



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Monitoreo a nivel capa física de una
red de transporte por fibra óptica
en la Ciudad de México**

TESIS

Que para obtener el título

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Norma Andrea Navarrete Quiroz

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Álvaro Alejandro Marroquín Mora



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017.



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.

DEDICATORIA

A mis padres, por su ejemplo de entrega y dedicación, por la guía, la ayuda y el apoyo que me han dado durante toda mi vida.

A mi tía Angélica, que siempre tuvo las palabras correctas para impulsarme a seguir adelante y creer en mí hasta el último instante.

A mis hermanos, por su comprensión, paciencia y ánimo recibido.

A la Universidad Nacional Autónoma de México, en especial a la Facultad de Ingeniería que a lo largo de mi vida universitaria se convirtió en mi segundo hogar.

Al Ing. Álvaro Marroquín por brindarme los medios y conocimientos necesarios para la realización de esta tesis.

Al equipo de trabajo de Alma Laboratorios, en especial al Ing. Carlos Marroquín por el apoyo brindado.

Al Dr. Ramón Castrejón y Dr. Daniel Ceballos, investigadores del Instituto de Ingeniería y al personal de DGTIC por su colaboración y apoyo para la realización de esta tesis.

A mi amiga Ale, por estar siempre.

A toda mi familia y amigos, por el apoyo constante y cariño brindado.

Gracias.

ÍNDICE

Objetivo.....	5
Resumen.....	5
Capítulo 1	
MARCO TEÓRICO.....	6
1.1 Planteamiento del problema	6
1.2 Fibra Óptica	7
1.2.1 Características y parámetros.....	8
1.2.2 Propagación de la luz	9
1.2.3 Clasificación de la fibra óptica.....	12
1.2.4 Atenuación Espectral.....	13
1.2.4.1 Factores intrínsecos que provocan Atenuación.....	15
1.2.4.2 Factores extrínsecos que provocan Atenuación	17
1.2.5 Pérdida por inserción (IL)	20
1.2.6 Pérdida de retorno óptico (ORL)	21
1.2.7 Reflectancia	21
1.3 Equipos de medición	21
1.3.1 OTDR.....	21
1.3.2 Unidad de Prueba Remota (RTU)	24
Capítulo 2	
RED DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MÉXICO	30
2.1 Topología de la red de transporte por fibra óptica.....	30
2.1.1 Enlace Sur-Norte de la Ciudad de México (UNAM- CINEVESTAV)	31
2.1.2 Enlace Norte-Oriente de la Ciudad de México (CINEVESTAV-UAMI).....	33
2.1.3 Enlace Oriente-Sur de la Ciudad de México (UAMI-UNAM)	33
2.2 Conexiones físicas para las rutas de monitoreo.....	35
Capítulo 3	
SISTEMA DE MONITOREO ÓPTICO	42
3.1 Conexión del RTU a una red local.....	42
3.2 Configuración de OTDR remoto	42
3.2.1 Establecimiento de trazos de referencia de rutas ópticas.....	43
3.2.2 Umbrales para la detección de eventos.....	47
3.2.3 Programas de prueba	49
3.2.4 Fase de aprendizaje.....	51
3.2.5 Configuración del sistema	52
3.2.6 Configuración de alarmas.....	53
3.3 Puesta en marcha.....	55
Capítulo 4	
RESULTADOS DEL MONITOREO ÓPTICO	62
4.1 Primera falla detectada	63
4.2 Segunda falla detectada	71
4.3 Tercera falla detectada	77

4.4 Cuarta falla detectada	86
5 Capítulo	
CONCLUSIONES	92
5.1 Solución en tiempo de resolución de fallas.....	92
5.2 Estado actual de la red Delta Metropolitana	92
5.3 Consideraciones y retos en la implementación de sistemas	94
BIBLIOGRAFÍA.....	96

Objetivo

Medir constantemente la fibra óptica, de una red de transporte por fibra óptica de la Ciudad de México, para monitorear y conocer su estado físico, permitiendo con ello reducir drásticamente el tiempo de indisponibilidad para cumplir con los objetivos de niveles de servicio (SLA) de los servicios de comunicaciones contratados por el cliente.

Proponer o encontrar soluciones y/o mejoras a los problemas detectados.

