



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**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**

TESIS

Que para obtener el título de
INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A

LINA LORENA RAZO RAMIREZ

DIRECTOR DE TESIS

ING. ÁLVARO ALEJANDRO MARROQUÍN MORA



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



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.

Dedicatoria

A mis padres Juana y Gonzalo, por su amor, apoyo, educación, valores y paciencia que siempre me han dado.

A mis hermanos Mónica Y Omar, por su apoyo siempre y paciencia.

A mis primos Cristina y Pedro, por las enseñanzas y apoyo.

A Emmanuel, por la paciencia, amor, apoyo y ánimo en todo momento.

Al Ing. Álvaro Marroquín, por los conocimientos compartidos y el apoyo para la realización de esta tesis.

A todo el equipo de trabajo de Alma Laboratorios, por los consejos y conocimientos compartidos.

A mis familiares y amigos, que estuvieron presentes a lo largo de mi carrera, y aunque haya algunas ausencias su apoyo fue importante.

Gracias.

Contenido

Capítulo 1 Marco Teórico.....	4
Objetivos.....	4
1.1 Planteamiento del problema.....	4
1.2 Propuesta de solución y resultados esperados	7
1.3 Fibra óptica	9
1.3.1 Características y parámetros	10
1.3.2 Equipos de medición.....	12
1.4 Manejo de cables de fibra óptica	13
1.4.1 Técnicas inspección y limpieza de conectores ópticos	13
1.4.2 Cajas de empalme	14
1.4.3 Instalación de cables ópticos en planta interna	15
1.4.4 Instalación de cables ópticos en planta externa	15
1.5 Equipo para empalme de fibra óptica	16
1.5.1 Conectores Ópticos Mecánicos.....	16
1.5.2 Conectores ópticos basados en empalme de fusión de fibra óptica	17
1.5.3 Empalmadoras de fusión con alineamiento por revestimiento activo	17
1.5.4 Empalmadoras de fusión con alineamiento por núcleo	18
1.6 Instrumentos de medición para fibra óptica de comunicaciones	18
1.6.1 Medidores y generadores de potencia óptica.....	19
1.6.2 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)	19
Capítulo 2. Mediciones de capa física de los enlaces.....	20
2.1 Mediciones de pérdidas por inserción de los enlaces de fibra óptica	23
2.2 Mediciones de atenuación y distancia de los enlaces de fibra óptica	25
Capítulo 3. Análisis de resultados y propuestas de soluciones.....	31
3.1 Análisis de parámetros contra recomendaciones internacionales publicadas por UIT.....	31
3.2 Desarrollo de soluciones a todos los eventos que generen fallas.....	36
Capítulo 4. Atención de eventos y resolución de fallas.....	37
4.1 Actividades de resolución de fallas en los enlaces de fibra óptica	37
4.2 Análisis de eventos que pueden generar fallas en el futuro	38
Capítulo 5. Conclusiones.....	41
Capítulo 6. Referencias.....	43

Capítulo 1 Marco Teórico

Objetivos.

- Obtener los parámetros de atenuación y pérdidas de inserción de los enlaces A, B, C y D de la red metropolitana de fibra óptica.
- Determinar si los enlaces A, B, C y D de fibra óptica analizados tienen sus elementos conforme a recomendaciones internacionales ITU-T.
- Determinar si las instalaciones de los elementos de red fueron instaladas correctamente
- Encontrar o proponer soluciones en caso de encontrar problemas en los enlaces de fibra óptica.

1.1 Planteamiento del problema

Se requiere medir, analizar y en su caso reparar una red metropolitana de fibra óptica en la Ciudad de México, que está considerada como aquella que tiene una distancia geográfica de 10 Km entre procesadores [1].

Es bien sabido que en México se tiene infraestructura de fibra óptica la cual está olvidada por los operadores, así mismo en opinión de Ernesto Piedras, director de The Competitive Intelligence Unit que es una consultoría estratégica de dimensionamiento e investigación de mercados con alcance global y especialización en América Latina “México tiene un déficit importante de infraestructura. Es un hecho que el país no cuenta con la fibra que necesita, además de que la que existe no está en todos los casos bien distribuida” y ahora siendo una necesidad urgente de hacer el cambio de medio a fibra óptica, para soportar altas velocidades que con cobre no se pueden alcanzar. Un análisis de Cisco prevé un incremento mayor en Gigabytes para el 2021 [2].

Considerando la demanda de servicios en telecomunicaciones que crece de manera exponencial, surge el problema el cual es la necesidad de caracterizar y habilitar toda la fibra óptica que ya se encuentra instalada, así como planear las nuevas redes aprovechando los recursos ya existentes, para facilitar el despliegue de nueva fibra que cubra totalmente la ciudad.

Siendo la fibra óptica el medio de comunicación relativamente actual, se tiene aún desconocimiento del manejo y algunas propiedades de la misma, adicionalmente se continúan haciendo mejoras en dicha tecnología, que ha provocado un inadecuado manejo, uso y planeación de las redes de fibra óptica ya instaladas.

Además, dado que se tienen tramos de fibra con características y parámetros diferentes ya que han sido instaladas en diferentes periodos de tiempo, donde se tomaron recomendaciones vigentes correspondientes al año de instalación. En las tablas 1.1 y 1.2 se muestran recomendaciones a las características de las fibras con 10 años de diferencia.

Cuadro 4/G.652-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, 6-9,5 μm
	Tolerancia	$\pm 0,6 \mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125,0 μm
	Tolerancia	$\pm 1 \mu\text{m}$
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	λ_{omin}	1300 nm
	λ_{omax}	1324 nm
	Somax	0.092 ps/ (nm ² x 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 ± 3 nm	(Nota 3)
	Máximo a 1550 nm	0,3 dB/Km
Coeficiente de PMD	M	20 cables
	Q	0,01%
	PMD_Q máximo	0,20 ps/ $\sqrt{\text{Km}}$
NOTA 1- De conformidad con 6.2, se especifica un valor máximo de PMD_Q en la fibra no cableada para soportar el requisito primario de PMD_Q del cable.		
NOTA 2- Esta región de longitud de onda puede ampliarse hasta 1260 nm añadiendo 0,07 dB/Km de pérdida por dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm. Este caso, la longitud de onda de corte del cable no deberá sobrepasar 1250 nm.		
NOTA 3- La atenuación media detectada en muestras a esta longitud de onda debe ser menor o igual de valor especificado para el intervalo 1310 nm a 1625 nm después del proceso de envejecimiento del hidrógeno conforme a IEC 6079-2-50 en relación con la categoría de fibra B1.3.		

Tabla 1.1. Atributos de fibra recomendación G.652 aprobada 2005-06-29 [4]

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 máxima	$0,20 \text{ ps}/\sqrt{\text{Km}}$
<p>NOTA 1- Los valores del coeficiente de atenuación enumerados en esta tabla no se deben aplicar a cables cortos como cables de puente, cables interiores y cables de derivación. Por ejemplo, [b-IEC 60794-2-11] especifica el coeficiente de atenuación de los cables interiores como 1.0 dB / Km o menos a 1310 y 1550 nm. Coeficiente de atenuación a una longitud de onda mayor que 1625 nm (para fines de monitoreo) no es bien conocido. En general, la atenuación aumenta a medida que aumenta la longitud de onda, y muestra una dependencia de la longitud de onda pronunciada debido a las pérdidas de macro y micro perforación</p> <p>NOTA 2- Esta región de longitud de onda se puede extender a 1260 nm añadiendo 0,07 dB / Km de pérdida de dispersión de Rayleigh inducida al valor de atenuación a 1310 nm.</p>		

Tabla 1.2. Atributos de fibra recomendación G.652D aprobada 2016-11-13 [5]

Si bien las tablas 1.1 y 1.2 pueden ser muy parecidas, importancia de ellas está en los cambios respecto a la tolerancia tanto en el diámetro del campo modal, actualmente es de $\pm 0.4 \mu\text{m}$ debido a la reducción del campo, adicionalmente la tolerancia del diámetro del revestimiento es mayor, todos estos cambios en las características son realizados después de varios estudios para mejorar la comunicación.

La importancia de conocer las características de la fibra es que algunas tienen menor resistencia a los dobleces o tienen menor resistencia a presión en ella, que pueden provocar grandes pérdidas. Conociendo las características de la fibra se debe manipular de diferente manera, para lograr la mejor comunicación.

Otra característica importante es que la mayoría de las personas que instalan fibra óptica no tienen conocimientos sobre ella y lo hacen como si fuera instalación de cableado de cobre, esto hace el problema más grande en una instalación de fibra óptica, ya que se requiere tener limpieza en la manipulación, cortes y empalmado de la fibra óptica, si a esto se le agrega que la mayoría economiza en equipo de instalación, el resultado es más grave, ya que al utilizar malas cortadoras, el corte no se suele realizar a 90 grados, también puede provocar fisuras o grietas que al empalmar quedan como burbujas de aire y con el paso del tiempo, aunado a los cambios climáticos, provocarán que se presenten fracturas o cortes de fibra, de igual manera si se tiene una empalmadora de baja calidad que no muestre la pérdida del empalme se corre el riesgo de no saber qué tan bueno es el enlace. Es muy importante que todas las instalaciones y mantenimientos de la fibra óptica sean con equipos calibrados.

1.2 Propuesta de solución y resultados esperados

Como solución se pretende analizar los enlaces de fibra óptica que componen una Red Metropolitana, esto se realiza con equipos especializados de última generación que nos permitirán dar un diagnóstico de la situación actual de los enlaces, en caso de ser necesario implementar algunas soluciones a los problemas encontrados.

La primera etapa es acceder a alguna o algunas de las estaciones de distribución de fibra óptica para medir los hilos que componen la Red Metropolitana de alta velocidad con un equipo OTDR (Optical time domain reflectometer), a dos longitudes de onda 1310 nm y 1550 nm, realizando dicho procedimiento se analizan las gráficas obtenidas para identificar si tenemos pérdidas por empalmes, conectores o curvaturas de la fibra. El análisis de las gráficas permitirá realizar un plan de trabajo, que se llevará a cabo una vez que se tengan todas las mediciones correspondiente a las pérdidas que presentan los enlaces, para delimitar en que distancias del enlace se realizarán trabajos de reparación adecuados para cada evento que se presente, logrando garantizar que la red Metropolitana estudiada opere en su totalidad, y a su máxima capacidad, hasta el momento se tienen contempladas algunas posibles causas las cuales pueden ser por empalmes mal realizados o el mal manejo de la fibra cuando se instaló y que haya provocado algún rompimiento de fibra, que en su momento no fuera visible y ahora con el paso del tiempo considerando que la fibra a estado sometida a cambios de temperatura y humedad, la fibra puede presentar fracturas y se puedan detectar con el equipo OTDR. No descartamos otro tipo de falla como ruptura de fibra por error o por algún roedor, y otras condiciones, que provoquen el desgaste propiamente del material con que se fabricó la fibra.

La siguiente etapa es medir la pérdida total de energía del enlace completo de estación a estación con un equipo MPO (medidor de potencia óptica) dicho procedimiento se realiza conectando en el inicio del enlace una fuente de luz láser que en este caso será enviado a dos longitudes de onda las cuales son 1310 nm y 1550 nm, en el otro extremo se coloca un detector de potencia el cual nos arrojará la pérdida total de potencia que presenta el enlace, dichas mediciones ayudarán a saber cuál es la pérdida total de potencia que presenta cada enlace y analizar que confiabilidad tiene para su uso.

Una vez que se tiene la información de las pérdidas que se están presentando en los enlaces de la Red Metropolitana, y que se cuenta con la ubicación donde se presentan los eventos que provocan las pérdidas, se realiza el plan de trabajo, para acudir al sitio donde se encuentra la falla con el equipo y material necesario para solucionar la falla.

Al completar la etapa previa con los eventos registrados reparados, se repite la etapa inicial, que es medir con equipo OTDR y MPO para comprobar que el enlace está funcionando correctamente y que los trabajos realizados para dar solución fueron realizados correctamente. En consecuencia, se podrá garantizar las comunicaciones en el enlace.

Para dar solución a los problemas se considera lo siguiente de acuerdo a cada situación:

Ruptura del cable:

En este caso se recomienda realizar un empalme haciendo uso de una empalmadora calibrada que trabaje utilizando alineación de núcleo, para garantizar un buen empalme y que no se tenga pérdidas en caso que se tenga que cambiar algún tramo por otra fibra. Es necesario considerar que este procedimiento requiere de un riguroso cuidado en el manejo y limpieza de la fibra para tener la menor pérdida posible, realizando la manipulación adecuada se puede garantizar una pérdida máxima de 0.01 dB o ideal de 0.00 dB.

