de no ser así, la empalmadora mandará un mensaje diciendo que no se puede hacer el empalme y se tendrá que preparar la fibra de nuevo.

Al término de la fusión de las fibras es necesario colocar una manga de empalme la cual recubrirá la fibra recién empalmada y así evitar que la fibra se fracture y se eche a perder el empalme. Para esto debe de pasar esta fibra a al horno que tiene la empalmadora, sólo se debe de colocar la manga en el punto de fusión de las fibras y presionar el botón de calentado. La empalmadora hará el proceso, al término se escuchará un sonido el cual avisará que ha terminado y la fibra estará lista.

2.3.4. Punta de inspección de conectores (microscopio)

La punta de inspección de conectores o microscopio nos permite de una forma sencilla y rápida verificar que todas las conexiones de la red se encuentran en buen estado. Este microscopio de fibra inteligente evita las conjeturas a la hora de inspeccionar la fibra y proporciona un análisis PASA/FALLA fiable y objetivo para determinar si las fibras que conectan a los clientes a su red son aptas o no, con el fin de ofrecer el mejor rendimiento posible al usuario.

Sus aplicaciones principales son para garantizar el rendimiento en el nivel físico asegurándose de que la conectividad de la fibra cumpla con los estándares. Podemos medir la potencia óptica, analizar y clasificar las imágenes de las terminaciones de fibra y obtenga resultados tipo PASA/FALLA de acuerdo con los criterios previamente configurados.



Figura 2.13 Componentes de una Empalmadora (Continuación). [4]

2.4. Conectores Ópticos

Específicamente en el campo de la fibra óptica existen varios tipos de conectores, los más conocidos son: ST (Straight Tip Bayonet Connector), SC (Subscriber Connector), FC (Fiber Connection), MPO (Multiple-Fiber Push-On/Pull-off) y LC (Lucent Conector). [7]

A la hora de trabajar con cualquier tipo de conector, es de vital importancia el ser cuidadoso ya que de no ser así estos podrían rayarse o ensuciarse y causar pérdidas, cuando los conectores no se estén ocupando es necesario que se le coloque una cubierta protectora para evitar tales daños.

2.4.1 Ópticos Mecánicos

Un conector óptico mecánico es una herramienta la cual permite conectorizar una fibra sin necesidad de una empalmadora, solo es necesario utilizar una cortadora y las piezas que componen el conector. Este tipo de conectores tienen el inconveniente de estar sujetos a la habilidad de técnico que lo arma y pule. [5]



Figura 2.14 Conectores mecánicos. [5]

2.4.2 Conectores Ópticos basados en empalme de fusión de fibra óptica

Un conector óptico basado en empalme es la nueva tecnología que reduce las pérdidas en los conectores ya que la terminación no depende de ningún técnico, las puntas vienen pre-cortadas y pre-pulidas, la única pérdida que tienen es la que se obtiene al realizar el empalme del conector con la fibra. [5]

Los conectores Lynx son un tipo de conector de fibra óptica de empalme totalmente integrador que permite terminaciones de campo permanentes FTTx, de forma personalizada, rápida, fácil y confiable, además de esto es compatible con todos los conectores de fibra óptica que existen en el mercado.

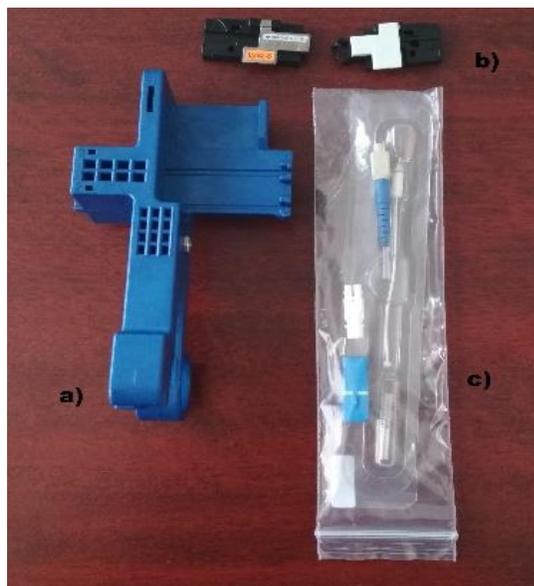


Figura 2.15 Equipo para realización de Lynx a) Pinza peladora b) Acopladores c) Conector. [5]

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y PROPUESTA DE METODOLOGÍA DE SOLUCIÓN

Las redes de comunicaciones de fibra óptica exigen el máximo desempeño para ofrecer servicios de calidad, que permitan cubrir el aumento de demanda de ancho de banda para los nuevos servicios requeridos por la población, por ejemplo, videojuegos, seguridad, Internet de las Cosas, etc. Existen múltiples variables que pueden interferir en esta calidad y una de las más importantes es la infraestructura, en varios años de estar instalada, al inicio no existían las tecnologías de hoy en día ni las clases de servicio requeridas en la actualidad.

La propuesta de la infraestructura adecuada utilizando el tipo de cable de fibra óptica que cumpla con los requerimientos del sistema, las nuevas tecnologías de conectorización y distribución en los puntos de conexión, es parte primordial para disminución de problemas de desempeño y limitaciones de los alcances de las comunicaciones afectando los presupuestos de potencia, latencia y anchos de banda.

En este trabajo se realizará un análisis de algunos tipos de cables de fibra óptica, así como de conectores y distribuidores que se encuentran en el mercado y las herramientas para instalarlos. Después del análisis se propondrá la solución para el enlace requerido en el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas en la Facultad de Ingeniería de la UNAM en la Ciudad de México. Las ventajas de hacer este trabajo es que el laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas se va a modernizar y eso hará que los futuros alumnos de la carrera de telecomunicaciones puedan realizar sus prácticas de una forma innovadora en comparación con las que se tenían.

3.1. Análisis de los requerimientos de las prácticas de mediciones de fibra óptica

Hoy en día, dentro de las prácticas del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas, se utiliza la fibra multimodo debido a que se tienen 2 carretes, uno de 700 metros y otro de 7 kilómetros que funcionan para explicar de forma visual cómo está constituido este tipo de fibra óptica y para caracterizar la fibra en dispersión y atenuación. Por otro lado, se debe enfatizar en las ventajas de la fibra óptica monomodo debido a que alcanza grandes distancias, la desventaja es que no se tiene la infraestructura necesaria dentro del laboratorio para poder llevar a cabo de una manera exitosa este tipo de prácticas con fibra monomodo.

Nuestro objetivo es modernizar las prácticas que utilizan fibra óptica multimodo y añadir nuevas actividades para poder trabajar con fibra óptica monomodo; para ello, se necesita analizar de una manera minuciosa las prácticas de mediciones de fibra óptica. Las prácticas que serán beneficiadas serán las siguientes:

- Mediciones de Pérdida de Inserción de enlaces de fibra óptica.
- Medición de la atenuación por el método de retro esparcimiento (OTDR).
- Verificación con OTDR de instalación de enlaces de fibra óptica de redes de fibra a la casa (FTTH/PON).

Y además de mejorar estas prácticas para que se tenga una mayor comprensión respecto a los distintos tipos de fibra óptica, se haría una propuesta de 2 protocolos de nuevas prácticas que se enfoquen principalmente en el uso de la fibra óptica monomodo y en una nueva tecnología aplicada a conectores, las prácticas serán:

- Conectores basados en empalme.
- Activación de servicios Gb Ethernet.

4. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE ÓPTICO DE 2MM SIMPLE

El análisis e instalación del enlace con cable óptico de 2mm simple se realizó con el objetivo de conectar al Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas a la Red Delta Metropolitana.

La Red Delta Metropolitana consiste en la infraestructura de fibra óptica y equipo activo de red que interconecta a las tres instituciones participantes en LANCAD:

- Clúster Xiuhcóatl del CINVESTAV
- Clúster Yoltla de la UAM
- Clúster Miztli de la UNAM

La capacidad de la fibra óptica es de 72 hilos, que están instalados en los túneles del Sistema de Transporte Colectivo (STC) – METRO de la Ciudad de México. La fibra transcurre por parte de las líneas 3, 5, 7 y 9 del STC. Actualmente su capacidad de transmisión es de 720 Gigabits por segundo (Gbps).