Resumen

En el capítulo uno, se describen los conceptos básicos sobre la fibra óptica como medio de transmisión, así como los parámetros esenciales a medir en el desarrollo de este trabajo y el funcionamiento del equipo de medición que será implementado para el monitoreo a nivel capa física de la red, la unidad de prueba remota RTU por sus siglas en inglés.

En el capítulo dos, se habla acerca de la red que estará bajo prueba por el sistema de monitoreo; la Red Delta Metropolitana, cual es su topología y cuales fueron las conexiones físicas que tuvieron que realizarse en cada uno de los sitios, para cada ruta de monitoreo.

En el capítulo tres, se describe de manera detallada cuales fueron las configuraciones realizadas en la interfaz del equipo y el medio que será utilizado para la notificación de alarmas, todo ello para la puesta en marcha del sistema de monitoreo.

En el capítulo cuatro, se presentan los resultados obtenidos a partir de las pruebas de monitoreo, es decir, los trazos y tablas de valores, seguido de un análisis individual para cada falla detectada.

Finalmente, el capítulo cinco aborda las conclusiones concernientes a los resultados obtenidos y el análisis realizado, abordando las ventajas de la implementación de un sistema de monitoreo a nivel capa física en una red de fibra óptica, el estado físico en el cual se encuentra esta y recomendaciones realizadas para mejorar tanto el estado físico de la red como la organización del equipo de trabajo encargado.

Capítulo 1

MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema

La comunicación es muy importante ya que permite una transmisión y/o recepción de información que cumple con un fin en específico. Existen diversas tecnologías que son utilizadas para la transmisión de información como microondas, fibra óptica y aquellas que operan en el dominio eléctrico. Estas dos últimas son las más utilizadas para servicios de voz, datos y video, sin embargo, las que operan en el dominio eléctrico se ven muy limitadas en velocidad, lo que impide que las empresas logren cubrir la demanda de servicios de la población [1].

Debido a lo anterior se desarrolló la implementación de enlaces de fibra óptica, ya que es un medio de transmisión cuyas características permiten la propagación de la luz, logrando así altas velocidades y capacidades de transmisión de datos. Las características de la fibra óptica como la dispersión cromática y dispersión de modos de polarización afectan a los pulsos de luz que se envían en la fibra y determinan el alcance máximo de velocidad de transmisión.

Con la reciente reforma en materia de telecomunicaciones el gobierno federal pretende ofrecer servicios de mayor calidad a la población, para ello comenzó con procedimientos de licitación de utilización de pares de hilos de fibra óptica de la red nacional de CFE, para que así pueda generarse una competencia igualitaria entre los proveedores de servicios de reciente creación y los que llevan varios años en el mercado [2].

En consecuencia, las empresas están invirtiendo en nueva tecnología para ofrecer servicios con una tasa de transmisión mayor; el objetivo de estas empresas es implementar la velocidad de transmisión de datos de 100 GbE o 400 GbE en cada una de las longitudes de onda utilizadas en las redes, para cubrir la demanda de servicios.

Los contratos con los clientes finales tienen cláusulas para determinar los niveles de Servicio (SLA por sus siglas en inglés) que los operadores deben de garantizar. Con la alta demanda de servicios a través de fibra óptica, las empresas tienen que hacer grandes inversiones para mantenimiento y monitoreo de sus redes, todo ello con el fin de asegurar el correcto desempeño de cada uno de sus enlaces, aprovechar su máxima capacidad y cumplir con los SLAs.

En general, cuando se presenta una falla en un enlace, lo que se recomienda es comenzar analizando la capa física realizando pruebas con un Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR por sus siglas en inglés), esto de acuerdo a los operadores de comunicaciones, una vez analizada la capa física sin encontrar problemas, le sigue la búsqueda en otras capas superiores de la red conforme al modelo OSI. Como resultado de este proceso la resolución de fallas se puede extender por un periodo largo de tiempo, el cual podría reducirse significativamente si se instala un sistema de monitoreo que no solo detecte de manera automática las fallas, sino que también ayude a prevenir las mismas midiendo degradaciones pequeñas en la fibra que permitan un mantenimiento antes de la existencia de una falla.

El tiempo de disponibilidad aumenta drásticamente garantizando que se pueda cumplir con los acuerdos y contratos de los servicios de comunicaciones.

Al hablar de un sistema de monitoreo, hablamos de un sistema de medición fijo el cual puede mantenerse realizando pruebas constante o periódicamente. En cuanto una falla es detectada o cualquier otro tipo de evento fuera de lo común, el equipo se encarga de informarle a los usuarios y/o administrador, haciendo uso de alguno de los métodos de alerta que posee dentro de sus funciones.