Empalme mal realizado:

Lo recomendado es romper el enlace mal hecho y realizar un nuevo empalme, puesto que, aunque no esté rota la fibra la comunicación es mala, por las grandes pérdidas que presenta. De igual manera que la situación anterior realizando el empalme con una empalmadora calibrada y con las medidas necesarias de cuidado y limpieza se puede tener una pérdida máxima de 0.01 dB o ideal de 0.00 dB.

Conectores:

Al tratarse de una red ya instalada y operando, los conectores utilizados son de tipo mecánicos, que tienen como complicación que su ensamble y pulido dependen de la habilidad de la persona que lo instaló, además de utilizar jumper prefabricados los cuales no quedan justos en los racks y provoca gastos adicionales en el mantenimiento de la red. Hoy en día se tiene un nuevo tipo de conectores basados en empalme (Lynx2) [3], los cuales tienen como característica que no dependen de la habilidad de un instalador para el pulido o conexión ya que se realizan como un empalme normal, su presentación consta de la fibra pre-pulida y pre-cortada que viene sellada al vacío para mantenerla limpia lista para empalmar en la fibra óptica, por tal motivo se sugiere cambiar en su totalidad los conectores de tipo mecánico a conectores basados en empalme; en caso de no ser posible, cambiar al menos los que estén provocando más pérdidas. Esto considerando que por sí solo un conector mecánico tiene una pérdida mínima de 0.25 dB y un conector basado en empalme tendría una pérdida máxima de 0.01 dB o ideal a 0.00 dB, realizando este

procedimiento se reduciría en gran cantidad la pérdida del enlace. Pero lo más importante es que se evitaría la Reflectancia con el empalme.

Daño en fibra por condiciones ambientales, físicas o roedores:

La fibra óptica se encuentra sometida a cambios de temperatura y humedad, dichos cambios afectan en la estructura de la fibra que con el paso de los años provoca fisuras y rupturas internas de la fibra, generando pérdidas en la señal, de igual manera si se tienen animales destructores cerca se corre el riesgo de que muerdan la fibra provocando la incomunicación. Para este caso se recomienda revisar físicamente la trayectoria que lleva la fibra y de ser posible aislar la fibra de la humedad y en el caso de los roedores colocar la fibra a una altura considerable donde no puedan acceder a ella.

1.3 Fibra óptica

Una fibra óptica es un medio de transmisión guiado, su fabricación y construcción consta de 5 componentes los cuales son los siguientes:

Núcleo: primer componente y el más importante porque es donde se lleva la luz. Es un núcleo de vidrio o sílice dopado generalmente de germanio para ajustar los índices de refracción.

Revestimiento: se encuentra alrededor del núcleo la cual es una capa de vidrio más delgado que cubre al núcleo, con un índice de refracción distinto al del núcleo.

Cubierta interna: consta de una capa plástica que es el primer punto de aislamiento de la fibra con el exterior y que además brinda resistencia a la fibra.

Hilo de Kevlar: material muy resistente que ayuda en el manejo y tensión del cable, dando mayor resistencia a las tensiones del cable y que pueda soportar tirones de la fibra sin dañarla o dañar los conectores.

Cubierta externa (jacket): es un polímero duradero y de mayor densidad que la cubierta interna, su función es proteger la fibra óptica del ambiente (humedad, polvo, etc.).

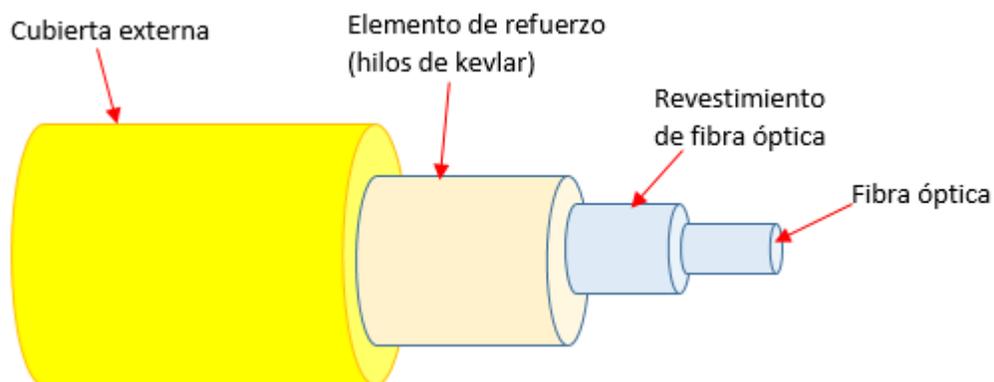


Figura 1.1. Elementos básicos de un cable óptico simple

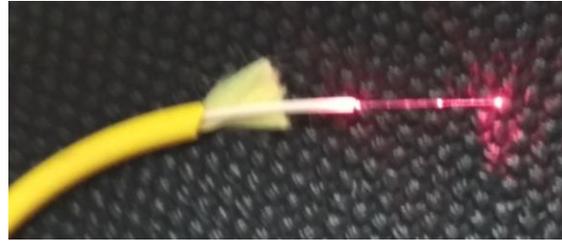


Figura 1.2. Fibra óptica monomodo

Se tienen varios tipos de fibra óptica de acuerdo a algunas de sus características, como se muestra en la tabla 1.3.

Tipos de fibras		
Modos de propagación	<p>Monomodo (single mode)</p>	<p>Multimodo (multimode)</p>
Diámetro del núcleo	<p>Monomodo 9/125</p>	<p>Multimodo 62,5/125 Multimodo 50/125</p>
Por perfil de índice	Índice escalonado (SI)	Índice escalonado (SI), índice gradual (GI)
Color de jacket	Amarillo	Naranja

Tabla 1.3. Tipos de Fibra [6]

1.3.1 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:

Baja Atenuación:

La atenuación de la fibra óptica se determina por varios factores; estos son la pérdida por sí sola del cable de fibra óptica la cual para fibra monomodo es de 0.25 dB/Km, mientras que la atenuación más baja en cable coaxial es de 0.59 dB/Km a una frecuencia de 0.06 MHz [6], para el cálculo de un enlace se consideran las pérdidas por empalme, conectores y curvaturas, utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \alpha L + \alpha_s x + \alpha_c y$$

Donde:

α coeficiente de atenuación típico de los cables de fibra en un enlace

α_s atenuación media por empalme

x numero de empalmes en un enlace

α_c atenuación media de los conectores de línea

y numero de conectores de línea de un enlace (si se facilita)

L longitud del cable

Ecuación 1.1. Cálculo de atenuación del cable [4]

La baja atenuación en la fibra nos permite tener largas distancias de transmisión.

La atenuación también depende de la longitud de onda, por lo tanto, tenemos ventanas de transmisión donde la atenuación es menor en algunas longitudes de onda, la Figura 1.4 muestra las ventanas de transmisión donde operan las fibras ópticas.

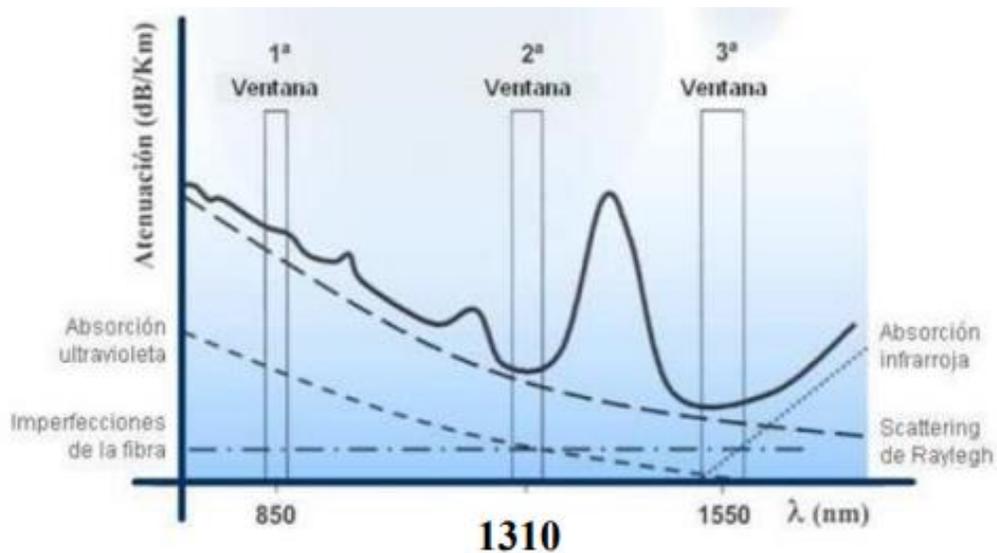


Figura 1.3. Ventanas de transmisión [7]

El uso de las ventanas de transmisión es el siguiente:

- Primera ventana: 850nm (Led, cortas distancias y multimodo).
- Segunda ventana: 1310nm (Láser, distancias medias y multimodo/monomodo).
- Tercer ventana: 1550 nm (Láser, largas distancias y monomodo). [7]

Capacidad de Transmisión:

Actualmente se transmiten archivos con una velocidad de 100 THz*Km/fibra independientemente del contenido ya sea señal o servicio. [8]

Seguridad:

Por el material con el que son fabricadas no es posible abrir el cable para obtener información, además de que los sistemas de monitoreo detectan rápidamente cuando una de sus fibras sufrió algún imperfecto y deja de transmitir.

Tamaño y peso reducido:

La fibra óptica tiene un menor tamaño y peso en comparación con otros medios guiados como cable coaxial, además de que actualmente se están desarrollando nuevos cables donde el radio del cable es pequeño y trae dentro cientos de fibras ópticas. Por ejemplo, el cable Ribbon de la marca Sumitomo modelo 3456F es un cable que lleva dentro 3456 hilos de fibra independientes con un peso de 750 Kg/Km [9] dando como resultado que un hilo de fibra pesa 0.2 Kg/Km que es un peso bastante pequeño y se muestra en la Figura 1.5.

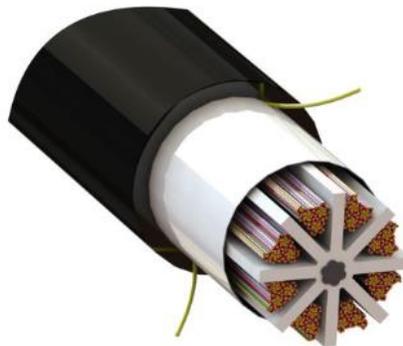


Figura 1.4. Fibra Ribbon Sumitomo [9]

Inmune a IME (interferencia electromagnética):

Es inmune a interferencia electromagnética debido a su composición de material dieléctrico, lo cual le permite estar en situaciones adversas sin resultar afectado, tales como tormentas y altas presiones.

1.3.2 Equipos de medición

El equipo utilizado para medición en fibra óptica es un equipo especializado el cual mide las características de la fibra para definir si está trabajando adecuadamente. Son equipos utilizados para medición, reparación de redes y para detectar y localizar fallas [9]. Además, analizan elementos de la red como conectores y empalmes. Algunos de estos equipos son OTDR que se describe en el apartado 1.6 y OLTS como los mostrados en la figura 1.5.



Figura 1.5. Equipos de medición OTDR. [10]

OLTS es un conjunto de equipos utilizados para determinar la pérdida de potencia de un enlace, consta de una fuente de luz conectada en un extremo de la fibra además de un detector de potencia en el otro extremo del enlace.

1.4 Manejo de cables de fibra óptica

La importancia del manejo de la fibra radica en que a pesar de ser un material resistente y de apariencia fuerte no puede ser manipulado como cable de cobre, pues algunos jalones o golpes fuertes pueden dañar la estructura de la fibra sin que sea visible.

1.4.1 Técnicas inspección y limpieza de conectores ópticos

“Las investigaciones revelan que hasta el 75% de todas las fallas de la red óptica se atribuyen a la mala calidad del conector” [11]. Para evitar que nuestra red falle se inspeccionan los conectores ópticos con una sonda de inspección la cual su función es dar la imagen exacta de nuestro conector utilizando un microscopio óptico, dicha sonda está conectada con un software el cual define si nuestro conector está en condiciones de ser utilizado, conforme al estado de imperfecciones que presente el conector.

Para la limpieza de los conectores hay diferentes herramientas de muchos fabricantes en el mercado:

Toallas húmedas: son pequeños sobres que contienen una toalla la cual se debe sacar y tomar solo de una orilla para frotar en el conector, sin que las manos entren en contacto con él, ya que las toallas podrían contaminarse de la grasa o polvo que se tenga en ellas, generalmente se utilizan con conectores muy sucios.