La conexión de los centros de supercómputo requirió del suministro e instalación de cable de fibra óptica de 72 hilos en los túneles del Sistema de Transporte Colectivo (STC)-METRO de la Ciudad de México. La instalación de la fibra óptica y el equipo activo de red que sustentan la operación de la Delta Metropolitana, fueron adquiridos y supervisados por las tres instituciones con el apoyo del SCT de la Ciudad de México. El siguiente diagrama muestra la trayectoria de la infraestructura que constituye la red:
[27]

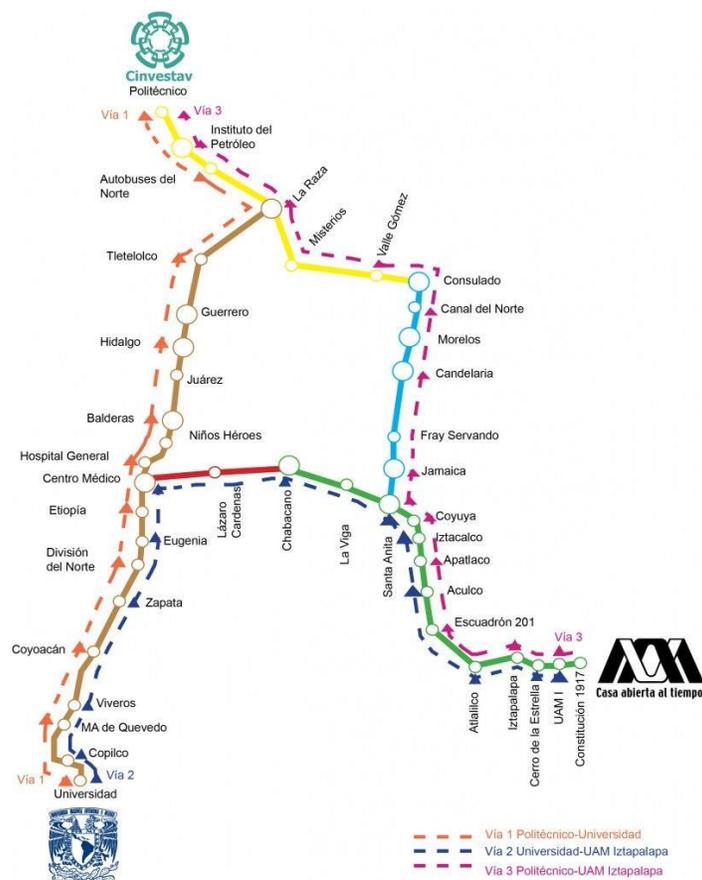


Figura 4.1 Infraestructura de la RED DELTA METROPOLITANA. [27]

El cable óptico de 2mm es utilizado en enlaces de última milla, esto quiere decir que se usa en los últimos metros en diversas instalaciones debido a que este cable como su nombre lo indica, es delgado y más fácil de manipular en pequeños espacios. En este proyecto utilizamos este tipo de cable para el tramo de última milla de la red delta metropolitana conectada al laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas, instalamos dos cables para la transmisión y recepción de datos, de este modo, los estudiantes de la facultad de ingeniería podrán realizar las prácticas de laboratorio que son las siguientes:

- Medición con OTDR a larga distancia.
- Medición de la atenuación por el método de retro esparcimiento.
- Verificación con OTDR de instalación de enlaces de fibra óptica de redes de fibra a la casa (FTTH/PON).
- Conectores basados en empalme.
- Activación de servicios Gigabit Ethernet.

De este modo, los alumnos del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas tendrán un mejor aprendizaje y verán un panorama de lo que se podrán encontrar en el campo laboral.

Para esta instalación hicimos un enlace de 2 cables de 2mm con un hilo de fibra óptica monomodo de aproximadamente 45 metros. Este enlace va del laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas al aula UNAM Mobile y finalmente a la Red Delta Metropolitana. Este enlace termina en un conector LC a base de empalme por fusión que está instalado a un distribuidor con panel de conectores con 2 salidas a ambos laboratorios del Departamento de Telecomunicaciones para realizar las prácticas mencionadas.

4.1. Características del tipo de cable

Los dos enlaces que implementamos son de aproximadamente 45 metros cada uno. La distancia que existe entre el laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas y el aula de UNAM Mobile es de aproximadamente 30 metros, decidimos dejar 15 metros de guarda por si en algún momento deciden mover de lugar el rack o panel de conectores y así el enlace no sufra daños, el sobrante quedó depositado en la charola del distribuidor del aula de UNAM Mobile.



Figura 4.2 Distribuidor y panel de conectores del Aula de UNAM Mobile.

El cable que utilizamos para este enlace fue el resultado de empalmar varios cables ópticos de 2mm (jumpers) de fibra monomodo de diferentes longitudes, las características del tipo de cable que utilizamos para este enlace a la Red Delta Metropolitana fue la fibra óptica monomodo G652D, sus especificaciones se muestran en la tabla 4.1.

Tabla 2-ITU-T-Atributos G.652.D		
Atributos de la fibra		
Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310 nm
	Gama de valores nominales	8, 6-9.2 μm
	Tolerancia	$\pm 0.4 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 0.7 \mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máximo	0.6 μm
No circularidad del revestimiento	Máximo	1.0 %
Longitud de onda de corte del cable	Máximo	1260 nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30 mm
	Número de vueltas	100
	Máximo a 1625 nm	0.1 dB
Prueba de tensión	Mínimo	0,69 Gpa
Coeficiente de dispersión cromática 3-termino de venta apropiado (1260 nm a 1460 nm)	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	Somin	0.073 $\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{Km})$
	Somax	0.092 $\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{Km})$
Prueba lineal (1460 nm a 1625 nm)	Mínimo a 1550 nm	13.3 $\text{ps}/(\text{nm} \times \text{Km})$
	Máximo a 1550 nm	18.6 $\text{ps}/(\text{nm} \times \text{Km})$
	Mínimo a 1625 nm	17.2 $\text{ps}/(\text{nm} \times \text{Km})$
	Máximo a 1625 nm	23.7 $\text{ps}/(\text{nm} \times \text{Km})$
Atributos del cable		
Atributo	Dato	Valor
Coeficiente de atenuación	Máximo de 1310 nm a 1625 nm (Nota 2)	0,4 dB/Km
	Máximo de 1383 nm \pm 3 nm después de envejecimiento por hidrogeno (Nota 3)	0.4 dB/Km
	Máximo a 1530-1565 nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0.01%
	PMD_Q máximo	0,20 ps

Tabla 4.1 Atributos de Fibra recomendación G.652D aprobada en 2016-11-13. [10]

Considerando los datos de la tabla 4.1 y la longitud de nuestro enlace vemos que la atenuación de nuestro enlace es muy baja, ya que las atenuaciones están en la escala de dB/Km y nuestro enlace es de 45 metros..

Al diseñar este enlace y conectarlo a la Red Delta Metropolitana los alumnos podrán visualizar valores en tiempo real y lo más importante es que aprenderán a homologar una fibra tal como se hace en el ámbito laboral, esto dando a los alumnos las herramientas para salir mejores capacitados y con una preparación más integral.

4.2. Conectores y elementos de red seleccionados

Para la instalación del enlace utilizamos dos *racks* los cuales colocamos, uno en el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas y el segundo en el aula de UNAM Mobile, con la finalidad de tener un lugar fijo en donde dejar nuestro enlace y para disminuir posibles daños.



Figura 4.3 Rack de UNAM Mobile.



Figura 4.4 Rack del laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas.

En ambos *racks* colocamos un distribuidor (*patch panel*) con conectores LC, en el aula UNAM Mobile para la conexión del laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas y la red delta metropolitana; y para el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas para que los alumnos puedan realizar sus prácticas de una forma en la que no dañen el enlace ya que no tendrán que mover ningún cable, simplemente conectarse a partir de un *jumper*.



Figura 4.5 patch panel con conectores LC.

Como se observa en las Figuras 4.3 y 4.4, para la conexión de los paneles entre el Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas y el aula UNAM Mobile se utilizaron conectores tipo LC a base de empalme por fusión, estos tienen la característica de ser los conectores más confiables y de facilidad y rapidez de empalmar, además que la única pérdida que tienen es la del empalme con la fibra óptica ya que no hay una persona de por medio que realice la conexión físicamente, como se mencionó anteriormente.

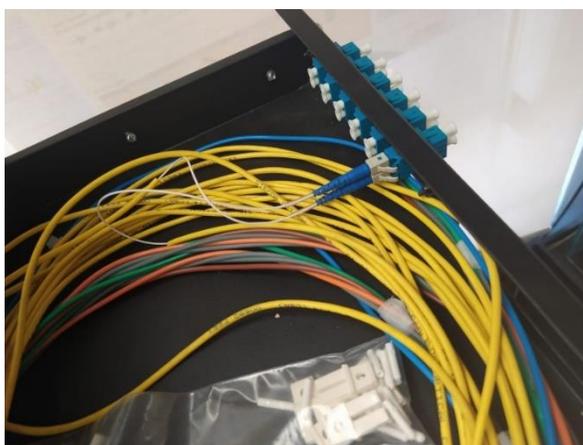


Figura 4.6 Distribuidor con panel de conectores de UNAM MOBILE.

En la Figura 4.6 se observa el plano de conexiones, el cable amarillo es el que interconecta los racks del laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas y UNAM Mobile, mientras que el cable naranja es el que sale de UNAM Mobile directamente con el instituto de ingeniería a la Red Delta Metropolitana.

Los *racks* están acomodados de forma estratégica para que los alumnos no dañen el enlace. Para la instalación se perforó un agujero en los plafones de ambas aulas para que este enlace pasara por encima de las lámparas; de esta forma, el enlace en ningún momento tendrá que ser manipulado por ningún alumno, simplemente con un jumper el alumno llegará y se conectará al panel del laboratorio y podrá comenzar a hacer su práctica.