La mayoría de las causas de falla en una red de fibra óptica se deben a factores físicos, principalmente roturas de fibra, de acuerdo a la experiencia de operadores de comunicaciones. Por lo tanto, el monitoreo a nivel capa física es un elemento fundamental para el correcto desempeño de cualquier tipo de enlace.

En este trabajo se hace uso de un sistema de monitoreo remoto a nivel capa física: Unidad de Prueba Remota (RTU por sus siglas en inglés), el cual se instaló en el laboratorio de Telecomunicaciones del Instituto de Ingeniería de la UNAM para monitorear la “Red Delta Metropolitana”, red de fibra óptica que pertenece a las instituciones Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), Instituto Politécnico Nacional (IPN) y Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), ubicadas en la Ciudad de México.

La capacidad de la Red Delta es de 72 hilos, que están instalados en los túneles del Sistema de Transporte Colectivo (STC) Metro de la Ciudad de México. Este proyecto se aprobó en el año 2010, mismo en el cual se comenzó su instalación [3]. Esta red prácticamente no se ha comenzado a explotar de la forma que se tiene planeado, de hecho, en los años que lleva disponible desde su instalación ha carecido de mantenimiento.

Con este trabajo se describe la funcionalidad del sistema de monitoreo RTU sobre la “Red Delta Metropolitana” y las ventajas de su implementación, además de realizar un análisis del estado físico de la red utilizando el muestreo de varios hilos, logrando localizar posibles fallas y proponer soluciones en caso de encontrarlas.

1.2 Fibra Óptica

De manera general la fibra óptica es un medio de transmisión para las comunicaciones que se puede describir como una guía de onda dieléctrica de forma cilíndrica, fabricada de dióxido de silicio. Esta transmite información codificada en un haz de luz a cierta longitud de onda que viaja por dentro utilizando el fenómeno físico denominado reflexión interna total, en dirección paralela a su eje longitudinal. A continuación se menciona a detalle las características y modos de operación de la fibra óptica.

La fibra óptica está compuesta básicamente por dos elementos:

1. Núcleo (core); elemento por el cual se transporta el haz de luz.
2. Revestimiento (cladding); elemento que rodea al núcleo y tiene como principal función mantener la luz dentro de este.

Además, cuenta con capas adicionales que se implementan con fines de protección:

3. Capa de amortiguamiento; está fabricada de plástico y rodea a la fibra, tiene como objetivo principal disminuir o evitar las pérdidas por radiación de potencia en curvaturas y prevenir la ruptura de la fibra, es decir la hace mucho más resistente.
4. Capa protectora; está fabricada por un plástico más resistente, protegiendo a la fibra óptica de factores externos.

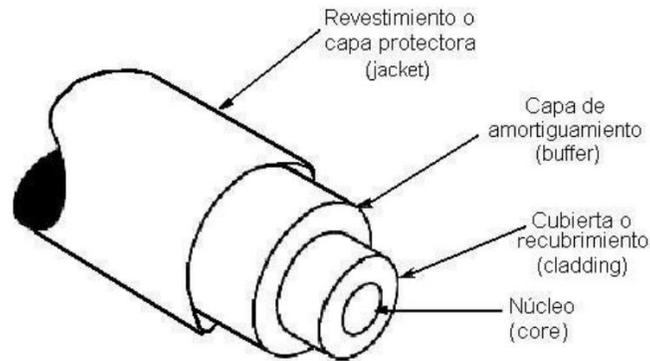


Figura 1.1 Estructura de una fibra óptica [4].

1.2.1 Características y parámetros

La fibra óptica como medio de transmisión tiene múltiples ventajas, las cuales le permiten sobresalir ante tecnologías previamente implementadas:

➤ **Baja atenuación**

La atenuación en una fibra óptica con un modo de propagación de la luz (monomodo) es considerablemente baja en comparación con otros medios. Existen distintos tipos de fibra, los cuales poseen un valor de atenuación fijo, las recomendaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU por sus siglas en inglés) proporcionan valores para el coeficiente de atenuación los cuales no deben ser superados para garantizar una correcta transmisión, por ejemplo, el valor común para el coeficiente de atenuación en fibra monomodo estándar G.652 es de 0.3 dB/km [5].