Toallas secas: se encuentran en diversas presentaciones, tienen la misma función de las toallitas húmedas, la diferencia radica en que se toman de un pequeño lado y se humedecen con alcohol isopropílico para limpiar, como se muestra en la figura 1.7.

Cassete de limpieza: es una caja que dentro contiene una tira en la cual se pasa el conector para limpiarlo, cada uso la tira de limpieza se mueve, tiene la gran ventaja que el material de

limpieza está aislado y no se puede manipular con las manos para no ensuciarlo, como se muestra en la figura 1.6.



Figura 1.6. Cassette de limpieza



Figura 1.7. a) Alcohol Isopropílico b) Toallas secas

1.4.2 Cajas de empalme

Las denominadas cajas de empalme son cajas construidas con un polímero resistente, el cual tiene la función de proteger los empalmes en rollos de fibra óptica de las condiciones ambientales como polvo, húmedas, insectos, entre otros.

Se pueden encontrar en el mercado una gran variedad de tamaños y formas de cajas de empalme que se adecuan a las condiciones de instalación, además de la cantidad de fibra que resguardarán, como se muestran en la figura 1.8.

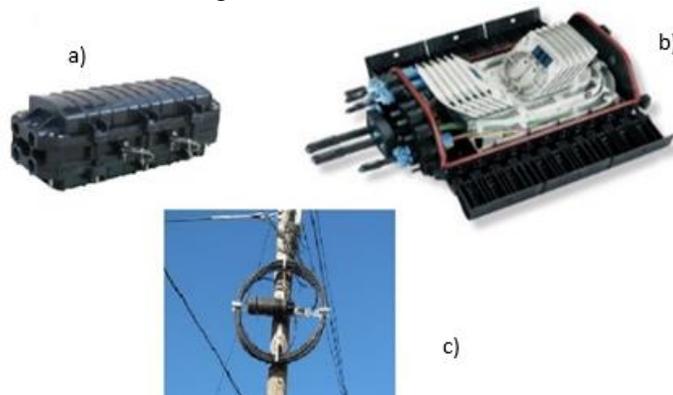


Figura 1.8. a) Caja de empalme b) Interior de Caja de empalme c) Caja de empalme en campo.

1.4.3 Instalación de cables ópticos en planta interna

Para realizar la instalación de cables de fibra óptica se requiere de una planeación de la red, la cual debe incluir las especificaciones del material a utilizar además de la ruta en los inmuebles que seguirá la fibra óptica, además de tener considerado que la red sea planeada para crecer en algún momento o no. Todos estos datos son importantes a considerar para hacer una distribución de fibra adecuadamente.

De acuerdo con especificaciones de la asociación FOA (fiber optic association) “El cableado en planta interna implica distancias cortas, pocas veces mayores a unos cientos de metros, generalmente con menor cantidad de fibras por cable. Mayormente se utiliza fibra multimodo, excepto en caso del usuario informado que instala cable híbrido con fibra multimodo y monomodo para futuras aplicaciones de gran ancho de banda.

Prácticamente no se utilizan empalmes por fusión en las instalaciones de planta externa. Los cables para la conexión entre edificios pueden ser con doble revestimiento, uno de polietileno para planta externa sobre otro de PVC, para instalaciones en edificios que requieran revestimientos de cable con propiedades ignífugas. Hoy en día, los conectores tienen generalmente menor pérdida que los empalmes, y los paneles de conexión otorgan mayor flexibilidad para movimientos, adiciones y modificaciones.

Los conectores más utilizados son los de tipo SC o ST, y los de tipo LC están comenzando a ser más populares. Las terminaciones se realizan instalando conectores directamente en los extremos de la fibra, principalmente mediante el uso de técnicas de empalme con adhesivos o conectores pre-pulidos. Las pruebas se realizan con una fuente y un medidor, pero cada instalador debería tener un indicador por destellos de luz para verificar la continuidad de la fibra y la conexión” [17].

Es importante realizar las instalaciones con equipo calibrado, certificado, para garantizar que no se pierda la inversión en la creación de la red.

1.4.4 Instalación de cables ópticos en planta externa

De la misma manera que es necesario realizar la planeación de la red en planta interna, es necesario realizar la planeación de planta externa, donde se obtendrán las cantidades necesarias para instalar la red, además de la trayectoria que seguirá.

“Las empresas de telefonía, de televisión por cable y de internet utilizan fibra óptica, la que casi en su totalidad se encuentra afuera de edificios y a la que se hace referencia como planta externa (OSP), ya que cuelga de postes, está bajo la tierra, atraviesa conductos subterráneos o incluso puede estar sumergida bajo el agua. La mayoría atraviesa largas distancias, que van desde unos pocos metros hasta unos cientos de kilómetros. Generalmente los cables de la planta externa tienen una cantidad muy elevada de fibras, hasta 288 o más. Los diseños de los cables se han optimizado según su aplicación: los cables para conductos están optimizados para estar sometidos a tracción y ser resistentes a la humedad; los cables subterráneos están optimizados para resistir la humedad y los daños causados por roedores; los cables aéreos, lo están frente a la tracción continua y condiciones meteorológicas extremas; y los cables submarinos están optimizados para resistir la penetración de humedad. La instalación requiere equipamiento especial, como tiradores de cable, e incluso remolques para transportar enormes bobinas de cable.

Las largas distancias implican cables empalmados, ya que los cables no se fabrican de longitudes mayores a 4 - 5 km. (2.5 - 3 millas), y la mayoría de los empalmes se realizan mediante empalmes por fusión. Se empalman conectores (generalmente SC o LC) al final del cable convirtiéndolos en cables de fibra conectorizados (*pigtails*). Luego de la instalación, se prueban todas las fibras y los empalmes con un OTDR (reflectómetro óptico en el dominio de tiempo)” [17].

El trabajo de la instalación en planta externa requiere de mayor esfuerzo y material, ya que el tendido de la fibra se realiza con grúas, soportes para el tendido en postes, todo esto debe ser de polímeros más resistentes que en planta interna, para evitar fallas.

1.5 Equipo para empalme de fibra óptica

Un empalme de fibra óptica es la unión de dos fibras, dicha unión puede ser con diferentes métodos. El equipo utilizado para empalmes de fibra óptica consta de varios equipos y materiales tales como, empalmadoras y conectores.

Una empalmadora es un equipo el cual funciona realizando un arco eléctrico que funde las puntas de las dos fibras a unir, el correcto empalme depende de la calidad del equipo utilizado. De igual manera la calidad de empalme con conectores depende del material utilizado.

Los conectores se diferencian por su color y forma que define el tipo de pulido que utilizan como se muestra en la tabla 1.4

Tipo de conector	FC	
	LC	
	SC	
Azul	UPC	Pulido a 90°
Verde	APC	Pulido angular 8°

Tabla 1.4. Tipos de conectores.

1.5.1 Conectores Ópticos Mecánicos

Un conector óptico mecánico como se muestra en la figura 1.9 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 del técnico que lo arma y pule.



Figura 1.9. Conectores mecánicos.

1.5.2 Conectores ópticos basados en empalme de fusión de fibra óptica

Un conector óptico basado en empalme como se muestra en la figura 1.10 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.

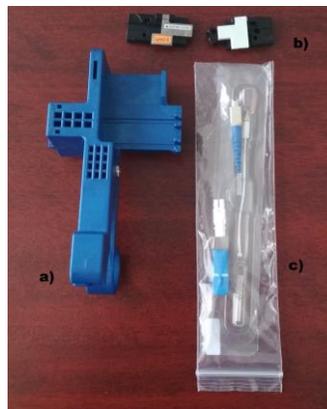


Figura 1.10. Equipo para realización de Lynx a) Pinza peladora b) Acopladores c) Conector.

1.5.3 Empalmadoras de fusión con alineamiento por revestimiento activo

Las empalmadoras de fusión con alineamiento por revestimiento activo, como se muestra en la figura 1.11, son utilizadas para hacer reparaciones de fibra que se encuentra utilizada, esto es que se está enviando información, normalmente se utiliza este tipo de empalmadoras para activar de manera rápida un enlace de alta importancia que por alguna causa la fibra está cortada.



Figura 1.11. Empalmadora de fusión con alineamiento por revestimiento activo

1.5.4 Empalmadoras de fusión con alineamiento por núcleo

Las empalmadoras con alineamiento por núcleo como se muestra en la figura 1.12 son las empalmadoras más utilizadas en el mercado ya que su función facilita el empalme de fibras ya que no considera el grosor del revestimiento, de igual forma ajusta el núcleo sin importar que en su fabricación el núcleo no estuviera centrado en la fibra. Hoy en día existen empalmadoras que trabajan con 6 motores para lograr el ajuste de las fibras en 3 ejes.

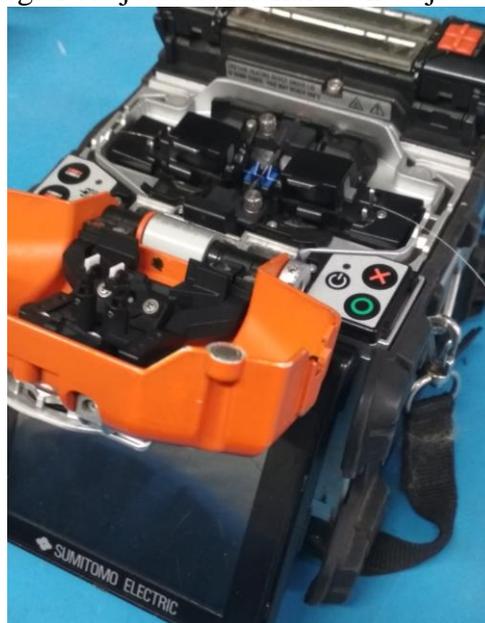


Figura 1.12. Empalmadora de Fusión por alineación de núcleo.

1.6 Instrumentos de medición para fibra óptica de comunicaciones

Los instrumentos de medición para fibra óptica son de alta importancia y deben de tener la mejor resolución posible, dado que con ellos se garantiza que el enlace no este presentando demasiadas pérdidas, además de poder caracterizar la fibra y encontrar eventos que nos ocasionen pérdidas en algún momento.

1.6.1 Medidores y generadores de potencia óptica

Medidores y generadores de potencia como se muestra en la figura 1.13 son equipos que trabajan en conjunto, los cuales se utilizan para medir la pérdida ORL (optical return loss) de todo el enlace, dicho procedimiento se realiza colocando en un extremo del enlace la fuente de luz y en el extremo contrario colocando el medidor de potencia, una vez que están conectados se manda una señal para registrar en el medidor de potencia la pérdida que ofrece el enlace.



Figura 1.13. Fuente de Luz y Medidor de Potencia [18].

1.6.2 Reflectómetro óptico en el dominio del tiempo (OTDR)

Un equipo OTDR como se muestra en la figura 1.14 es el encargado de medir un enlace para determinar cuántos eventos se encuentran. Lo realiza enviando un pulso de luz a cierta longitud de onda que al encontrar un evento provocara un evento de retorno el cual al llegar al equipo se registrara y tomara el tiempo que tardo en encontrar el evento para así determinar la distancia a la que se encuentra.

Es una herramienta que nos proporciona además del lugar donde se encuentra el evento, la pérdida que está presentando para dar solución y no perder el enlace.



Figura 1.14. Equipo OTDR

Es importante conocer la simbología que ofrece cada equipo de OTDR para realizar una correcta interpretación, en la tabla 3.4 se muestra los símbolos utilizados por el OTDR Anritsu MT9090A que se utilizó en el trabajo.

Capítulo 2. Mediciones de capa física de los enlaces.

Al hablar de capa física nos referimos a la parte tangible de la red, siendo el medio físico de la red que está compuesto por la fibra óptica y conectores que la componen.

En las figuras 2.1-2.4 se muestran las trayectorias de los enlaces medidos, así como la localización de cada uno de los eventos que se encontraron con las mediciones de OTDR que se muestran en el punto 2.1.

Como podemos observar en los mapas se trata de enlaces largos de más de 30 Km entre puntos, cumpliendo con la característica de una Red Metropolitana.

La importancia de las mediciones de capa física de los enlaces se encuentra en su definición, en la capa física se realiza la codificación o decodificación de la señal que es transmitida por el medio, que en esta red se trata de fibra óptica, donde se debe tener mayor cuidado para garantizar que durante el trayecto se tenga la menor pérdida de información.

La pérdida de información se da debido a dispersión de los pulsos de luz, que son provocados por diferentes eventos como empalmes o conectores.