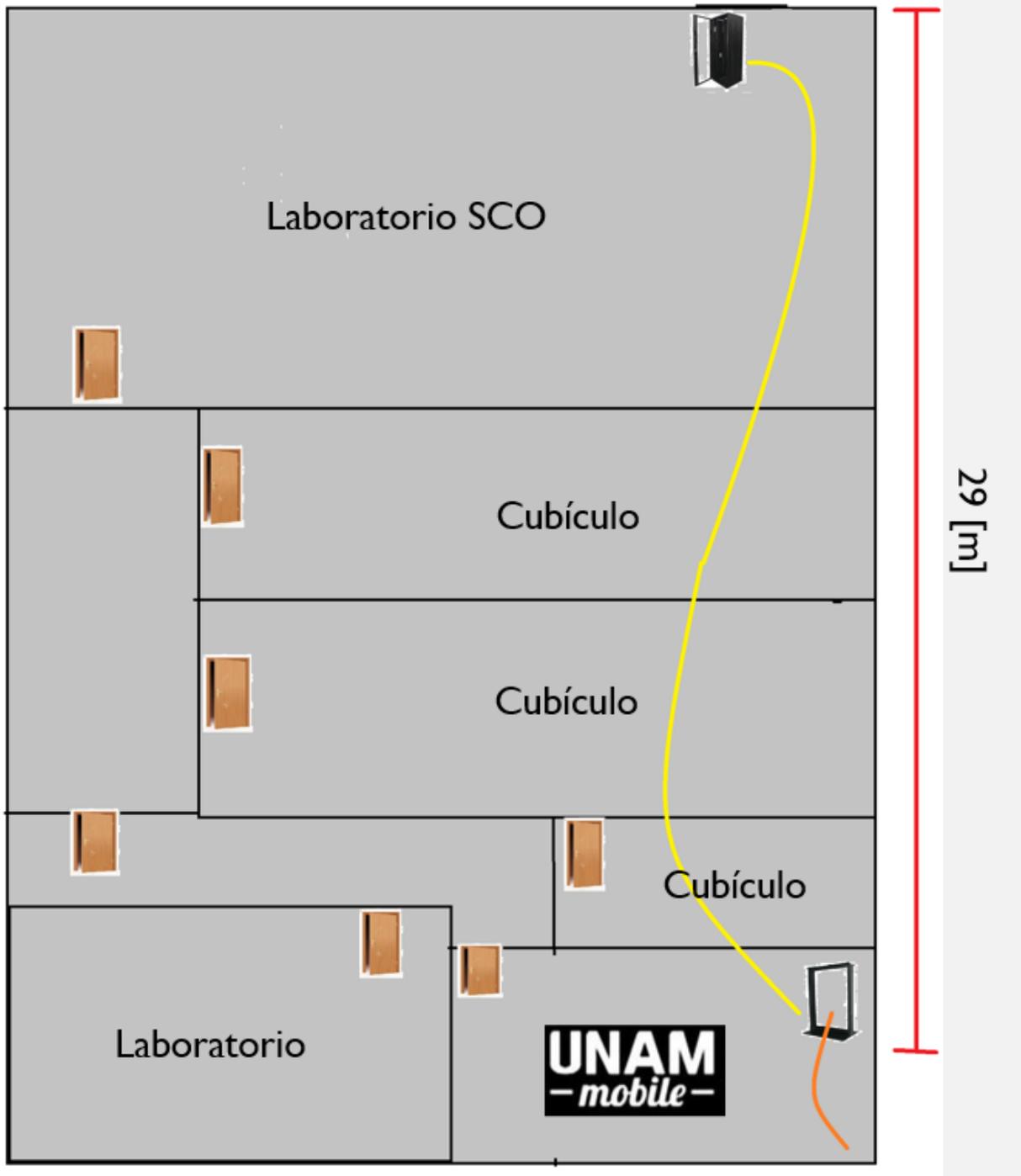


Figura 4.7 Plano del enlace a la Red Delta Metropolitana.

4.3. Resultado de instalación

La medición de atenuación y distancia de los enlaces se realizó con un equipo OTDR el cual se configuró como se muestra en la Tabla 4.2.

Resolución	Normal
Rango	1 Km
Pulso	5 ns
Longitud de onda	1310 nm
Tiempo de adquisición	10 s

Tabla 4.2 Configuración del equipo OTDR.

El rango que se establece es de 1 kilómetro (rango mínimo que nos permite usar el OTDR) y también se usa un pulso de 5ns debido a que la distancia de nuestro enlace es menor a 50 metros, por lo que se considera como un enlace pequeño. La longitud de onda a la que trabaja el OTDR es de 1310 nm. Como se observa en la Figura 4.8 el comportamiento a dicha longitud, el primer pico es el inicio de la fibra y posterior a ello podemos visualizar dos eventos reflectivos los cuales se generan por poner conectores usados porque no contábamos con nuevos conectores para la instalación, y estos puntos reflectivos eran de esperarse, confirmando su presencia en la gráfica.

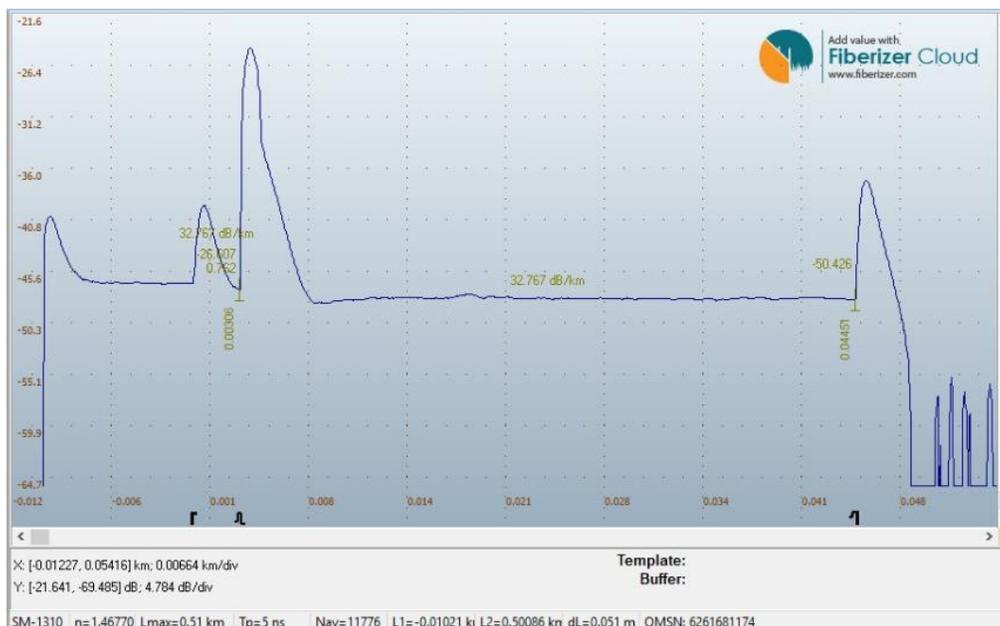


Figura 4.8 Trazo del enlace en el laboratorio.

En la Figura 4.9 se observan paso a paso los eventos registrados dentro del enlace: el primer evento es el inicio de la fibra; en el segundo evento se visualiza un evento reflectivo referente al conector de uso que se utilizó; por último, el tercer evento es un evento reflectivo indicando el final de la fibra óptica, llegando a los 44 metros finales del enlace.

#	Type	Distance	Loss	Reflectance	Cumulative loss
Attenuation					
0	┌	Beginning of fiber 0.00000 km		-58.927 dB	
	—	Fiber section 0.00306 km	0.100 dB	*32.767 dB/km	0.100 dB
1	∩	Reflective 0.00306 km	0.762 dB	-26.607 dB	0.862 dB
	—	Fiber section 0.04144 km	1.358 dB	*32.767 dB/km	2.220 dB
2	└	Reflective 0.04451 km	***	-50.426 dB	2.220 dB

Figura 4.9 Tabla de Resultados del OTDR.

Al término, se puede visualizar que se obtienen los resultados esperados debido a que se tenía en consideración la falla del conector. Este conector se debe de cambiar cuando se tenga la oportunidad de regresar a las instalaciones. Podemos visualizar una caída constante sin otro tipo de eventos debidos al empalme por fusión en distintas partes del enlace, teniendo como resultado un enlace óptimo para la transmisión y recepción de datos.

5. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE DIELECTRICO

En la industria de las telecomunicaciones el cable dieléctrico de fibra óptica es utilizado para instalaciones de redes de larga distancia (área metropolitana, estatal y de cobertura nacional). El tipo de instalación de este cable puede ser de forma subterránea o aérea, porque su cubierta es muy resistente y puede contrarrestar condiciones climáticas adversas. Actualmente existen proyectos en la ciudad de México que se basan en cambiar los hilos de cobre que se instalaron hace décadas a este tipo de cable dieléctrico para mejorar la calidad de los servicios en el área metropolitana. [26]

Para esta parte del proyecto se utilizó cable dieléctrico de fibra óptica de 300 metros de 48 hilos de fibra óptica, unida en los extremos para poder obtener un enlace con una longitud aproximada de 18 kilómetros.

El objetivo de este enlace es caracterizar el comportamiento de un enlace de cable dieléctrico y observar los distintos eventos que pueden surgir de un enlace de este tipo. Las prácticas beneficiadas son:

- Medición de pérdida de inserción de enlaces de fibra óptica.
- Medición de la atenuación por el método de retro esparcimiento (OTDR).
- Mediciones de OTDR de larga distancia.



Figura 5.1 Diagrama de conexión del cable dieléctrico parte 1.



Figura 5.2 Diagrama de conexión del cable dieléctrico parte 2.