➤ **Larga distancia**

La fibra óptica monomodo permite la transmisión a largas distancias, debido a la baja atenuación que este medio posee.

➤ **Alta tasa de transmisión**

La fibra óptica monomodo es el medio que tiene la mayor capacidad en cuanto a ancho de banda se refiere.

➤ **Inmune a interferencias electromagnéticas**

Debido a que los fotones no tienen carga eléctrica y al uso de material dieléctrico para la fabricación de fibra óptica, las redes ópticas no se ven afectadas por tormentas eléctricas o campos electromagnéticos normalmente encontrados en entornos de alta tensión. También son

inmunes a efectos atmosféricos y el cable de fibra óptica puede funcionar a través de entornos agresivos o ruidosos, tales como túneles subterráneos, sin degradación ni atenuación de la calidad de la señal, e incluso en ambientes submarinos de alta presión.

➤ **Tamaño y peso**

La fibra óptica tiene dimensiones muy reducidas en comparación con medios guiados preexistentes como el cobre.

➤ **Seguridad**

En tema de seguridad, en una red de fibra óptica es mucho más sencillo detectar algún posible intrusismo en la red, ya que es muy complicado acceder sin afectarla físicamente presentándose algún problema significativo en el funcionamiento de la red.

1.2.2 Propagación de la luz

El índice de refracción “ n ” es un parámetro fundamental para cualquier tipo de material. La velocidad de la luz en el vacío es $c = 3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$, está relacionada con la frecuencia “ f ” y la longitud de onda “ λ ” a través de la ecuación: $c = f\lambda$. La luz se desplaza a cierta velocidad al entrar a un medio dieléctrico, esta es una característica del material y es menor que “ c ”. La relación de la velocidad de la luz en el vacío respecto a la velocidad de la luz en un material “ v ” es lo que conocemos como el índice de refracción, y está dado por [6]:

$$n = \frac{c}{v}$$

Ley de refracción de Snell

El fenómeno de refracción se presenta cuando un rayo incide sobre la interfaz entre dos medios dieléctricos con diferentes índices de refracción y ocurre un cambio de dirección en el rayo incidente, resultado de la diferente velocidad a la que viaja la luz dentro de cada medio dieléctrico.

En la Figura 1.2, existen dos medios con índice de refracción diferente, observamos un rayo que se propaga en el medio con índice de refracción n_1 e incide sobre la interfaz entre ambos medios a un ángulo ϕ_1 respecto a la normal de la superficie de la interfaz, este rayo al pasar al medio con índice de refracción n_2 , el cual es menor que n_1 , cambia su trayectoria a un ángulo ϕ_2 respecto a la normal. Los ángulos de incidencia están relacionados entre sí con los índices de refracción de los dieléctricos por la Ley de refracción de Snell, que establece [7].

$$n_1 \text{sen} \phi_1 = n_2 \text{sen} \phi_2$$

También se observa en la Figura 1.2 que una fracción de la luz incidente sobre la interfaz es reflejada, regresando al medio con índice de refracción n_1 .

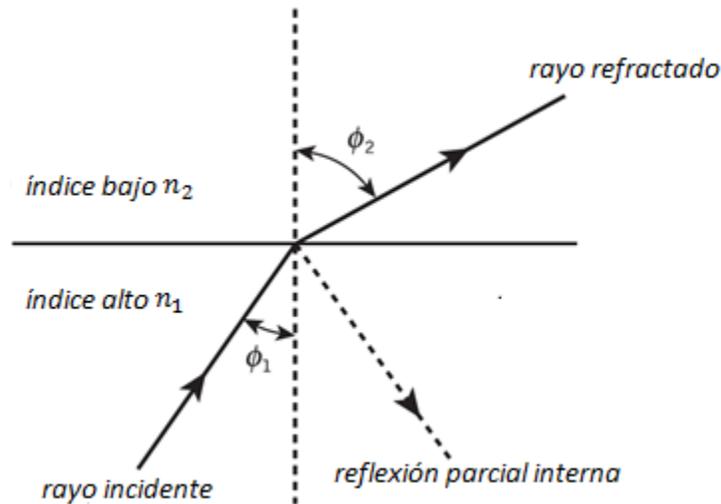


Figura 1.2. Fenómeno de reflexión y refracción [7].