Adicionalmente en el medio físico cuando se trabaja con fibra óptica es la consideración de los transductores que se encuentran en los equipos instalados, que por mal manejo o mala calidad reduzcan la capacidad de transmisión o recepción de la señal.

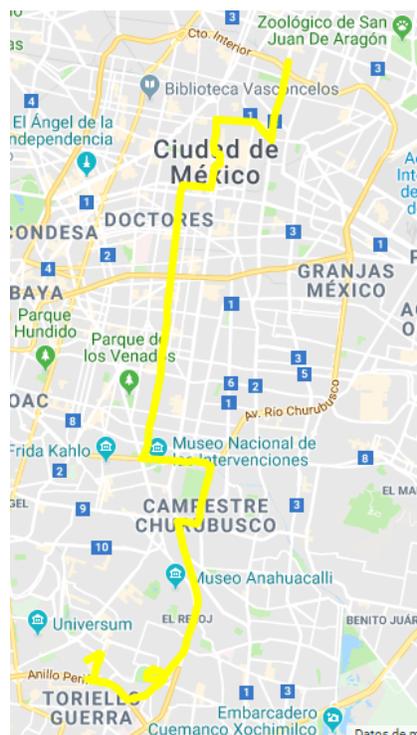


Figura 2.1. Mapa del enlace A



Figura 2.2. Mapa del enlace B

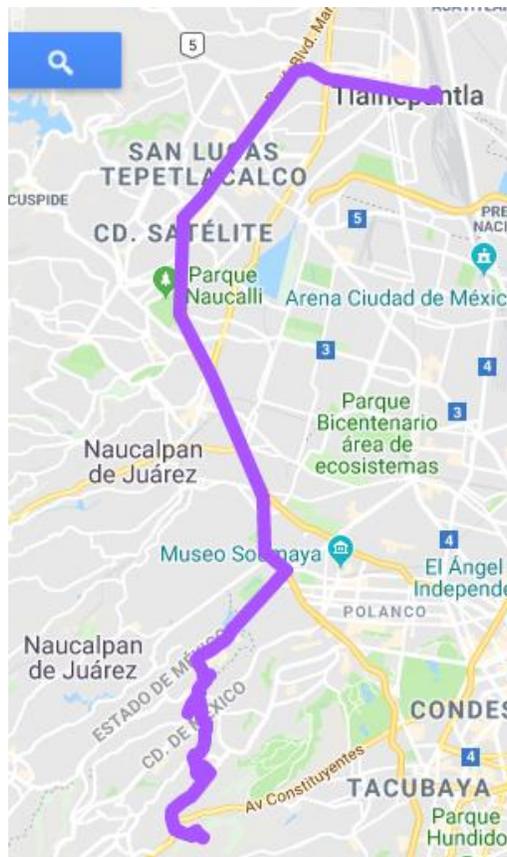


Figura 2.3. Mapa del enlace C



Figura 2.4. Mapa del enlace D



Figura 2.5. Mapa de la red metropolitana estudiada.

En la figura 2.5 se muestran todos los enlaces medidos, los cuales se encuentran por casi toda la Ciudad de México, son enlaces activos actualmente que necesitan ser reparados para dar un mejor servicio.

2.1 Mediciones de pérdidas por inserción de los enlaces de fibra óptica

Las mediciones de pérdida de inserción de los enlaces fueron tomadas como se muestra en la figura 2.6.

El primer paso es referenciar el equipo lo cual se realiza con la conexión mostrada en la figura 2.6, donde se conecta la fuente de luz directamente con el medidor de potencia, ayudados de jumpers de prueba y un acoplador, una vez que arrojo la perdida se presiona el botón de “Ref” en el medidor de potencia.

Teniendo la referencia se quita el acoplador y ahora cada equipo se conecta en los extremos del enlace para obtener las mediciones correspondientes, dicha medición se realizó con la colaboración de un equipo de ingenieros coordinado en cada estación.

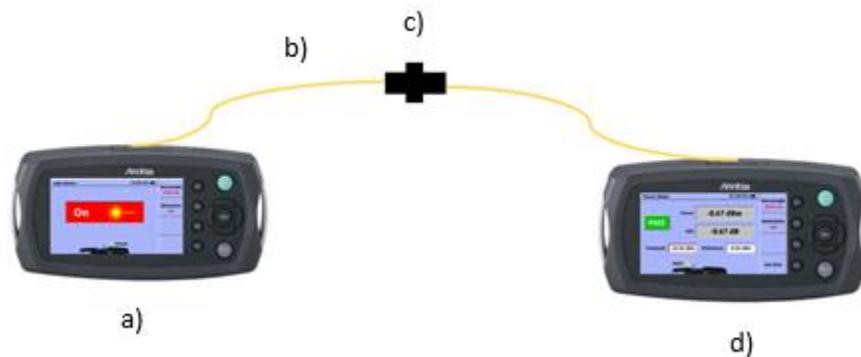


Figura 2.6. Conexión para Pérdidas por Inserción a) Fuente de luz, b) Jumper de prueba, c) Acoplador, d) Medidor de potencia.



Figura 2.7. Conexión de fuente de luz al enlace.

Una vez realizando los pasos descritos en la sección 2.1, se muestra en la tabla 2.1 los resultados obtenidos:

Enlace	Perdidas [dB]	Perdidas [dBm]
A	-32.83	-32.83
B	-25.42	-25.42
C	-16.5	-16.5
D	Imposible medir (enlace roto)	

Tabla 2.1. Pérdidas por Inserción de los enlaces

Considerando la información técnica del equipo utilizado para hacer las mediciones, se obtuvo la potencia de salida de la fuente de luz conforme a la Tabla 2.2.

Loss Test Set	
Models	MU909015C6/14C6
Fiber Type	10 μm/125 μm SMF (ITU-T G.652)
Measurement port	Light Source: Shared with OTDR port (1310/1550 nm OTDR port; Except options 059 and 069) Shared with OTDR port (1310/1490/1550 nm OTDR port; Options 059 and 069)
	Power Meter: Shared with OTDR port (1625 or 1650nm OTDR port; Except options 059 and 069) Dedicated port (Options 059 and 069)
Light Source	
Wavelength	1310±25 nm, 1550±25 nm (Except options 059 and 069) 1310±25 nm, 1490±25 nm, 1550±25 nm (Options 059 and 069)
Output Power	-5±1.5 dBm (CW, 25°C)
Output stability	≤0.2dB
Modes of Operation	CW, 270 Hz, 1 kHz, 2 kHz
Warm-up time	10 minutes (after optical output is turned ON)
Power Meter	
Wavelength	1310/1490/1550/1625/1650 nm
Measurement range	-50 to +26 dBm (CW) -40 to +13 dBm (270 Hz, 1 kHz, 2kHz)
Measurement Accuracy	±0.5 dB
Modes of Operation	CW, 270 Hz, 1 kHz, 2kHz

Tabla 2.2. Características de fuente de equipo de medición [14].

Como se puede observar en la tabla 2.2 la potencia a la salida del equipo de medición es mayor a la obtenida en la salida como se muestra en la tabla 2.1, así comparando las tablas 2.1 y 2.2 se espera encontrar en las mediciones de OTDR empalmes y conectores con muchas pérdidas, además ya se tiene el conocimiento de un enlace roto que con la prueba de OTDR se determinara en que distancia está el corte.

2.2 Mediciones de atenuación y distancia de los enlaces de fibra óptica

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 2.3.

Resolución	Normal
Rango	50 Km
Pulso	200 ns
Longitud de onda	1550 nm
Tiempo de adquisición	10 s

Tabla 2.3. Configuración de Equipo OTDR.

Se decidió configurar la prueba de OTDR a 50 Kilómetros, dado que el operador de la red, proporcionó una distancia aproximada de 30 Km de todos los enlaces, el ancho del pulso resultó de varias pruebas realizadas siendo este el apropiado para observar todos los eventos.

Enlace A: En figura 2.1 se muestra el resultado al medir el enlace A con el equipo OTDR donde se pueden observar tres eventos intermedios.

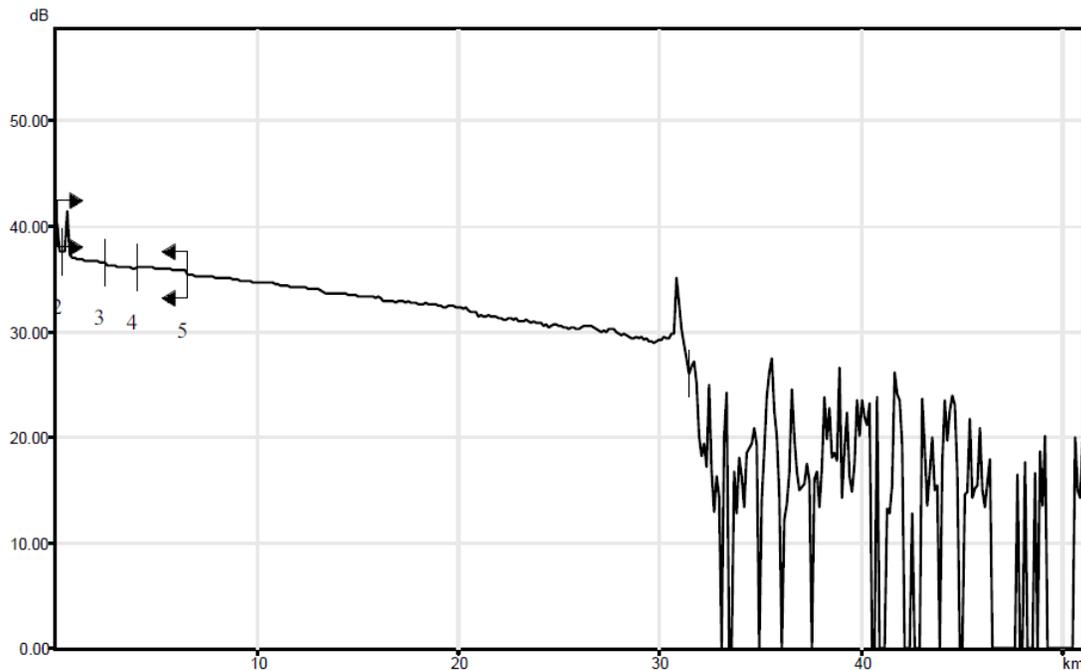


Figura 2.1. Trazo de medición del Enlace A.

Realizando un acercamiento que se muestra en la Figura 2.2, podemos observar mejor los eventos y definir la causa de cada uno de ellos.

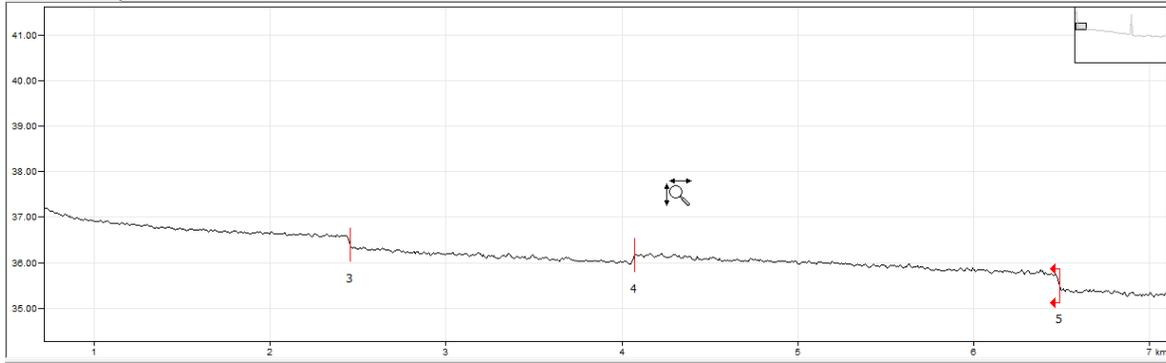


Figura 2.2. Acercamiento a eventos de enlace A.

El resultado de las mediciones al primer enlace se muestra en la tabla 2.4, que contiene el tipo de evento y su pérdida correspondiente, que serán definidos en la tabla 3.5.

	Ubicación(km)	Evento-Evento		Pérdida(dB)	Reflectancia(dB)
		(dB)	(dB/km)		
□	0.5178	0.37	0.709	0.67(2P)	-26.64
∩	2.4338	0.28	0.146	0.30	
∪	4.0523	0.32	0.200	-0.22	
∪	6.4675	0.45	0.188	-0.11	
□	31.4938	??	??Fuera del rango		

Tabla 2.4. Eventos encontrados en el enlace A.