5.1. Características del tipo de cable

Para esta propuesta se utilizó cable dieléctrico de fibra óptica es G652.D monomodo, con un total de 48 hilos y se subdividen en 4 secciones de 12 hilos cada uno, respetando el código de colores de fibra óptica ANSI/TIA/EIA 598-A. La principal característica de este cable es que es rígido, si lo comparamos con un cable de 2 mm esto da una ventaja de protección total al momento de su instalación.



Figura 5.3 Carrete de cable dieléctrico. [4]

El estándar para la fibra óptica de este tipo es el ANSI/TIA/EIA 598-A OPTICAL FIBER COLORCODING, el cual se refiere a una agrupación de fibras, ya sea por 2, 4, 6 y hasta 12 hilos.

El objetivo de esta norma es proporcionar un proceso de identificación uniforme para fibra óptica por cable de codificación de color de las fibras individuales y de la funda (dependiendo de para que sea destinada la fibra, el color de la funda cambia). Los 12 colores se muestran en la Figura 5.4 [11].

Posición	Color
1	Azul
2	Naranja
3	Verde
4	Marrón
5	Gris
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Violeta
11	Rosa
12	Turquesa

Figura 5.4 Organigrama del uso de colores de la fibra óptica. [11]

A su vez, los 12 hilos están agrupados por un cable de protección con el mismo código de colores, permite identificar fácilmente las fibras y hacer más sencillo el trabajo que realizará el técnico. Además, el cable dieléctrico contiene una varilla de fibra de vidrio para que el cable se mantenga firme y no esté tan holgado; en la Figura 5.5 se puede observar esta varilla de color blanco.

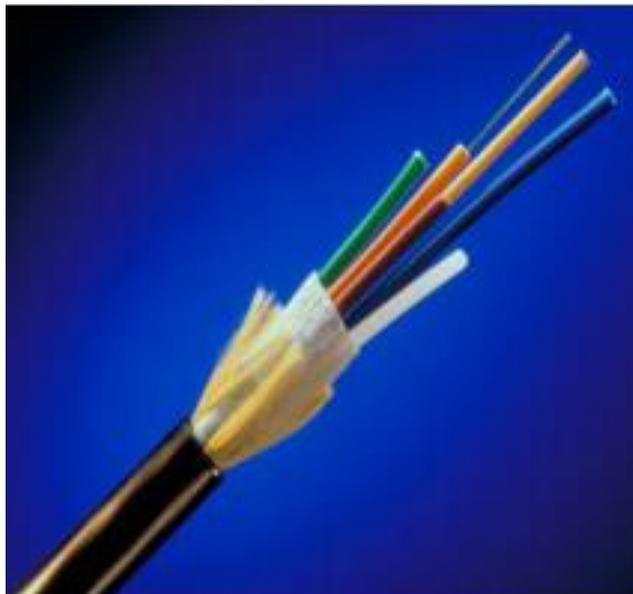


Figura 5.5 Fibra óptica de 4 hilos principales, con 12 hilos cada uno.

Considerando las características de este cable y la longitud del enlace, se podría comunicar gran parte de la ciudad. ¿Qué quiere decir esto? Que tenemos un enlace modificable para conectar el centro con el sur de la Ciudad de México. A juicio de los dos autores, se considera que a los alumnos de la Facultad de Ingeniería les será de gran utilidad el poder ejecutar diversas prácticas con este enlace, por ejemplo, más ilustrativas y de mayor aprendizaje que a lo que ya se tenía convencionalmente en el laboratorio, un enlace de aproximadamente 7.5 Km de fibra monomodo que, a comparación del nuestro, es 2 veces más pequeño.

Para hacer el corte de este tipo de fibra es necesario un instrumento de corte para la apertura de la cubierta plástica, como una navaja retráctil o una cortadora especializada con una navaja de corte. Se comienza tomando como referencia una distancia aproximada de 5 a 7 centímetros, donde se coloca la punta de la navaja y se realizan cortes de forma horizontal deslizando la navaja en dirección al final del cable para evitar cortes, donde este paso se realizará varias veces.

Una vez que se alcanza el recubrimiento del cable se debe de posicionar la navaja de forma ortogonal respecto a el corte principal para realizar el mismo corte hacia el lado contrario, donde se realiza el mismo procedimiento. Al terminar con los dos cortes se deben separar los extremos de manera cuidadosa y se procede a utilizar los hilos “guía” para poder terminar el corte de la fibra óptica. Por último, se debe de cortar los excesos de plástico y así tener los hilos principales para su correcto funcionamiento. Adicional a esto, es de suma importancia dejar un tramo de guía en caso de que se requiera fibra o adicional, por seguridad.

5.2. Conectores y elementos de red seleccionados

Para que el país esté conectado con fibra óptica es necesario que estén empalmadas unas con otras, ya que los carretes contienen como máximo 5km de distancia de cable dieléctrico. Por ello, muchas empresas o proveedores de servicios capacitan a su equipo para poder hacer este tipo de trabajo y se necesita contar con el material adecuado para la construcción de estos enlaces.

Además del cable dieléctrico, se utilizó equipo especial necesario para poder fabricar el enlace.

Como se muestra en la Figura 3.6, se utilizó una caja de empalmes de 48 hilos. Esta caja tiene las cualidades de ser hermética, esto para mantener la fibra óptica bien resguardada, en buenas condiciones tanto para la intemperie y para cuando vaya a ser instalada, adicional, el técnico debe llevar una orden a la instalación.



Figura 5.6 Caja de empalmes de fibra óptica de 48 hilos.

La caja cuenta con dos charolas diseñadas cada una para el acomodo de 24 empalmes. Además, tiene el espacio suficiente para acomodar la fibra de modo que no rebase su radio mínimo de curvatura, de lo contrario, podría presentar pérdidas e incluso hasta llegar a romperse.

En la Figura 5.7 se observa la caja de empalmes abierta y se muestran las charolas en donde se acomoda la fibra y los empalmes; se puede visualizar en los extremos la entrada del cable dieléctrico que va fijada mediante tornillos para tener estabilidad.



Figura 5.7 Charola de caja de empalmes de fibra óptica de 48 hilos.

En la Figura 5.8 se observa el proceso de acomodo de la fibra y la ejecución de los empalmes respectivos mediante el código de colores como se comentó antes, garantiza un buen empalme con pérdidas bajas, se realizó el procedimiento de corte y limpiado de fibra óptica que viene dentro de las prácticas del Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas.

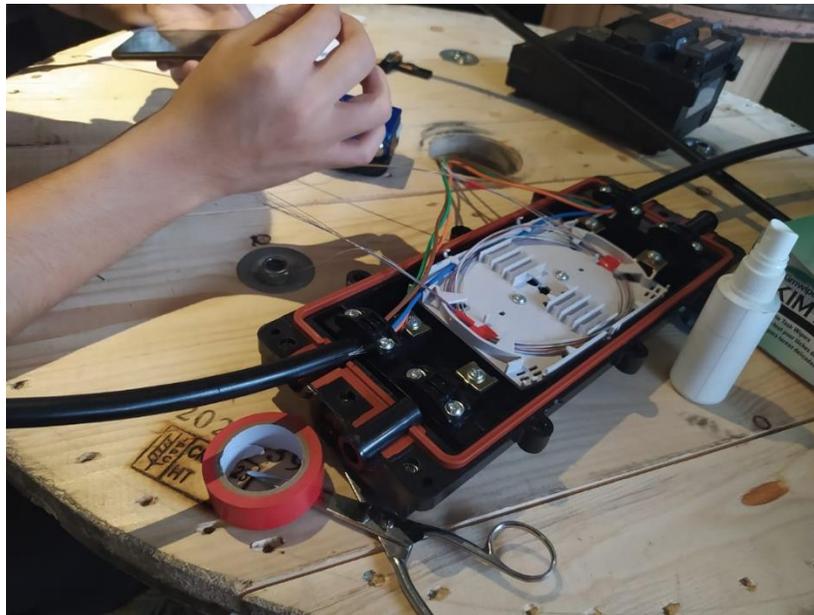


Figura 5.8 Acomodo de empalmes en charola de caja de empalme

Se utilizó de cinta de aislar para para evitar el movimiento. Como la fibra es delgada, un mal movimiento de la caja podría causar la fractura de algún hilo causando que se tenga que repetir el empalme o hasta podría llegar a problemas más severos, como repetir el enlace.

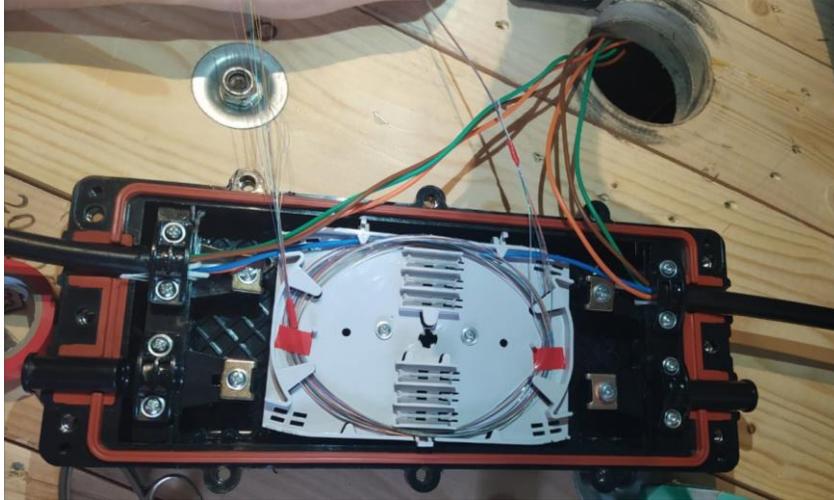


Figura 5.9 Acomodo de empalmes en charola de caja de empalme

Para finalizar se utilizó un *jumper* con conectores tipo ST para la conexión final del enlace, de esta forma podemos realizar mediciones con el OTDR para tener una validación previa del enlace que se armó. Al terminar los empalmes correspondientes, comenzamos con la homologación de nuestro enlace.