Reflexión total interna

Si se toma en cuenta que $n_1 > n_2$, el ángulo del rayo refractado siempre será mayor que el ángulo del rayo incidente. Por lo tanto, cuando el ángulo del rayo refractado es de 90° respecto a la normal, es decir, paralelo a la interfaz entre los dielectricos, el ángulo de incidencia es inferior a 90° . Este es el límite de la refracción y el ángulo de incidencia se identificará con el nombre de ángulo crítico ϕ_c , como se muestra en la Figura 1.3 [7].

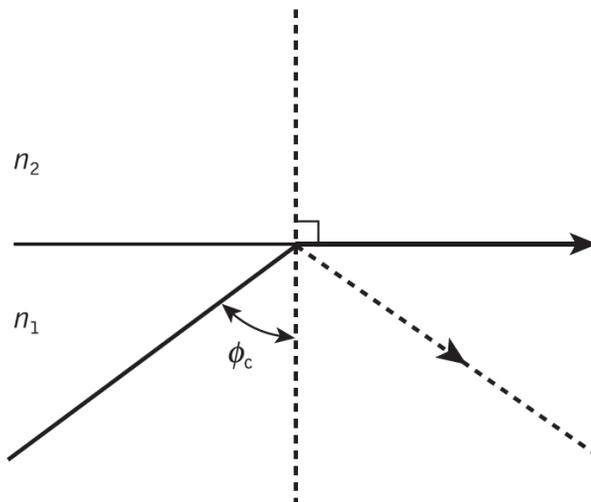


Figura 1.3. Ángulo crítico [7].

El valor del ángulo crítico viene dado por:

$$\text{sen}\phi_c = \frac{n_2}{n_1}$$

Con base en lo anterior se deduce que los rayos que tengan un ángulo de incidencia mayor al ángulo crítico, se reflejarán de nuevo al medio dieléctrico de origen, produciéndose el fenómeno de “reflexión total interna”, como se muestra en la Figura 1.4. La propagación de la luz a través de

la fibra óptica se lleva a cabo por medio de este fenómeno, por lo tanto; $n_1 > n_2$, siendo n_1 valor característico del núcleo y n_2 del revestimiento.

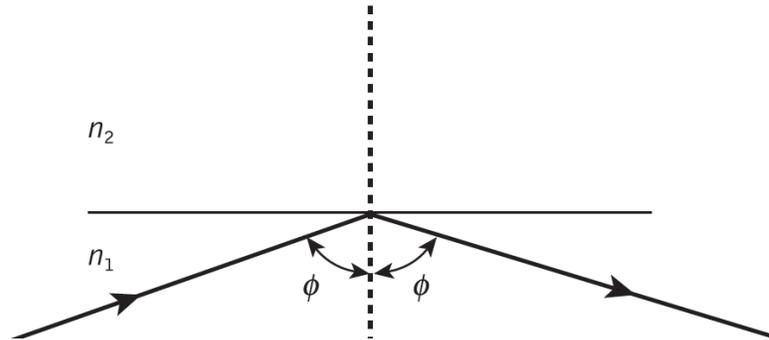


Figura 1.4. Reflexión total interna [7].

Ángulo de aceptación

Para que la luz que entra en la fibra óptica pueda ser transmitida a lo largo de toda su longitud, es necesario que el ángulo del rayo que se refracta en la interfaz aire-núcleo tenga un ángulo menor al ángulo crítico, suponiendo que la fibra es perfecta y no presenta defectos o imperfecciones que puedan ocasionar ciertos problemas que afecten la transmisión, los cuales se describirán más adelante.

En la Figura 1.5 observamos un rayo que incide sobre el núcleo de la fibra óptica con un ángulo ϕ_a respecto a la normal de la interfaz aire-núcleo, al refractarse llega a la interfaz núcleo-revestimiento con un ángulo igual al ángulo crítico, reflejándose a través del interior del núcleo. El ángulo θ_a se llama ángulo de aceptación, los rayos con ángulos de incidencia mayor a este se refractarán en la interfaz núcleo-revestimiento mientras que los ángulos de incidencia menores a este serán transmitidos por medio del fenómeno de reflexión interna total.