Enlace B: en la figura 2.3 se muestra el resultado al medir el enlace B con el equipo OTDR donde se pueden observar tres eventos intermedios.

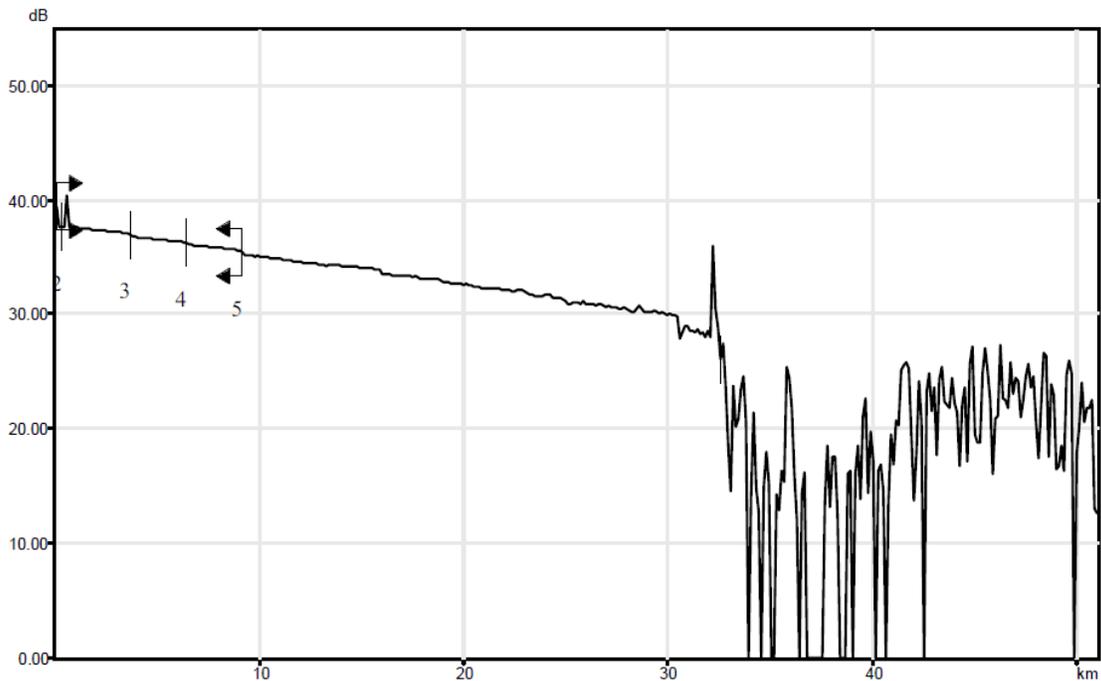


Figura 2.3. Trazo de medición de enlace B.

La figura 2.4 muestra un acercamiento de los eventos a atender.

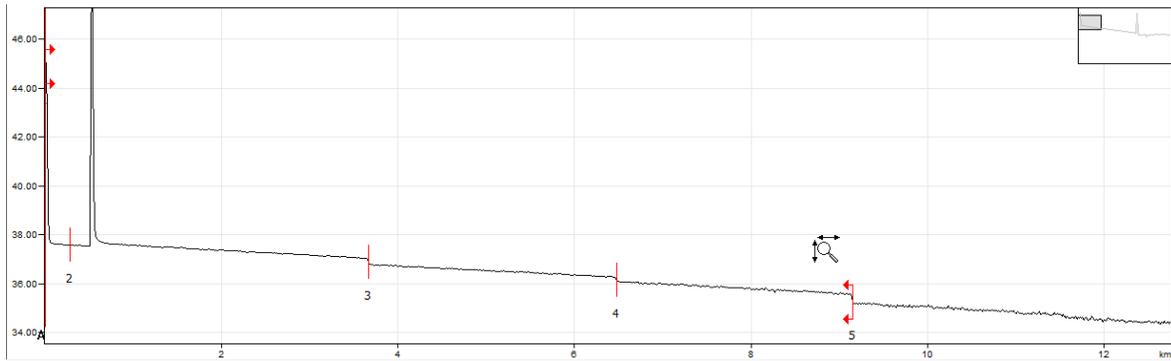


Figura 2.4. Acercamiento de eventos del enlace B.

La tabla 2.5 muestra qué tipo de evento se tiene además de la pérdida presentan y serán definidos en la tabla 3.5.

	Evento-Evento		Pérdida(dB)	Reflectancia(dB)
	Ubicación(km)	(dB) (dB/km)		
┌┐	0,5178	0.37 0.711	-0.12(2P)	-35.46
└┘	3,6481	0.63 0.202	0.27	
└┘	6,4540	0.49 0.176	0.20	
└┘	9,1281	0.50 0.186	0.19	
┌┐	32,5706	?? ??Fuera del rango		

Tabla 2.5. Eventos encontrados en el enlace B.

Enlace C: En figura 2.5 se muestra el resultado al medir el enlace C con el equipo OTDR donde se pueden observar tres eventos intermedios.

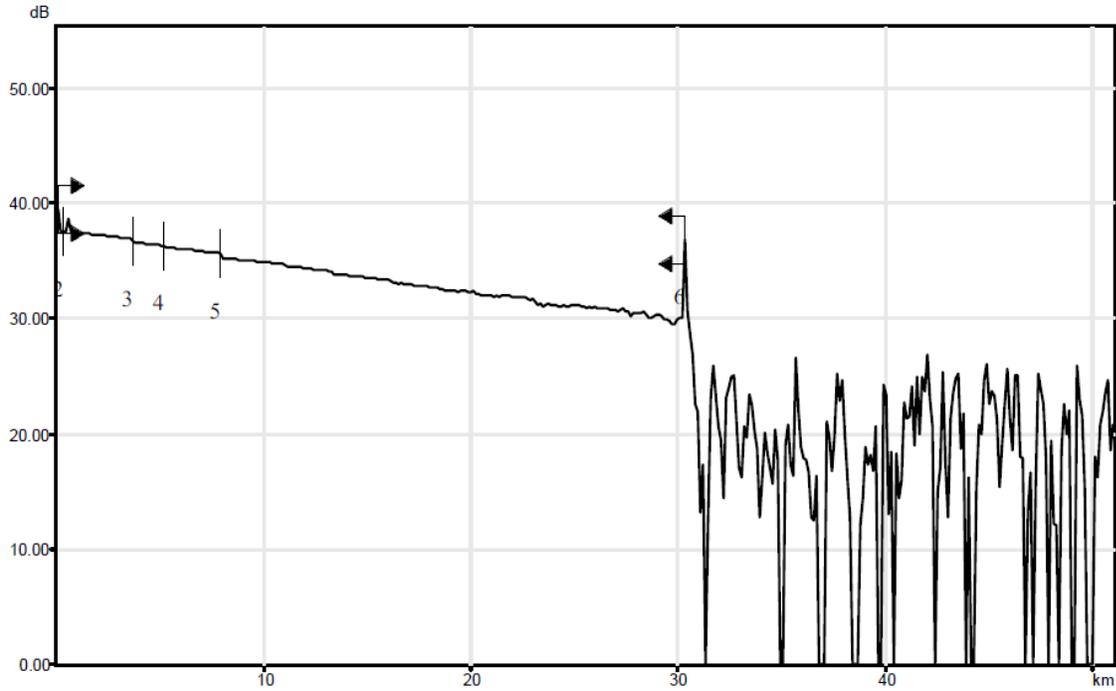


Figura 2.5. Trazo de mediciones con eventos del Enlace C.

El acercamiento de los tres eventos a atender del enlace C se muestran en la Figura 2.6.

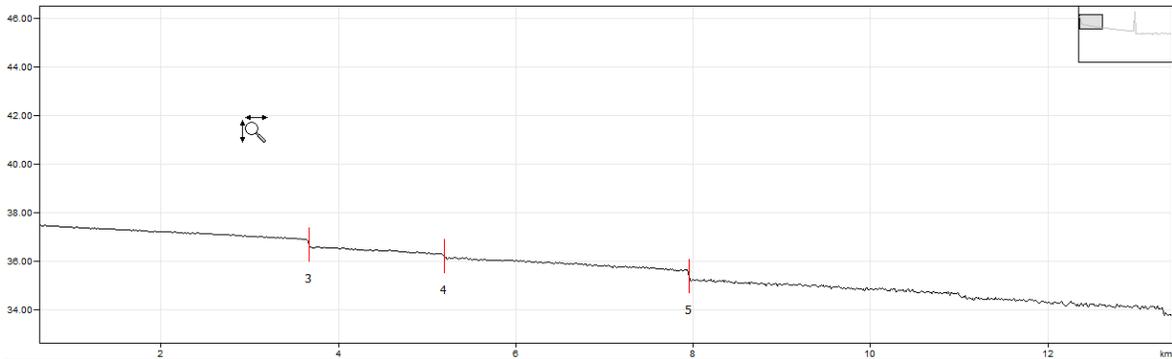


Figura 2.6. Acercamiento de eventos del enlace C.

Y la información de los eventos a atender con su pérdida se muestran en la tabla 2.6, que serán definidos en la tabla 3.5.

	Ubicación(km)	Evento-Evento (dB) (dB/km)		Pérdida(dB)	Reflectancia(dB)
↗	0,5180	0,41	0,787	0,01(2P)	-48,54
↘	3,6494	0,62	0,198	0,31	
↘	5,1780	0,27	0,179	0,11	
↘	7,9301	0,53	0,193	0,44	
↗	30,2927	5,14	0,230	-20,47	
↗	30,3224	0,22	7,259	>3,00	N/A

Tabla 2.6. Eventos encontrados en enlace C

Enlace D Lado Norte: en la figura 2.7 se muestra el resultado al medir el enlace D Lado Norte con el equipo OTDR donde se pueden observar tres eventos intermedios.

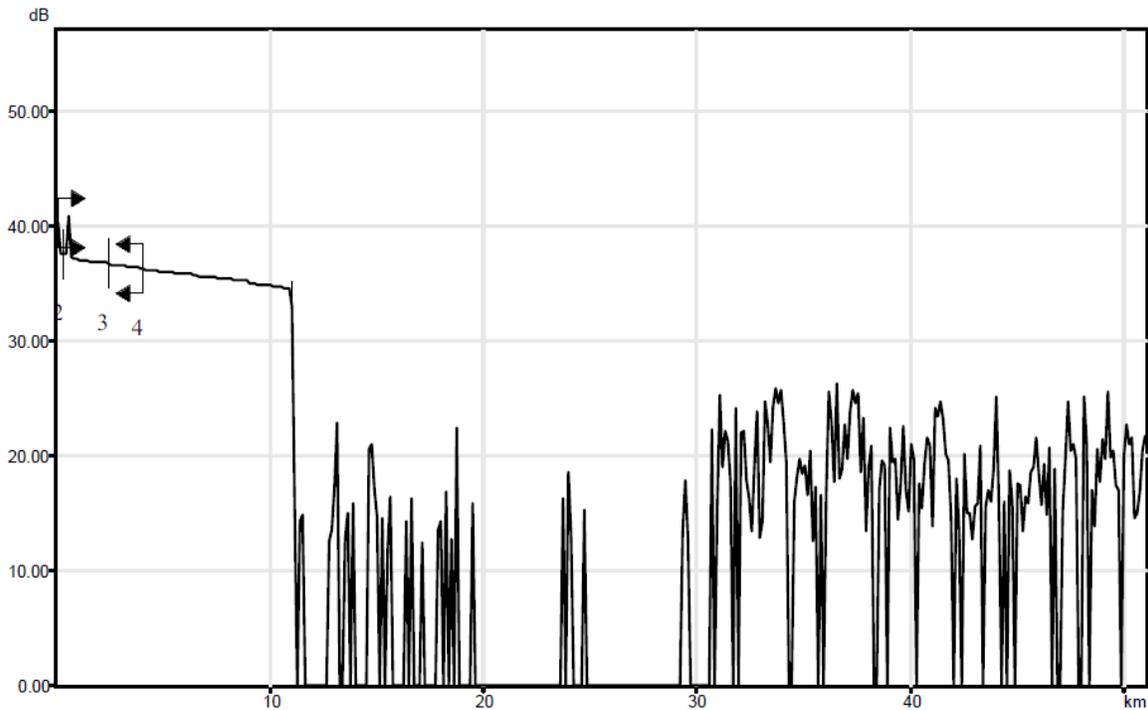


Figura 2.7. Trazo de mediciones con eventos de enlace D Lado Norte.

A diferencia de los enlaces anteriores, se encontró un enlace roto como se muestra en la figura 2.7, en donde solo se pueden observar dos eventos a atender además de la ruptura que se pueden observar en la siguiente tabla, además de las pérdidas correspondientes, que serán definidos en la tabla 3.5.