Este tipo de conectores ST fueron seleccionados por criterio mecánico ya que las entradas del OTDR que se tienen en la facultad corresponden con este tipo de conectores. De esta forma se podrán realizar todas las mediciones necesarias para la nueva práctica y no será necesario utilizar los viejos conectores mecánicos.



Figura 5.10 Jumper con conectores ST.

5.3. Resultado de instalación

En la Figura 5.11 podemos visualizar la bobina terminada con la caja de empalme cerrada, lista para realizar pruebas del enlace a dos longitudes de onda distintas para poder visualizar cómo se comporta con cada una de ellas y poder encontrar distintos tipos de eventos existen dentro del enlace. Esta bobina servirá para dar un enfoque a los alumnos del comportamiento del tramo de última milla en distintos ambientes de la vida real, como fibra óptica al edificio o fibra óptica a la casa.



Figura 5.11 enlace terminado.

Para poder homologar un enlace de fibra óptica es necesario saber:

- Si el equipo es el adecuado en cuanto a exactitud y método de medición.
- Si el procedimiento de medición es el adecuado.
- Si la persona o el técnico está capacitado, entrenado y/o certificado.
- Si el equipo está calibrado y cuenta con mantenimiento.

De no contar con alguno de estos puntos no podríamos asegurar que la homologación de nuestro enlace sea correcta.



Figura 5.12 Realizando mediciones con OTDR.

La medición de atenuación y distancia de los enlaces se realizó con un equipo OTDR, el cual se configuro como se muestra en la Tabla 5.1, donde los valores se ajustan dependiendo de la longitud de enlace que se esté manejando. En este caso el enlace mide 18 kilómetros aproximadamente, por lo que se utiliza un rango de 20 kilómetros para poder visualizarlo a su totalidad. El pulso que se utiliza es de 300 ns ya que es un valor recomendado por el OTDR para trabajar a esta distancia. Sin embargo, si se trabaja a un pulso más pequeño se pueden visualizar más eventos.

El tiempo de adquisición utilizado es de dos minutos debido que, a mayor tiempo, se tiene una mejor estabilización respecto al ruido. La amplitud de ruido aumenta a medida que el nivel de la señal disminuye.

Resolución	Normal
Rango	20 km
Pulso	300 ns
Longitud de onda	1550 nm
Tiempo de adquisición	2 min

Tabla 5.1. Configuración de Equipo OTDR.

En la Figura 5.13 se observa la existencia de dos eventos reflectivos, al inicio y al final del enlace; un evento reflectivo aparece cuando hay un cambio de índice de refracción, es decir al atravesar la luz de un medio (como el aire) a otro (como lo es la fibra óptica), el índice de refracción cambia y se forman picos que se observan en la gráfica.

Los eventos no reflectivos son los que predominan en el enlace, un evento no reflectivo solo mide pérdidas por inserción y existe cuando hay un empalme o una curvatura dentro del enlace.

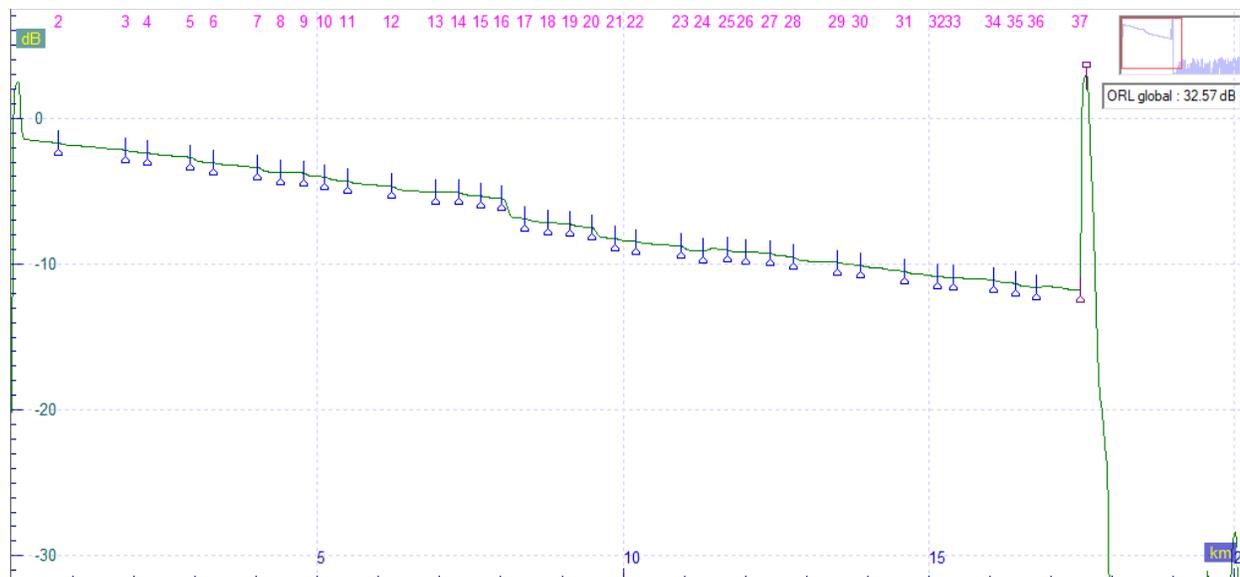


Figura 5.13 Traza del enlace a 1550nm.

En la tabla 5.2 se observa el número de evento relacionado con la distancia a la que se encuentra, seguido de la atenuación (en dB) y la pendiente que se presenta (en dB/km). En total, se presentan 37 eventos, donde un par de ellos son eventos reflectivos y 35 de ellos son eventos no reflectivos o eventos de tipo escalón.

En el primer y último evento se presenta reflectancia, esto es, la pérdida por retorno óptico del conector; es la cantidad de luz que se refleja en la fibra hacia la fuente emisora de luz como consecuencia de la reflexión fuera del enlace.

Evento (36)	Distancia (km)	tenuación (dB)	reflectancia (dB)	pendiente (dB/k)	Dist.rel. (km)
1	0.00000		-40.20		
2	0.75587	0.072		0.444	0.75587
3	1.84881	0.066		0.369	1.09294
4	2.21652	0.035		0.383	0.36772
5	2.92132	0.231		0.377	0.70479
6	3.29925	0.034		0.405	0.37793
7	4.01426	0.245		0.384	0.71501
8	4.40240	-0.072		0.246	0.38815
9	4.77012	0.160		0.289	0.36772
10	5.11741	0.162		0.325	0.34729
11	5.48513	0.137		0.311	0.36772
12	6.21035	0.210		0.315	0.72522
13	6.92536	-0.101		0.299	0.71501
14	7.30329	0.115		0.236	0.37793
15	7.66080	0.047		0.391	0.35750
16	8.01830	1.229		0.352	0.35750
17	8.39623	0.156		0.374	0.37793
18	8.76395	-0.031		0.356	0.36772
19	9.13167	0.126		0.347	0.36772
20	9.47896	0.638		0.248	0.34729
21	9.85689	0.109		0.338	0.37793
22	10.20418	0.090		0.298	0.34729
23	10.93962	0.232		0.297	0.73544
24	11.30733	-0.215		0.341	0.36772
25	11.69548	0.098		0.253	0.38815
26	12.00191	-0.054		0.332	0.30643
27	12.41049	0.116		0.284	0.40858
28	12.77821	0.244		0.341	0.36772
29	13.50343	0.062		0.172	0.72522
30	13.87115	0.038		0.394	0.36772
31	14.59637	0.065		0.534	0.72522
32	15.14795	0.019		0.508	0.55158
33	15.39309	0.004		0.228	0.24515
34	16.06724	0.112		0.225	0.67415
35	16.41453	0.141		0.357	0.34729
36	16.75161	-0.169		0.404	0.33707
37	17.47683		-19.23	0.522	0.72522

Tabla 5.2. Eventos del enlace a 1550 nm.

Como se observa en la Tabla 5.2 los eventos encontrados en la trayectoria del enlace son no reflectivos, y con atenuaciones por debajo de 0.25 dB. Cabe aclarar que, para lograr un buen empalme, debe tener una pérdida por debajo de 0.1 dB.

Haciendo un análisis de los eventos no reflectivos encontrado, con respecto a un buen empalme, se lograron 27 buenos empalmes; por otra parte, uno de los eventos con la mayor atenuación de este enlace está por encima de 1 dB, por lo que fue necesario medir a otra longitud de onda para poder verificar si en ese evento se encuentra un empalme o una curvatura,

Después de observar la traza en el OTDR y la atenuación de los empalmes, se concluye que nuestro enlace no es perfecto. Sin embargo, un mal resultado es idóneo en un ambiente de aprendizaje con propósitos educativos para los alumnos de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones puesto que no podrían identificar los distintos tipos de evento y precisar cuáles empalmes están correctamente hechos y cuáles no.