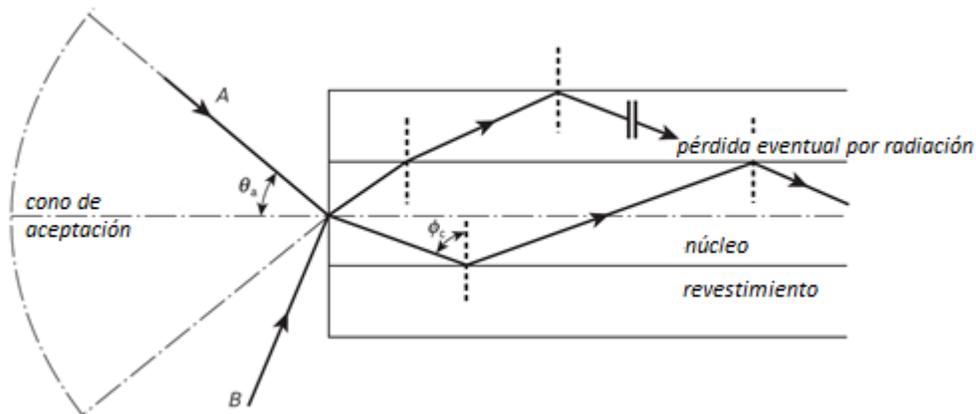


Figura 1.5. Cono de aceptación [7].

Apertura numérica

Otro término importante es la apertura numérica “NA” y se utiliza para describir la capacidad de recolección de luz de una fibra óptica, este valor no depende de las dimensiones físicas de la fibra. La cantidad de potencia óptica aceptada por una fibra varía como el cuadrado de su AN [8].

$$AN = n_o \text{sen} \theta_a = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Podemos comprender mejor este término, observando el cono de aceptación que está formado por el ángulo de aceptación θ_a , Figura 1.5, donde n_o es el índice de refracción del medio de donde proviene la luz que incidirá sobre la fibra óptica. El valor NA es proporcionado por los fabricantes de fibra óptica.

1.2.3 Clasificación de la fibra óptica

Existen dos tipos de fibra óptica basándonos en los diferentes modos de propagación de longitudes de onda que pueden viajar a través de esta como se muestra en la Figura 1.6.

- Fibra óptica monomodo. (diámetro del núcleo: 5-10 μm , diámetro del revestimiento: 125 μm).
- Fibra óptica multimodo. (diámetro del núcleo: 62.5 μm o 50 μm , diámetro del revestimiento: 125 μm). Este tipo de fibra óptica puede tener dos tipos de diferentes de perfil en el índice de refracción.
 - Fibra óptica de índice escalonado; tanto el índice de refracción del núcleo y del revestimiento son de valor constante.
 - Fibra óptica de índice gradual; el índice de refracción del núcleo no tiene un valor constante, en el centro de este el índice tiene un valor mayor, y va disminuyendo gradualmente conforme se aproxima al revestimiento, el índice de refracción del revestimiento si tiene un valor constante.

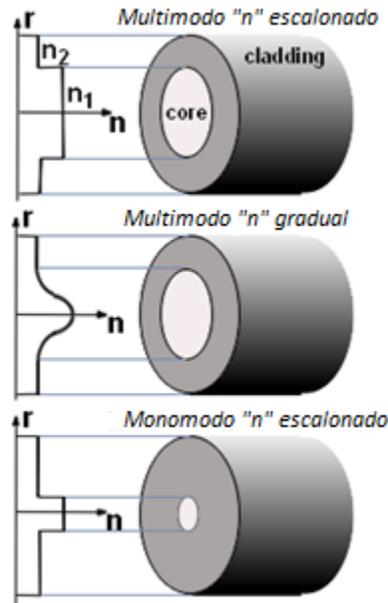


Figura 1.6. Clasificación de fibra óptica.

Existe un valor numérico a partir del cual podemos determinar si una fibra óptica se comporta como monomodo o multimodo, llamado frecuencia normalizada que se obtiene a partir de la siguiente fórmula.

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} AN$$

Si $V < 2.405$ la fibra óptica se considera como monomodo

Si $V > 2.405$ la fibra óptica se considera como multimodo [6]

1.2.4 Atenuación Espectral

La atenuación es el parámetro más importante en el cual podemos basarnos para conocer la distancia máxima de transmisión que se puede alcanzar en un enlace. Es la pérdida de potencia de la señal durante su propagación a lo largo del enlace de fibra óptica, este valor incrementa conforme a la distancia.

Existen cuatro ventanas de transmisión óptica Figura 1.7, longitudes de onda donde los efectos de la atenuación no son muy significativos:

- Primera ventana: 850 nm. Se usa principalmente para cortas distancias empleando fibra multimodo.
- Segunda ventana: 1300 o 1310 nm. Se usa principalmente para distancias medias, es posible emplear fibra multimodo o monomodo.
- Tercera ventana: 1550 nm. Se usa principalmente en largas distancias, empleando únicamente fibra monomodo.