	Ubicación(km)	Evento-Evento		Pérdida(dB)	Reflectancia(dB)
		(dB)	(dB/km)		
┌	0,5178	0,38	0,735	0,47 (2P)	-29,71
└	2,4364	0,26	0,138	0,16	
└	4,0454	0,26	0,164	0,12	
┌	11,0413	1,62	0,232	>3,00	N/A

Tabla 2.7 Eventos encontrados en enlace D-Lado Norte.

Enlace D Lado Sur: en la figura 2.8 se muestra el resultado al medir el Enlace D Lado Sur con el equipo OTDR donde se puede observar un evento intermedio.

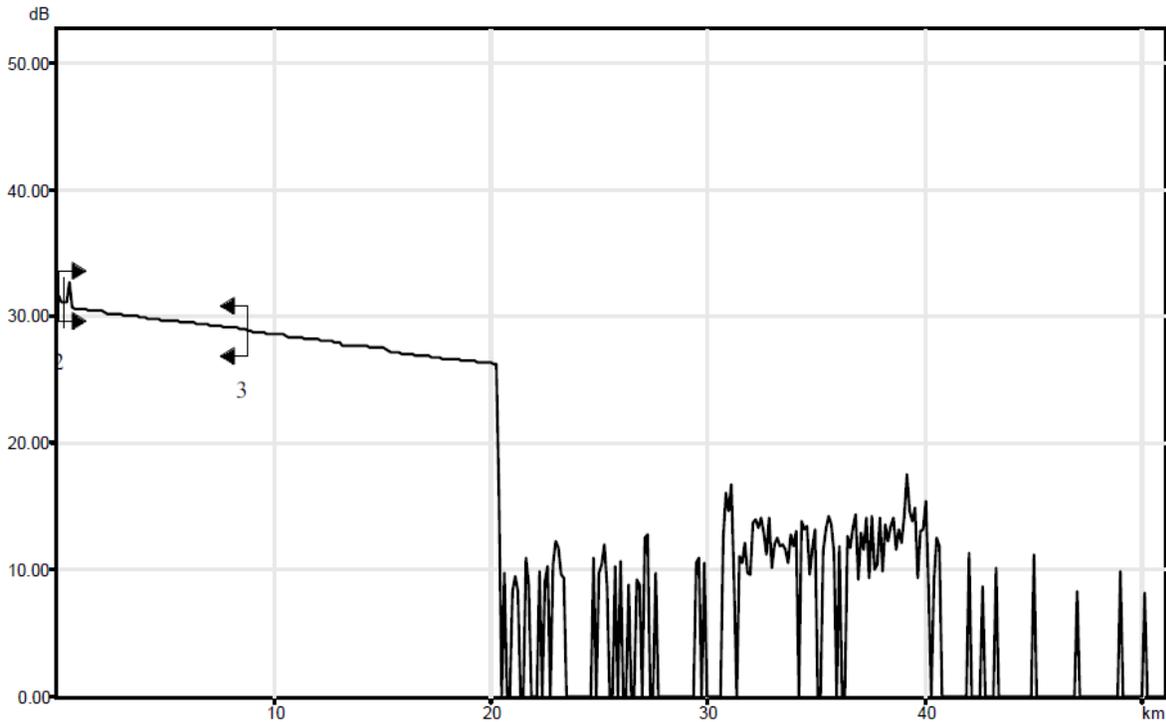


Figura 2.8. Trazo de mediciones con eventos de enlace D Lado Sur.

En la figura 2.8 es el otro extremo del enlace anterior donde solo tenemos un evento además del corte, en la siguiente tabla se muestra el evento y su respectiva pérdida, que serán definidos en la tabla 3.5.

	Ubicación(km)	Evento-Evento		Pérdida(dB)	Reflectancia(dB)
		(dB)	(dB/km)		
┌	0,5180	0,32	0,613	0,44 (2P)	-31,74
└	8,7041	1,63	0,199	0,09	
┌	20,3079	2,59	0,223	>3,00	N/A

Tabla 2.8 Eventos encontrados en enlace D- Lado Sur

Capítulo 3. Análisis de resultados y propuestas de soluciones.

3.1 Análisis de parámetros contra recomendaciones internacionales publicadas por UIT.

Para poder realizar un análisis adecuado de los eventos encontrados en las mediciones con equipo OTDR se hace uso de especificaciones del equipo mismo y de los materiales utilizados como la fibra y conectores, así como de recomendaciones para cada uno de ellos, conforme a las Tabla 3.1, 3.2 y 3.3.

Clausula	Parámetros	Max	Min	Método de Prueba
	Pérdidas de inserción (dB)			[IEC 61300-3-4], [IEC 61300-3-7]
5.13.1	Empalme mecánico	0.5	na	
5.13.2	Empalme por fusión (alineamiento activo)	0.3	na	
5.13.3	Empalme por fusión (alineamiento pasivo)	0.5	na	
	Reflectancia (dB)			[IEC 61300-3-6]
5.13.4	Empalme mecánico	-40	na	
5.13.5	Empalme por fusión	-70	na	

Tabla 3.1. Empalmes Ópticos ITU-T G671 (02/2012) [12].

La Tabla 3.1 muestra una recomendación escrita por la ITU la cual es importante porque muestra los valores máximos permitidos para los empalmes en un enlace.

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 ± 3 nm después de envejecimiento por hidrogeno (Nota 3)	0.4 dB/Km
	Máximo a 1530-1565 nm	0,3 dB/Km

Tabla 3.2. Características de atenuación de la fibra [5].

La Tabla 3.2 tomada de la recomendación, se considera la pérdida en dB/Km que debe presentar el cable de fibra óptica, siempre y cuando se encuentre en perfecto estado.

Tipo de contacto	Atenuación	Clase de pérdida de retorno	Cuerpo del enchufe	Base
PC	No especificada	≥ 30 dB	Azul	Rojo
		≥ 40 dB		Blanco
		≥ 55 dB		Azul oscuro
APC 8°	No especificada	≥ 60 dB	Verde	Verde
APC 9°	No especificada	≥ 60 dB	Verde	Verde

Tabla 3.3. Código de colores de conectores ópticos [13]

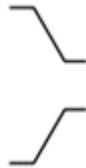
Icono	Tipo	Descripción
	Reflectivo	Reflexión desde punto de empalme.
	No reflectivo	Eventos no reflectivos con bajas pérdidas como empalmes de fusión y macro curvaturas.
	Agrupado	Eventos espaciados, también cerca uno de otro para análisis, para distinguir entre ellos como separados los eventos son reportados como eventos agrupados.
	Extremo lejano	Cualquier evento con una pérdida igual o mayor que el umbral de fin de fibra, se reporta como fin de fibra.
	Cuestionable fin	Evento lejano no detectado. 1.Cuando el rango de distancia alcanzado. 2.Cuando el nivel de ruido alcanzado.
	Splitter	Pérdida debido a splitter óptico.
	Macro curvatura	Informes como un evento “macro curvatura” cuando el evento detectado excede el umbral especificado para macro curvatura.

Tabla 3.4. Simbología del equipo OTDR Anritsu MT9090A [15].

Tomando como referencia las recomendaciones para las estimaciones de pérdidas de energía y atenuación en la fibra óptica, empalmes y conectores, además de la simbología que ofrece el equipo OTDR tenemos la información de los eventos en la Tabla 3.5.

Evento	Descripción	Pérdida [dB]	Reflectancia [dB]	Referencia Máxima de Pérdida [dB]	Referencia Máxima en Reflectancia [dB]	Estado
Enlace A						
1	Conector inicial	0.67	-26.64	0.5	-40	Fuera del límite de referencia
2	Empalme por fusión	0.3		0.3	-70	En límite de referencia
3	Empalme Mecánico	-0.22		0.5	-40	Mal referencia
4	Empalme Mecánico	-0.11		0.5	-40	Mal referencia
5	Final de Fibra			0.5	-40	
Enlace B						
1	Conector inicial	-0.12	-35.46	0.5	-40	Mal referencia
2	Empalme por fusión	0.27		0.3	-70	En límite de referencia
3	Empalme por fusión	0.2		0.3	-70	Regular
4	Empalme por fusión	0.19		0.3	-70	Regular
5	Final de Fibra			0.5	-40	
Enlace C						
1	Conector inicial	0.01	-48.54	0.5	-40	Bien
2	Empalme por fusión	0.31		0.3	-70	Fuera del límite de referencia
3	Empalme por fusión	0.11		0.3	-70	Regular
4	Empalme por fusión	0.44		0.3	-70	Fuera del límite de referencia
5	Conector Final	-20.47		0.5	-40	Fuera del límite de referencia
6	Final de Fibra	>3.00				
Enlace D - Lado Norte						
1	Conector inicial	0.47	-29.71	0.5	-40	Fuera del límite de referencia
2	Empalme por fusión	0.16		0.3	-70	Regular
3	Empalme por fusión	0.12		0.3	-70	Regular
4	Corte de fibra	>3.00				
Enlace D - Lado Sur						

1	Conector inicial	0.44	-31.74	0.5	-40	En límite de referencia
2	Empalme por fusión	0.09		0.3	-70	Regular
3	Corte de fibra	>3.00				
NOTA: los conectores Utilizados en todos los enlaces son de tipo FC- UPC						

Tabla 3.5. Resultados de Eventos

Donde los estados están definidos de la siguiente manera:

Fuera del límite de referencia: se tiene mayor pérdida y reflectancia de los valores permitidos como máximo.

En límite de referencia: se encuentran los valores de pérdida justo en valor permitido como máximo de pérdida.

Mal referencia: se encuentra el valor por debajo de la referencia y con signo negativo lo cual podría interpretarse como una ganancia, cuando en realidad es una pérdida.

Regular: es valor obtenido en la pérdida es pequeño con respecto a la referencia, pero no es totalmente nula la pérdida.

Bien: el valor es cercano a cero lo cual garantiza la menor pérdida.

Como se puede observar en la Tabla 3.5, los enlaces cuentan con empalmes y conectores de mala calidad que están provocando la pérdida de la señal, es necesario corregir todos los eventos.

En muchos de los eventos se encuentran totalmente fuera de rango, en el caso de los conectores las grandes pérdidas pueden ser por dos causas, la primera causa es un conector dañado o sucio, la segunda causa es que se hayan utilizado materiales de baja calidad que no cuentan con las características necesarias para su buen funcionamiento.



Figura 3.1. Muestra de eventos enlace A

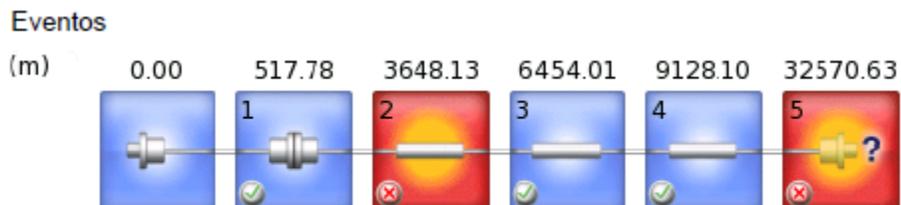


Figura 3.2. Muestra de eventos enlace B

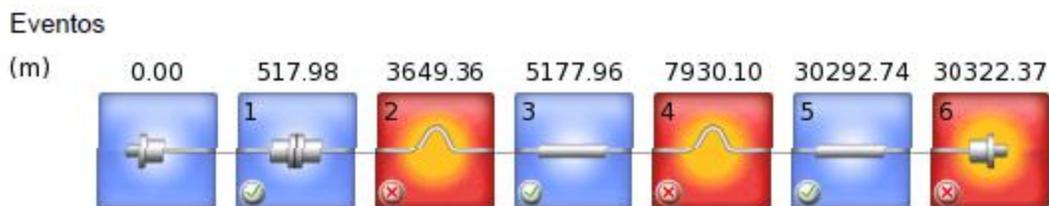


Figura 3.3. Muestra de eventos enlace C



Figura 3.4. Muestra de eventos enlace D-Lado Norte



Figura 3.5. Muestra de eventos enlace D- Lado Sur

En las figuras 3.1-3.5 se muestran los resultados del equipo OTDR la cual de acuerdo a algunos de sus parámetros internos, arroja un resultado visual de los posibles eventos, claro está que no se puede hacer uso solamente de esta herramienta por que puede haber algún error en el tipo de evento, por ejemplo en el enlace D tanto el lado sur como el norte nos arroja un mal conector y en las gráficas de OTDR que se muestran en las figuras 2.7 y 2.8 podemos observar que se trata de un corte de fibra.