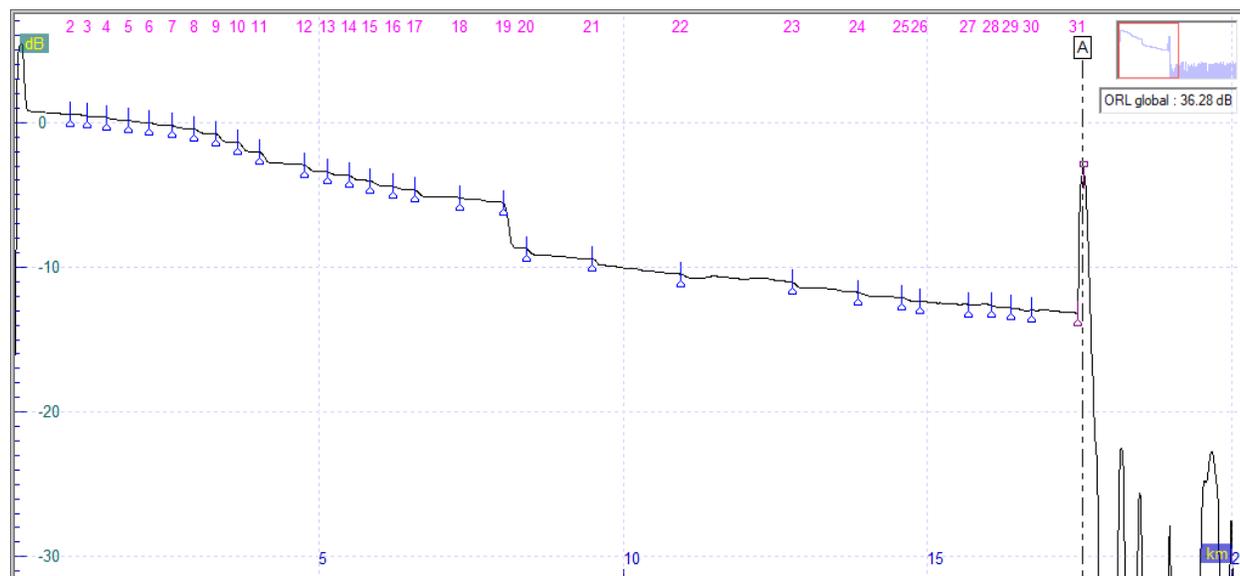


Figura 5.14 Traza del enlace a 1310nm.

La medición de atenuación y distancia de los enlaces se realizó con un equipo OTDR, el cual se configuró como se muestra en la Tabla 5.3. Los valores se ajustan dependiendo de la longitud de enlace que se esté manejando, en este caso el enlace mide 18 kilómetros aproximadamente, por lo que se utiliza un rango de 20 kilómetros para poder visualizarlo a su totalidad. De igual forma el pulso que se utiliza es de 300 ns ya que es un valor recomendado por el OTDR para trabajar a esta distancia. Sin embargo, si se trabaja a un pulso más pequeño se pueden visualizar más eventos.

El tiempo de adquisición utilizado es de dos minutos debido que, a mayor tiempo, se tiene una mejor estabilización respecto al ruido. La amplitud de ruido aumenta a medida que el nivel de la señal disminuye.

Resolución	Normal
Rango	20 Km
Pulso	300 ns
Longitud de onda	1310 nm
Tiempo de adquisición	2 min

Tabla 5.3. Configuración de Equipo OTDR.

En la tabla 5.4 se observa el número de evento relacionado a la distancia en el que se encuentra, seguido de la atenuación en decibeles (dB) y la pendiente que se presenta en relación de dB/km. En total se tienen 31 eventos donde un par de ellos se encuentran como eventos reflectivos y 29 de ellos son eventos no reflectivos o eventos de tipo escalón.

En el primer y último evento se presenta reflectancia, esto es la pérdida por retorno óptico del conector, es la cantidad de luz que se refleja en la fibra hacia la fuente emisora de luz como consecuencia de la reflexión fuera del enlace.

Evento (30)	Distancia (km)	tenuación (dB)	reflectancia (dB)	pendiente (dB/k)	Dist.rel. (km)
	1	0.00000	-40.14		
	2	0.89856	-0.050	0.343	0.89856
	3	1.17426	0.060	0.436	0.27569
	4	1.49079	0.121	0.184	0.31654
	5	1.85839	0.063	0.301	0.36759
	6	2.20556	0.150	0.233	0.34717
	7	2.57315	0.137	0.131	0.36759
	8	2.94074	0.282	0.255	0.36759
	9	3.29813	0.526	0.148	0.35738
	10	3.65551	0.576	0.201	0.35738
	11	4.02310	0.695	0.236	0.36759
	12	4.74808	0.385	0.280	0.72497
	13	5.12588	0.171	0.209	0.37780
	14	5.48326	0.278	0.244	0.35738
	15	5.84064	0.284	0.246	0.35738
	16	6.20824	0.141	0.317	0.36759
	17	6.56562	0.472	0.224	0.35738
	18	7.31102	0.273	0.084	0.74540
	19	8.02578	3.107	0.091	0.71476
	20	8.41379	0.378	0.212	0.38801
	21	9.49615	0.586	0.323	1.08236
	22	10.94610	0.195		1.44995
	23	12.77385	0.342	0.251	1.82775
	24	13.86642	0.238	0.384	1.09257
	25	14.58119	0.241	0.156	0.71476
	26	14.88751	0.075	0.113	0.30633
	27	15.67375	-0.025	0.200	0.78624
	28	16.05156	0.179	0.036	0.37780
	29	16.37831	0.087	0.109	0.32675
	30	16.71527	-0.160	0.421	0.33696
	31	17.48109		-31.57	0.76582

Tabla 5.4. Eventos del enlace a 1310 nm.

Como se muestra en la Figura 5.15, al comparar ambas trazas con diferente longitud de onda y específicamente el evento que se encuentra a 8 Km, se comprueba que como en ese evento uno tiene mayor pérdida que el otro podemos asegurar que existe una curvatura, ya que si este evento tuviera una atenuación similar sería un empalme más.

Una curvatura genera mayor atenuación que un empalme por fusión, es por ello que pueden llegar a dificultar el paso de información en una red.

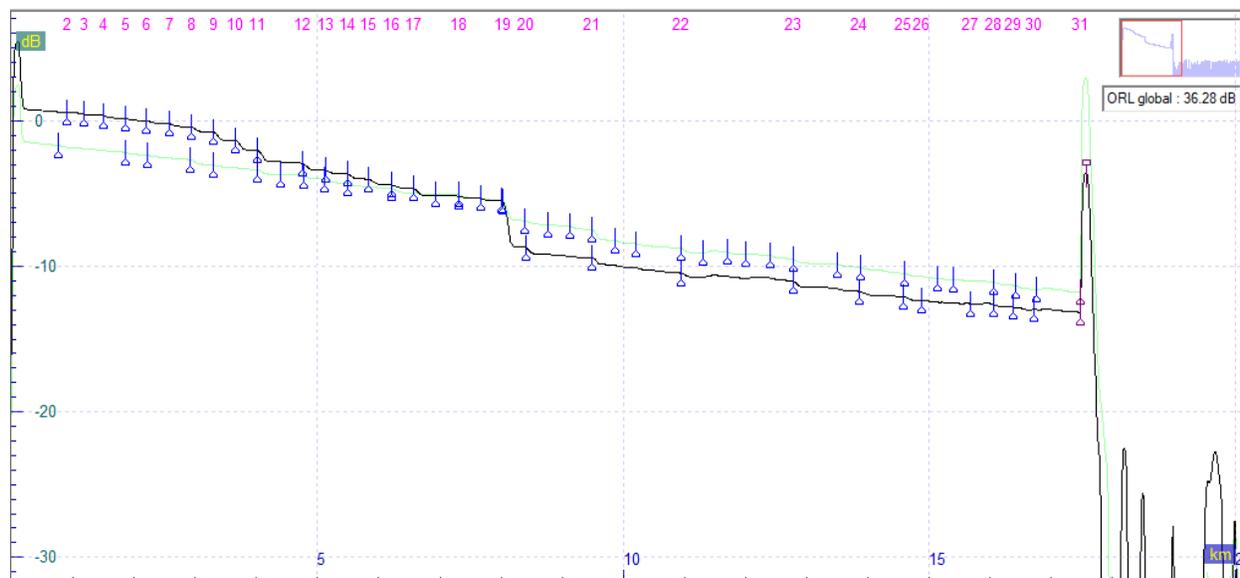


Figura 5.15 Comparación del enlace a las dos longitudes de onda.

6. TRABAJO A FUTURO

A partir del trabajo realizado en esta tesis se proponen el diseño de 2 nuevas prácticas:

- Conectores basados en empalme.
- Activación de servicios Gigabit Ethernet.

CONECTORES BASADOS EN EMPALME.

Proponemos que el objetivo de la práctica sea que el alumno entienda la importancia de un empalme óptimo y aprenda a realizar empalmes por medio de conectores basados en empalme.