- Cuarta ventana: 1625 o 1650 nm. Está longitud de onda es utilizada para la realización de pruebas cuando el enlace ya está en servicio, empleando filtros para no producir interferencia.

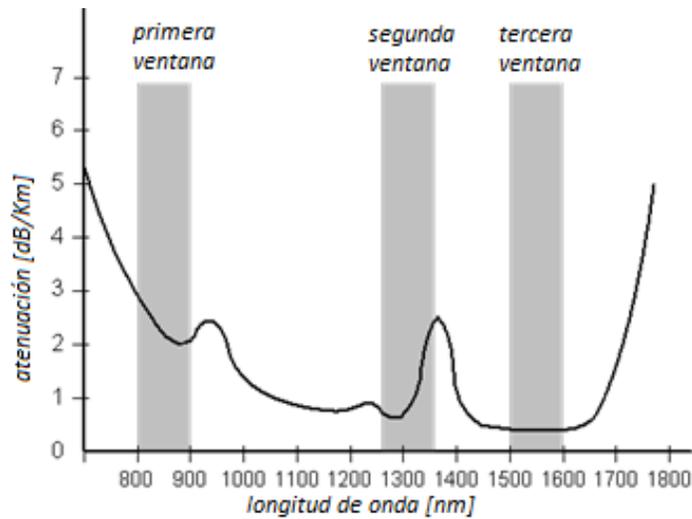


Figura 1.7. Ventanas de transmisión [9].

La atenuación de la señal se define como la relación de la potencia de salida óptica P_{out} respecto a la potencia de entrada P_{in} para una fibra de longitud L . Esta relación de potencia está en función a la longitud de onda, como se muestra en la curva de atenuación general en la Figura 1.8 [6].

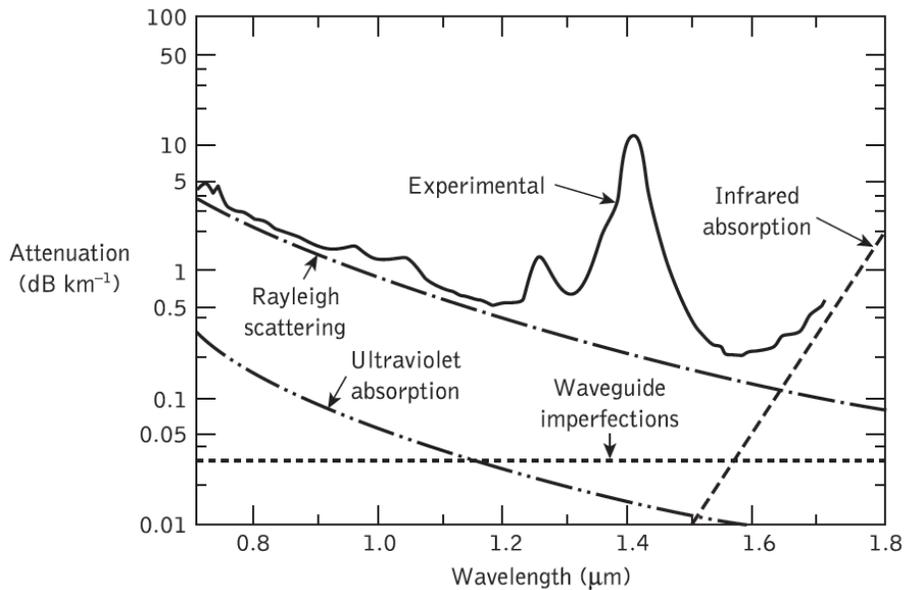


Figura 1.8. Curva de atenuación general [7].

La atenuación en unidad logarítmica decibel dB se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Atenuación [dB]} = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

En las comunicaciones por fibra óptica la atenuación en la fibra se expresa como decibelios por unidad de longitud $\left[\frac{dB}{Km}\right]$:

$$\alpha[dB]L = 10 \log \frac{P_{in}}{P_{out}}$$

La atenuación es ocasionada por dos tipos de factores; intrínsecos y extrínsecos.