En la tabla 3.6 se muestra el significado de los símbolos que nos arroja el equipo OTDR después de la interpretación interna que realiza.

Símbolo	Definición
	Conector inicial
	Conector mecánico
	Macro curvatura
	Empalme de fusión



Tabla 3.6. Simbología de diagramas de OTDR.

3.2 Desarrollo de soluciones a todos los eventos que generen fallas.

Para dar solución a los eventos encontrados se plantea el programa de actividades mostrado en la tabla 3.7. En el cual se propone como solución las mejores técnicas actuales para tener la menor pérdida posible en los enlaces.

Tipo de Evento	Solución	Proceso
Empalme de fusión	Sustitución de empalme	Se corta la fibra en donde se encuentra el empalme y se realiza el nuevo con un equipo que garantice la menor pérdida.
Empalme mecánico	Sustitución de empalme	Retirar el conector mecánico y sustituirlo por un empalme de fusión de calidad.
Conectores Iniciales y finales	Sustitución de conectores	Se cortan los conectores y se coloca un nuevo sistema de conector llamado Lynx basado en empalme para reducir la pérdida.

Tabla 3.7. Programa de actividades para solución

Con base en la información obtenida se puede dar paso a el programa de actividades para dar una solución a los eventos encontrados. En la tabla 3.7 se concentraron los tres casos presentes en la red que se identificaron las pruebas de OTDR, en todos los enlaces. Es importante mencionar que es de gran ayuda conocer cómo trabaja el equipo utilizado además de tener las especificaciones técnicas para interpretar los resultados.

Capítulo 4. Atención de eventos y resolución de fallas.

4.1 Actividades de resolución de fallas en los enlaces de fibra óptica

Las actividades para dar solución a los eventos de los enlaces que se realizaron fueron las siguientes:

- Reporte de fallas: al tratarse de una red privada fue necesario entregar un reporte detallado de los eventos encontrados con las respectivas pérdidas y localización de los mismos, esto debido a que de manera interna se tenían que cubrir ciertos protocolos, entre los cuales están los siguientes:
 - Solicitud de intervención: se transfiere al área correspondiente el reporte de las fallas además de una petición para solucionarlo.
 - Tramite de permisos de acceso: una vez que se autoriza la intervención de los enlaces se tramita en todos los sitios un permiso de acceso, el cual incluye los nombres de las personas que acudirán además de los equipos que entrarán y los horarios en que se trabajarán.
- Autorización de intervención: dada la autorización son entregados los documentos correspondientes para acceder a los sitios.
- Reconocimiento de enlace físicamente: teniendo los documentos los cuales contienen los horarios en los que se puede acceder se acude para hacer una inspección rápida de los enlaces y poder determinar cuánto material y de qué tipo se va a necesitar.
- Recolección de material necesario: se juntó todo el material a utilizar y se prepara para llevar a los sitios correspondientes, para que no se tengan retrasos en la reparación por falta de material o equipo.
- Acudir a sitio a resolución: se realizaron empalmes y cambio de conectores como se había previsto anteriormente.

Una vez que se realizaron todos los procesos de reparación se volvieron a realizar pruebas de OTDR para verificar el enlace y entregar el reporte correspondiente garantizando el buen funcionamiento del enlace.

Enlace	Eventos reparados
A	2 conectores FC-UPC
	3 empalmes por alineación de núcleo
B	2 conectores FC-UPC
	3 empalmes por alineación de núcleo
C	2 conectores FC-UPC
	4 empalmes por alineación de núcleo
D-Norte	1 conector FC-UPC
	3 empalmes por alineación de núcleo
D-Sur	1 conector FC-UPC
	1 empalme por alineación de núcleo

Tabla 4.1. Tipo de eventos reparados por enlace

4.2 Análisis de eventos que pueden generar fallas en el futuro

Para realizar el análisis de futuras fallas en los enlaces estudiados A, B, C y D se muestran en las figuras 4.1-4.4, las mediciones obtenidas con equipo OTDR.

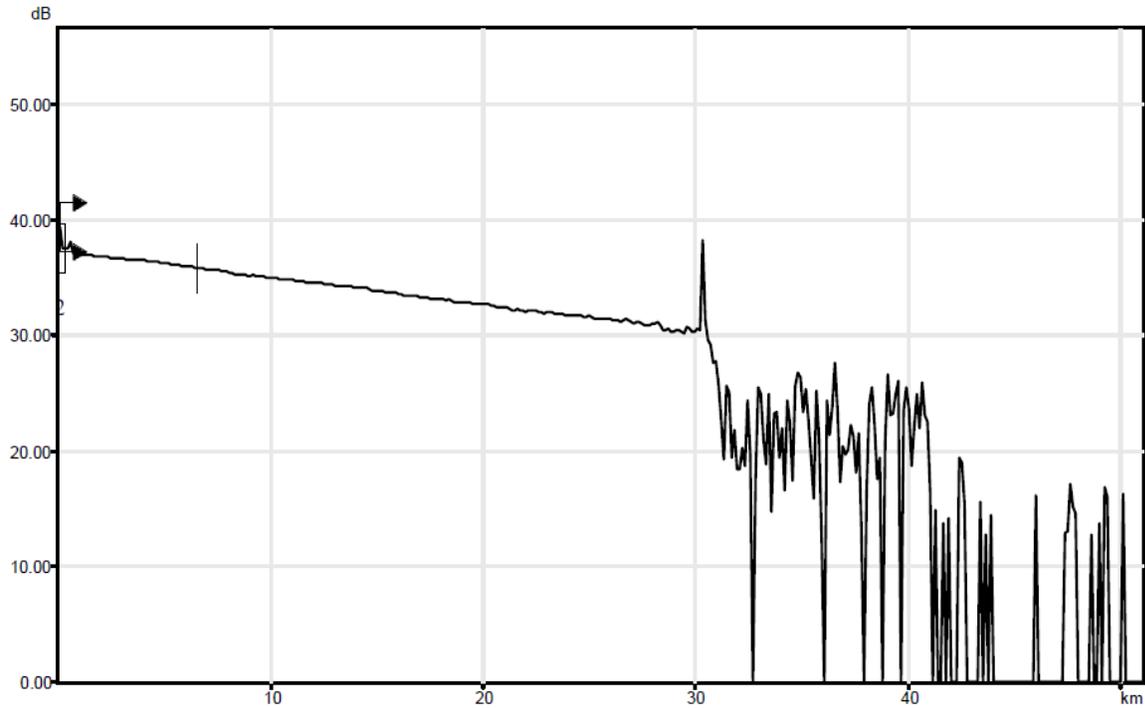


Figura 4.1. Trazo de mediciones del enlace A después de su reparación.

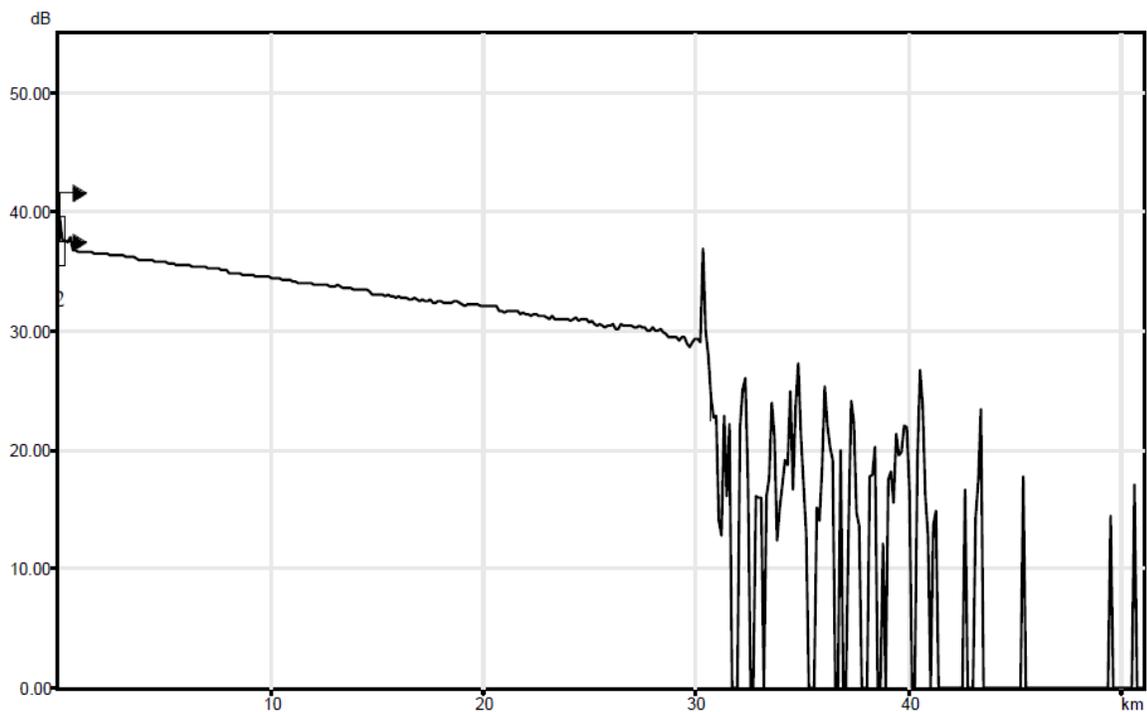


Figura 4.2. Trazo de mediciones del enlace B después de su reparación.

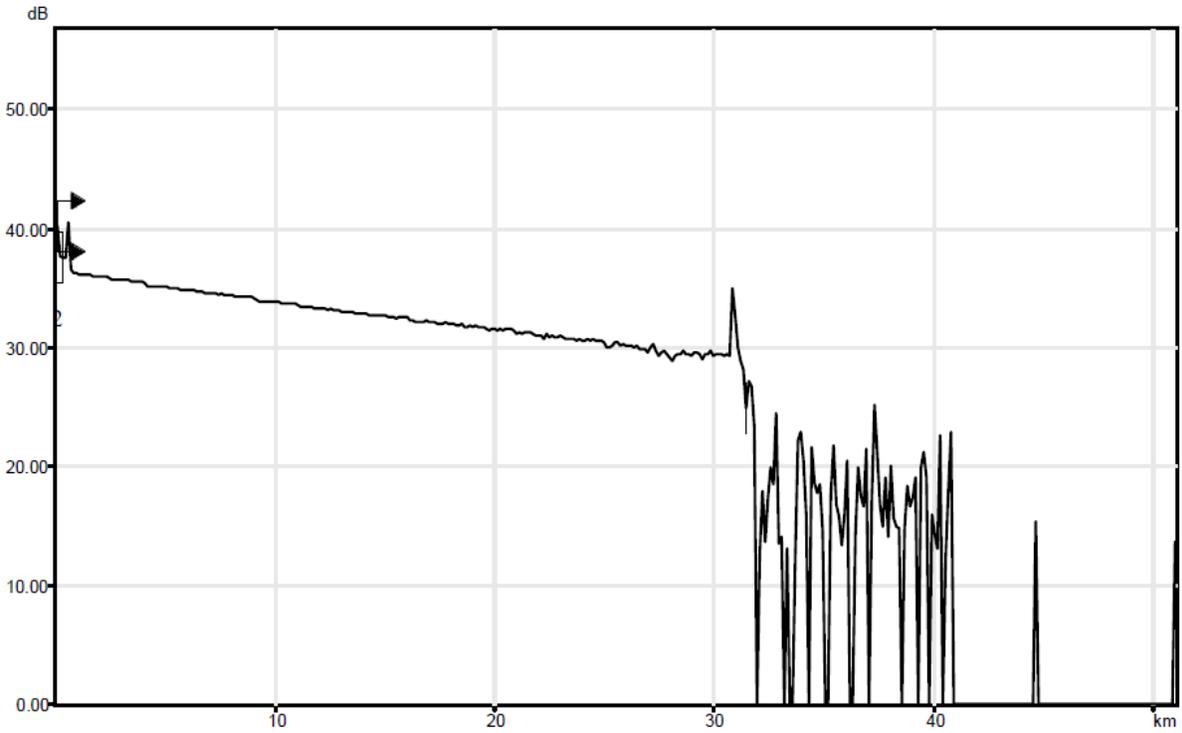


Figura 4.3. Trazo de mediciones del enlace C después de su reparación.