Se creará un cuestionario previo y se tendrá como antecedente la práctica 2 EMPALME DE FIBRAS ÓPTICAS POR FUSIÓN DE ARCO ELÉCTRICO.

Las actividades propuestas para la práctica serán:

- Identificación de los elementos de un conector basado en empalme.
- Procedimiento para empalmar este tipo de conectores.

- Medición de parámetros y comparación con otros conectores.
- Conclusiones.

Al final de la práctica el alumno aprenderá a empalmar este tipo de conectores y verá los beneficios de esta nueva tecnología.

ACTIVACIÓN DE SERVICIOS GIGABIT ETHERNET.

El objetivo de esta práctica será que el alumno conozca los parámetros que define un servicio ofrecido a un flujo de tráfico de una red, para que realice una activación de servicios Ethernet, mediante el estándar ITU-T.Y.1564. [30]

Se creará un cuestionario previo con enfoque a los estándares ITU y enlaces a larga distancia.

Las actividades propuestas para la práctica serán:

- Identificación de equipos.
- Configuración de equipos.
- Pruebas con el enlace diseñado por nosotros.
- Conclusiones.

Al final de la práctica los alumnos podrán realizar una activación de servicios y replicar el proceso en otro equipo sin importar la marca de este.

7. CONCLUSIONES

El principal objetivo de elaborar esta tesis es que los estudiantes de la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones puedan tener un Laboratorio de Sistemas de Comunicaciones Ópticas más completo y actualizado, esto les permitirá lograr un mejor aprendizaje integral, y relacionarlo con el campo laboral.

Conocer los distintos tipos de fibra óptica es una parte primordial, ya que se necesita un análisis para saber qué tipo de fibra se tiene que instalar en un proyecto en específico, este análisis debe de contener la distancia del enlace, el para qué se requiere y sus características fundamentales como el conocer la atenuación, dispersión, apertura numérica y el diámetro, posterior a ellos se debe de hacer una investigación respecto a seleccionar la fibra óptica en función de los requerimientos del cliente como es tasa de transmisión, distancia, tipo de datos y presupuesto, en función de eso se hacen los diseños de presupuesto de potencia, tiempo de subida, BER y los costos que se encuentran en el mercado.

Cada tipo de fibra óptica juega un papel importante dentro de la instalación y es por lo que los enlaces que se tienen en distintos proyectos ya sean a largas o cortas distancias,

han sido exitosos dando el servicio que el usuario requiere. Estos cumplieron su cometido de envío de información visualizándolo al final de cada tramo de fibra en cada una de las pruebas, ya que se observaron los parámetros del cable dieléctrico y el cable óptico de 2mm.

Los distintos equipos de medición y herramientas juegan una parte importante ya que es necesario conocer el software implementado en estos equipos para poder realizar un buen desempeño en la medición inicial y por consecuente en las mediciones necesarias a lo largo del ciclo de vida de la instalación, lo que es un monitoreo constante para mantener la fiabilidad de la red. Las fuentes láser deben ser estudiadas con claridad para saber el tipo de tarjeta que se requiere dependiendo del proyecto en el que se encuentre, ya que normalmente estas ya están dadas por un vendedor externo y el ingeniero debe de seleccionar la tarjeta que se adapte al proyecto y debe de conocer la fuente que se tenga en cuestión para garantizar el buen funcionamiento con la fibra óptica seleccionada para la red.

El uso de los conectores ópticos basados en empalme de fusión de fibra óptica va a cambiar en su totalidad el uso de los conectores como se conoce en la actualidad, ya que se puede confirmar la reducción de pérdidas en comparación de un conector mecánico y reducción de tiempo para los instaladores, haciendo de este punto una forma rápida, fácil y confiable, sin duda es un gran cambio dentro de la industria de la fibra óptica, donde nosotros estamos seguros que hará un gran cambio en la fiabilidad de las redes en nuestro país.

El diseño e instalación del enlace con cable óptico de 2 mm se hizo con el propósito de poder interconectar el Laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas con UNAM Mobile, conectado a la Red Delta Metropolitana, se realizó un análisis previo para conocer el tipo de fibra óptica que se requería en el enlace y de los conectores que se utilizarían para obtener la mínima pérdida posible, garantizando una buena transmisión de datos para lograr el objetivo, que es visualizar la red delta metropolitana para el beneficio de las prácticas de larga distancia. Los enlaces de 45 metros aproximados de cada uno de los hilos fueron instalados de acuerdo con las normas ISO / IEC 11801-1 [28] y TIA/EIA-568-B [29], por lo que podemos concluir que estos enlaces están listos para conectarse a la red delta metropolitana y así poder observar mediante el OTDR la longitud del enlace como los eventos que se presentan en esta red de gran importancia para la educación universitaria.

Los alumnos podrán visualizar todos los puntos mencionados y así aterrizar todos los conocimientos teóricos en una aplicación de la vida diaria en el ramo de la ingeniería en telecomunicaciones. A esto podemos agregar que el cable de fibra óptica de 2 mm es muy eficiente para este tipo de instalaciones, ya que no está expuesto a la intemperie y no existe la posibilidad de que presente alguna fractura o falla. De no ser así, hubiera sido recomendable poner una guía. Adicional a esto, la instalación de una fibra monomodo fue lo más importante, de lo contrario, no sería compatible con las velocidades y ancho de banda de la Red Delta Metropolitana.

Para el proyecto del punto 3, el cable dieléctrico que se utilizó, para el armado del enlace de 15 km, es un tipo de cable el cual se puede instalar tanto en interiores como en exteriores, así como para redes aéreas como subterráneas, esto porque viene cubierto por una capa rígida de un material hermético el cual reduce el impacto de que este sea quebrado, doblado, tensado e incluso aguantar cierto peso y temperaturas.

El enlace de cable dieléctrico es de 15 kilómetros aproximadamente donde se une el mismo cable entre sí usando el código de colores para poder obtener la longitud ya mencionada. Esta bobina de 15 kilómetros va a ser usada para poder entender cómo funciona un enlace que tiene un recorrido de punta a punta en la ciudad de México. Fue necesario conocer el uso del OTDR para visualizar todos los eventos resultantes y llegar a tener conclusiones generales respecto a una trama de red, por lo que nosotros concluimos que se tuvo un buen conocimiento previo durante el diseño de esta bobina de cable dieléctrico, detectando los códigos de colores y empalmado de una buena forma la mayoría de los tramos de la fibra, ya que se visualizan algunos eventos que pasan el rango mínimo para su buen funcionamiento, pero esto es de gran ayuda para poder visualizar qué eventos son los que nos causan problemas y de esta forma los alumnos que cursen este tipo de asignaturas dentro de la carrera, sabrán diferenciar cada uno de estos eventos y procurar hacer todo este proceso de la forma más adecuada posible.

Este enlace estará instalado en el laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas, para su estudio, recordar que antes de esto, los alumnos de la carrera de ingeniería en telecomunicaciones no habían podido hacer mediciones con este tipo de cable, esto da pie a la creación de nuevas prácticas de laboratorio. Podrán hacer mediciones del enlace, observar los distintos tipos de eventos existentes, verán el tipo de cable para su instalación, ya sea subterránea o en postes.

Algo muy importante para nosotros fue basarnos en los procedimientos que se describen en las normas ITU e IEC en función del enlace que se tiene para la instalación y medición del enlace, también fueron importantes los conocimientos aprendidos en las materias de Sistemas de Comunicaciones Ópticas, Dispositivos Ópticos, Temas selectos de telecomunicaciones y el Taller de Mediciones en Fibras Ópticas de Comunicaciones. Todos ellos nos brindaron las herramientas y el conocimiento necesario para poder diseñar todo este proyecto, ya que el limpiado, empalmado y homologación de la fibra óptica es un proceso muy específico que garantiza el funcionamiento de la red.

Dentro de este trabajo aprendimos lo importante que es el trabajo en equipo y la organización que debe de existir en un proyecto a largo plazo para lograr resultados favorables, entre compañeros y con un líder como lo fue el director de tesis. Aprendimos diferenciar distintos tipos de fibra óptica y cómo se comporta el mercado de las telecomunicaciones respecto a costos.

Como vimos al final del trabajo de tesis, los sistemas de comunicaciones ópticas han evolucionado constantemente, y tanto como alumnos y profesionales deben estar en constante aprendizaje. Estamos muy contentos y satisfechos que este trabajo de tesis

ayudará a que el Laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas forme a mejores ingenieros en esta rama de estudios.