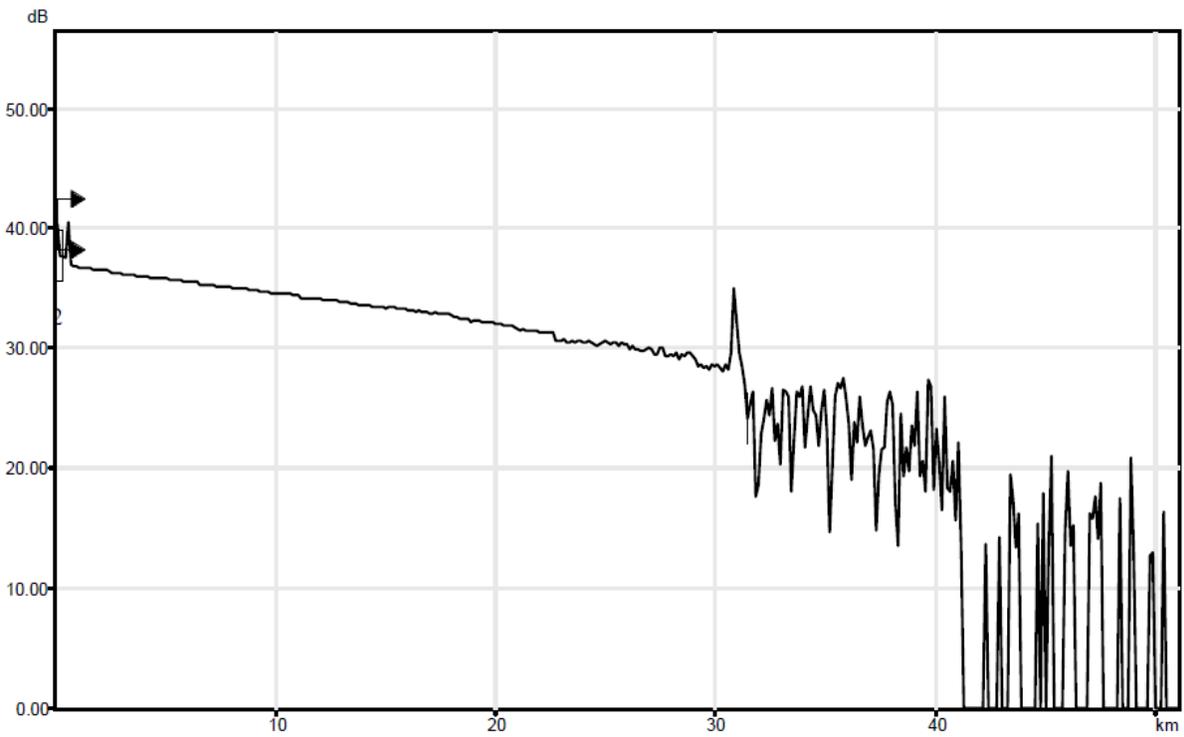


Figura 4.4. Trazo de mediciones del enlace D después de su reparación.

Con los resultados obtenidos en la segunda prueba de OTDR, una vez que se finalizaron los trabajos de reparación, podemos garantizar que no habrá fallas por el momento, ya que los empalmes no son visibles en las pruebas.

Todos los empalmes no son perceptibles en la prueba de OTDR, dado que fueron realizados con las medidas de limpieza y cuidado de la fibra requeridas, esto permitió que estuvieran por debajo de los umbrales configurados en el OTDR que garantizan que los trabajos realizados funcionaran sin ningún daño al enlace.

Aunque se tomaron todas las medidas necesarias para garantizar que no se presenten fallas hay algunas situaciones fuera de control que se pueden presentar y generar fallas en algún momento. Debido a la experiencia sabemos que, por estar la fibra expuesta a humedad, presión y calor, en algunos años los empalmes serán visibles y generan nuevos eventos que sean visibles a las pruebas, en cuanto a los conectores la única falla que vemos a futuro es que al hacer algún cambio en los paneles se manipule de manera incorrecta y dañen el conector, de otra manera no habrá evento visible o que provoque pérdidas en los enlaces.

Capítulo 5. Conclusiones.

La importancia de este trabajo de tesis consistió en evaluar y conocer cómo puede afectar el funcionamiento de las redes cuando los instaladores de los enlaces tienen desconocimiento de los fundamentos de operación de la fibra óptica utilizada en comunicaciones, como son las características teóricas y prácticas de la fibra óptica y de las redes compuestas por ella con el objetivo de darle un manejo adecuado.

Se realizaron mediciones en los enlaces de fibra óptica con equipos OTDR y MPO para encontrar fallas en la red, se resolvieron todos los problemas encontrados y se volvió a medir para obtener la caracterización completa de los enlaces de fibra óptica que componen la Red Metropolitana, los resultados obtenidos fueron útiles para conocer el estado actual de la red de fibra óptica y también importantes para utilizarse en caso de que en el futuro se quiera implementar nuevas tecnologías de transporte de información de alta capacidad.

Se analizó la información obtenida en la caracterización y se compararon los resultados obtenidos con las recomendaciones internacionales de ITU-T, tanto para conectores como para fibra. En cuanto a los parámetros de pérdida y atenuación de los enlaces, se encontró que la Red Metropolitana tiene muchos de sus elementos fuera de rango respecto a las recomendaciones ITU-T, lo que se refleja en la calidad de transmisión en los enlaces. Estos elementos son principalmente empalmes y conectores, los conectores presentaron valores altos de reflectancia, que se tenían previstos por el tiempo que lleva la red operando.

Hasta este punto podría considerarse que las pérdidas que presentan los enlaces fueron provocadas por el paso del tiempo, haciendo referencia a que los empalmes no fueron buenos, además de haber sido instalada con equipo de esa época donde no se tenía garantía de un buen funcionamiento y con los cambios de ambiente fue notoria la pérdida de potencia óptica, en cuanto a los conectores las causas pueden ser el mal manejo de estos mismos, así como la carencia de medidas de limpieza, atribuidas al desconocimiento del manejo para fibra óptica, que en ocasiones es tratada como cable de cobre.

Con base en los resultados obtenidos al caracterizar la fibra óptica y después de una revisión física que se realizó a la trayectoria de la fibra óptica y de los sitios de distribución se puede deducir que la mayoría de los elementos de red no fueron instalados correctamente desde el inicio de la operación de los enlaces. Se pudo observar que no se había tenido el interés de instalar la fibra óptica de manera ordenada, ni con los mismos tipos de materiales, pues se encuentran tanto acopladores como cables de fibra óptica de diferentes proveedores, además de encontrar sitios de distribución en malas condiciones como techos con goteras, falta de ventilación y con bastantes partículas de suciedad como polvo dentro de los acopladores y conectores.

Una agravante más para el mantenimiento de esta red de fibra óptica estudiada, es que se encuentra instalada también varias secciones en la calle y pasa por algunos sitios privados ajenos al dueño de la red, lo cual implica el trámite de solicitud de acceso a los sitios, sobre todo en las instancias gubernamentales y de los propietarios de los sitios donde pasa la red, siendo necesario cubrir todo un largo procedimiento para proporcionar todos los datos del personal que iba a tener acceso a la

red, así como el registro de cada uno de los equipos a utilizar, además de cumplir con el horario proporcionado para evitar desconectar un enlace mientras estaba siendo utilizado.

Se presentó la propuesta hacia el operador de la red de fibra óptica que trabajará a su máxima capacidad, por lo que fue necesario realizar nuevamente todos los empalmes con una empalmadora de fusión por alineación de núcleo de alta tecnología que permitía obtener la menor pérdida de potencia en los empalmes, en el caso de los conectores que eran de tipo mecánicos fue conveniente cambiarlos en su totalidad por nuevos conectores basados en empalmes que eliminan la pérdida por el empalme mecánico y considerando solo la pérdida por conexión del conector; de igual manera reducen la reflectancia que a largo plazo puede dañar las fuentes, una acción más fue cambiar los acopladores que presentaban más fallas, por último se recomendó a los propietarios de la red capacitar a todo el personal que tiene acceso a dicha red en fundamentos de mantenimiento de cables de fibra óptica como son cuestiones de limpieza, manejo e instalación para evitar daños posteriores.

El mayor reto de este trabajo fue enfrentarse a un proyecto complejo de la vida real de la fibra óptica en la industria con poca capacitación técnica en la universidad. Para poder realizar el trabajo presentado fue necesario que asistiera adicionalmente a cursos de capacitación en instalación y manejo de equipo de manera práctica para no dañar la fibra ni los equipos, en estos cursos nos dimos cuenta que hay mucho personal que se dedica a instalación y mantenimiento de la fibra óptica que no cuenta con el conocimiento necesario de la fibra y en muchos casos se instala sin saber si está funcionando o no [19]. Ahí es donde está la oportunidad de los ingenieros en telecomunicaciones que deben tener el compromiso de seguir capacitándose y especializándose en temas de fibra óptica para solucionar los problemas que se presenten en el momento y no solo de temas técnicos si no también comerciales, legales, administrativos, humanos, etc.

Con la experiencia de este trabajo de tesis puedo afirmar que el conocimiento de los conceptos teóricos y la habilidad de resolver problemas que nos enseñan en la universidad son de gran importancia en el campo de la industria, ya que me permitieron realizar una correcta implementación para garantizar que una red de fibra óptica funcione a su máxima capacidad por un largo periodo de tiempo, previniendo cualquier falla y en el caso de presentarse alguna poder atenderla y suministrar una rápida solución.

Capítulo 6. Referencias.

- [1] Rangel, V. (2009). “Apuntes de las asignaturas de Redes de Datos I y Redes de Datos II” [En Línea]. Disponible: [http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/CCNA/Productos/Notas%20de%20Curso/Manual%20de%20la%20Asignatura%20de%20Redes%20de%20Datos%20I%20y%20II%20%20\(avance%2050%25\).pdf](http://profesores.fi-b.unam.mx/victor/CCNA/Productos/Notas%20de%20Curso/Manual%20de%20la%20Asignatura%20de%20Redes%20de%20Datos%20I%20y%20II%20%20(avance%2050%25).pdf) .
- [2] fibra óptica, un tesoro olvidado por los operadores, [versión electrónica], 14 de septiembre de 2017. Disponible: <https://www.forbes.com.mx/fibra-optica-un-tesoro-olvidado-por-operadores-telecomunicaciones/>
- [3] Sumitomo, E. L. [En Línea]. Disponible: <https://www.sumitomoelectric.com/product/lynx2-customfit-splice-on-connectors-sc-lc-fc-and-st-2/>
- [4] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 29 06 2005 [En Línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200506-S/es>
- [5] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 13 11 2016 [En Línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-I/es>
- [6] Meza, S. (2017). “Telecomunicaciones I (Redes Locales)” [En Línea]. Disponible: http://fcasua.contad.unam.mx/apuntes/interiores/docs/20172/informatica/5/apunte/LI_1467_09096_A_Telecomunicaciones.pdf
- [7] Ramón, P. P. (2016) “Análisis del despliegue de una red de última generación usando Fibra Óptica para servicios Triple Play”, Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. [En Línea]. Disponible: <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/11035/TESINA1%20%282%29.pdf?sequence=1>
- [8] Universidad Politécnica de Valencia, (2018) “Fundamentos de Comunicaciones Ópticas”, [En Línea]. Disponible: <https://courses.edx.org/courses/course-v1:UPValenciaX+FCO201x+2T2017/course/>
- [9] Sumitomo, E. L. [En Línea]. Disponible: <https://www.sumitomoelectric.com/cms/wp-content/uploads/2016/08/Ribbon-Slotted-Core-3456f-ALL-DIELECTRIC.pdf>
- [10] Fundación Carlos Slim, “instalador de fibra óptica”, [En Línea]. Disponible: <https://capacitateparaempleo.org/pages.php?r=.tema&tagID=2710>
- [11] Anritsu, [En Línea]. Disponible: <https://www.anritsu.com/en-AU/test-measurement/optical/vip>
- [12] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 12 02 2012. [En línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-I/es>.
- [13] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 13 01 2015. [En línea]. Disponible: <https://www.itu.int/rec/T-REC-L.36-201501-I>
- [14] Anritsu, (2014), [En Línea]. Disponible: https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Product-Introductions/Product-Introduction/MU909014x15x_EL3500.pdf
- [15] Anritsu, [En Línea]. Disponible: https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Manuals/Operation-Manual/QuickGuide_e_8_0.pdf
- [17] The Fiber Optics Association, (2014), “Guide to fiber optics & premises cabling”, [En Línea]. Disponible: <http://www.thefoa.org/ESP/Introduccion.htm>
- [18] Anritsu, (2018), [En Línea]. Disponible: <https://www.anritsu.com/en-US/test-measurement/products/cma5>
- [19] Alma Laboratorios, <http://almalaboratorios.com/cursos/>