8. REFERENCIAS

- [1] Departamento de telecomunicaciones. DIE UNAM (2010). Laboratorio de Sistemas de comunicaciones ópticas. Práctica 5. Medición de la atenuación por el método de pérdidas de inserción.
- [2] Departamento de telecomunicaciones. DIE UNAM (2010). Laboratorio de Sistemas de comunicaciones ópticas. Práctica 6. Medición de la atenuación por el método de retro esparcimiento (OTDR).
- [3] Departamento de telecomunicaciones. DIE UNAM (2010). Laboratorio de Sistemas de comunicaciones ópticas. Práctica 7. Verificación de instalación de enlaces de fibra óptica de redes de fibra a la casa (FTTH/PON).
- [4] almalaboratorios.com (julio-2019) Curso básico de Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR). Recuperado el 12 de mayo de 2020 de <http://almalaboratorios.com/curso-basico-otdr/>
- [5] Lina Lorena Razo Ramírez (2019) Análisis de una red metropolitana de comunicaciones de alta velocidad en la ciudad de México, para localización y resolución de fallas a nivel capa física. Recuperado el 12 de mayo de 2020 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16483/Tesis.pdf?sequence=3>
- [6] Fibrain (2017), Imágenes y Software de fibra óptica, recuperado el día 10 de diciembre de fibrain.com
- [7] Recommendation ITU-T G.651 (2018). Series G: Transmission Systems and media, digital systems, and networks. Transmission media and optical systems characteristics. Optical fiber cables.
- [8] Unión internacional de telecomunicaciones, CCITT (1988). Serie G: Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales. Características de un cable de fibra óptica monomodo.
- [9] Hernández Rodríguez Jorge Antonio (2010). Telecomunicación por sistemas ópticos. Recuperado el 18 de septiembre de 2020 de

<https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/7693/ice%20297.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[10] EXFO (2020). FPM 300 Medidor de potencia hoja de especificaciones. Recuperado el 23 de septiembre de 2020 de <https://www.exfo.com/es/productos/pruebas-de-redes-de-campo/medidores-de-potencia/fpm-300/>

[11] EXFO (2020). Fiberbasic 50 handheld tester hoja de especificaciones. Recuperado el 23 de septiembre de 2020 de <https://issuu.com/kirillkip/docs/els-50>

[12] Recomendación UIT (2000). Serie L. Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos para planta exterior.L.40. Recuperado el 23 de octubre de 2020 de https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-L.40-200010-!!!PDF-S&type=items

[13] EXFO (2020). FPM 300/FLS 300/FOT 300 hoja de especificaciones fuente óptica, medidor de potencia. Recuperado el 23 de octubre de 2020 de <https://www.exfo.com/umbraco/surface/file/download/?ni=16201&cn=es-ES&pi=5390>

[14] VIAVI (2020). P5000i microscopio de fibra. Hoja de especificaciones de punta de inspección. Recuperado el 25 de octubre de 2020 de <https://www.viavisolutions.com/es-mx/productos/p5000i-microscopio-de-fibra>

[15] SUMITOMO ELECTRIC (2020). Connectors Lynx. Conectores basados en empalme. Recuperado el 27 de octubre de 2020 de <https://www.sumitomoelectric.com/product-category/lynx-connectors/>

[16] Solano Urban Alan Gerhard (2015). Análisis y diseño de enlace de fibra óptica monomodo para dependencias del campus ciudad universitaria de la UNAM. Recuperado el 05 de noviembre de 2020 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/9640/TESIS.pdf?sequence=3>

[17] Muñoz Zurita A.L et. Al. (2007). Medida de la reflectancia de fotodiodos InGaAs/InP Instituto de física aplicada, España. Recuperado el 07 de noviembre de 2020 de <https://core.ac.uk/download/pdf/36016238.pdf>

[18] Ramón Carrillo Paola Patricia. (2015). Análisis del despliegue de una red de última generación usando fibra óptica para servicios triple play. Recuperado el 15 de noviembre de 2020 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11035/TESINA1%20%282%29.pdf?sequence=1>

[19] Senior John A. (2009). Optical Fiber Communications Principles and Practice. Recuperado el 07 de noviembre de 2020 de <https://shijuinpallotti.files.wordpress.com/2019/07/optical-fiber-communications-principles-and-pr.pdf>

[20] Sanz Martín J. (1996). Comunicaciones Óptica. España: paraninfo.

[21] Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT (2017). Recuperado el 07 de noviembre de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>

[22] Departamento de telecomunicaciones. DIE UNAM (2010). Laboratorio de Sistemas de comunicaciones ópticas. Práctica 3. MEDICIÓN DEL DIÁMETRO DE UNA FIBRA ÓPTICA

[23] The Fiber Optic Association (2004). Capítulo 4. El sistema de comunicación. Recuperado el 23 de octubre de 2020 de <https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch4.htm>

[24] The Fiber Optic Association (2004). Fibra óptica Recuperado el 23 de octubre de 2020 de https://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm

[25] CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS OPTICAS. Recuperado el 12 de mayo de 2020 de https://www.mhe.es/cf/ciclos_informatica/844819974X/archivos/unidad2_recurso2.pdf

[26] IFT (2020). Accesos del servicio fijo de internet a través de fibra óptica han tenido un crecimiento anual de 24.6% recuperado el día 22 de enero 2021 de

<http://www.ift.org.mx/comunicacion-y-medios/comunicados-ift/es/accesos-del-servicio-fijo-de-internet-traves-de-fibra-optica-han-tenido-un-crecimiento-anual-de-246>

[27] LANCAD (2015) DELTA METROPOLITANA / CONECTIVIDAD. Recuperado el día 22 de enero de 2021 de http://www.lancad.mx/?page_id=123

[28] BTICINO (2001) TIA/EIA-568-B Norma de Cableado de Telecomunicaciones para Edificios Comerciales. Recuperado el 25 de mayo del 2021 de <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/9268/5/Cap%204.pdf>

[29] ISO (2017) ISO / IEC 11801-1: 2017 Tecnología de la información. Cableado genérico para las instalaciones del cliente. Recuperado el 25 de mayo del 2021 de <https://www.iso.org/standard/66182.html>

[30] Muñoz V. Ana V. (2019) Práctica Activación de servicios de Gigabit Ethernet. Recuperado el 20 de septiembre de 2021 de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16778/>

9. LISTADO DE FIGURAS

Contenido

2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Perfil del índice en distintos tipos de fibra óptica	15
2.2. Tipos de cable por tipo de hilo de fibra óptica utilizado [4]	20
2.3. Tipos de cable por tipo de instalación en planta externa [6].....	21
2.4. Instalación de cable armado [4]	21
2.5. Instalación de cable dieléctrico [4]	22
2.6. Instalación de cable aéreo autosoportado [4].....	22
2.7. Diagrama esquemático de un láser de inyección de homounión de GaAs con una cavidad de Fabry-Perot	27
2.8. Ilustración que muestra el funcionamiento de frecuencia única de (a) el láser de retroalimentación distribuida (DFB) en comparación con (b) el láser Fabry-Pérot	28
2.9. Bloques básicos de un reflectómetro óptico [4].....	30
2.10. Componentes de una empalmadora [4]	32
2.11. Componentes de una empalmadora (continuación) [4].....	33
2.12. Equipo de corte y limpieza [4].....	33
2.13. Punta de inspección de conectores [4]	34
2.14. Conectores mecánicos [5]	35
2.15. Equipo para realización de Lynx (a) Pinza peladora (b) Acopladores (Conector) [5]	36
4. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE ÓPTICO DE 2MM SIMPLE	38
4.1. Infraestructura de la RED DELTA METROPOLITANA	39
4.2. Distribuidor y panel de conectores del Aula de UNAM Mobile.....	40
4.3. Rack de UNAM Mobile.....	42
4.4. Rack del laboratorio de sistemas de comunicaciones ópticas.....	42
4.5. Patch panel con conectores LC	43

4.6.	Distribuidor con panel de conectores de UNAM Mobile	43
4.7.	Plano del enlace a la Red Delta Metropolitana.....	44
4.8.	Traza del enlace en el laboratorio	45
4.9.	Tabla de resultados del OTDR.....	46
5.	ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE DIELECTRICO.....	47
5.1.	Diagrama de conexión del cable dieléctrico parte 1.	47
5.2.	Diagrama de conexión del cable dieléctrico parte 2.	48
5.3.	Carrete de cable dieléctrico	48
5.4.	Organigrama del uso de colores de la fibra óptica	49
5.5.	Fibra óptica de 4 hilos principales, con 12 hilos cada uno	50
5.6.	Caja de empalmes de fibra óptica de 48 hilos	51
5.7.	Charola de caja de empalmes de fibra óptica de 48 hilos	52
5.8.	Acomodo de empalmes en charola de caja de empalme	52
5.9.	Acomodo de empalmes en charola de caja de empalme	53
5.10.	Jumper con conectores ST.	53
5.11.	Enlace terminado.	54
5.12.	Realizando mediciones con OTDR.	55
5.13.	Traza del enlace a 1550nm.....	56
5.14.	Traza del enlace a 1310nm.....	58
5.15.	Comparación del enlace a las dos longitudes de onda.	61

10. LISTADO DE TABLAS

Contenido

2. MARCO TEÓRICO.....	10
2.1. Clasificación general de los tipos de fibra óptica.....	16
2.2. Tipos de F.O. en el mercado internacional.....	17
2.3 Características principales de Fibras Ópticas normalizadas.	18
4. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE ÓPTICO DE 2MM SIMPLE	38
4.1. Atributos de Fibra recomendación G.652D aprobada en 2016-11-13 [10].....	41
4.2. Configuración del equipo OTDR	45
5. ANÁLISIS E INSTALACIÓN DEL ENLACE CON CABLE DIELECTRICO	47
5.1. Configuración de Equipo OTDR.....	55
5.2. Eventos del enlace a 1550 nm	57
5.3. Configuración de Equipo OTDR.....	59
5.4. Eventos del enlace a 1310 nm	60