1.2.4.1 Factores intrínsecos que provocan Atenuación

Los factores intrínsecos, se deben a la naturaleza del material con que se fabrica la fibra óptica, y la presencia de impurezas y defectos originados durante el proceso de fabricación, a continuación, se describen este tipo de factores:

➤ Absorción

El material con el que se construye la fibra en su estado puro sufre de una absorción mínima en la región cercana al infrarrojo, debido a la estructura del material, también hay un borde de absorción importante cuyo pico está centrado en la región de longitud de ultravioleta.

En la región del infrarrojo, normalmente a longitudes de onda superiores a 7 μm , ocurren bandas de absorción por interacción de fotones con vibraciones moleculares dentro del vidrio. Éstos proporcionan picos de absorción que se extienden otra vez dentro de la región de esta ventana. Las fuertes bandas de absorción se producen debido a oscilaciones de unidades estructurales como Si-O (9.2 μm), P-O (8.1 μm), B-O (7.2 μm) y Ge-O (11.0 μm) dentro del vidrio. Por lo tanto, por encima de 1.5 μm la absorción infrarroja en gran medida tiende a causar la mayor parte de las pérdidas en vidrio puro [7].

Este tipo de efectos pueden minimizarse realizando una elección adecuada de las composiciones del núcleo y del revestimiento.

La fuente principal de absorción definitivamente son los defectos atómicos o impurezas en la fibra, estas pueden ser; hierro Fe, cobre Cu, níquel Ni, magnesio Mg y cromo Cr, que son fuertes fuentes de absorción para las bandas con longitud de onda de nuestro interés para transmisión. Algunos elementos como el cobre y el cromo, en su peor estado de valencia pueden ocasionar atenuación superior a 1 dB/ km en la región del infra rojo cercano. En los procesos de fabricación modernos su contenido se ha logrado reducir considerablemente.

Por último, existe una atenuación aún más importante ocasionada por el ion hidroxilo residual (OH) el cual produce una línea de absorción a 2730 nm, y sus armónicos y combinaciones tonales a 1390, 1240 y 950 nm. Estas pérdidas se deben al agua que queda en la fibra durante el proceso de fabricación [7]. Se fabrican fibras las cuales tienden a disminuir este valor de atenuación, fibras con “pico de agua reducido”.

➤ **Esparcimiento lineal**

El esparcimiento lineal provoca la transferencia de cierta parte o de toda la potencia óptica contenida dentro de un modo de propagación, a uno u otros modos diferentes, es decir ocurre reflexión y cambio en la dirección de propagación. Este proceso tiende a resultar en la atenuación de la luz transmitida, ya que la transferencia puede ser a un modo que no continúa propagándose dentro del núcleo de la fibra. Al ser un proceso lineal, tanto el rayo reflejado como el refractado tienen la misma longitud de onda que el rayo incidente. El esparcimiento lineal puede clasificarse en dos tipos principales: esparcimiento de Rayleigh y Mie.

Esparcimiento de Rayleigh

Es debida a imperfecciones en la interfaz núcleo-revestimiento o a los cambios de densidad y variaciones existentes en la concentración molecular, ocasionadas por imperfecciones en el material de la fibra, las cuales tienen un tamaño menor en comparación a la longitud de onda de transmisión y ocasionan un cambio en el índice de refracción.

Hay un punto en el espectro a aproximadamente 1550 nm donde la absorción de infrarrojos y ultravioleta es mínimo. Alrededor de este punto la dispersión de Rayleigh es la pérdida dominante. La dispersión de Rayleigh es una función inversa de la longitud de onda. A medida que aumenta la longitud de onda, la dispersión de Rayleigh disminuye [7].

Esparcimiento de Mie

El esparcimiento se da en todas direcciones, pero el esparcimiento de Mie se da principalmente en dirección hacia delante y es causada por imperfecciones de la fibra óptica que tienen un tamaño mayor en comparación a la longitud de onda que está siendo transmitida, cuando esto ocurre la potencia dispersada puede ser muy grande.

Dependiendo del material de fibra, el diseño y la fabricación, la dispersión Mie puede causar pérdidas significativas. Las no-homogeneidades pueden reducirse, eliminando las imperfecciones debidas al proceso de fabricación del vidrio, extrusión y recubrimiento cuidadosamente controlados de la fibra y aumentando la diferencia relativa del índice de refracción. Por estos medios es posible reducir la dispersión de Mie a niveles insignificantes [7].

➤ **Esparcimiento no lineal**

El esparcimiento no lineal provoca que la potencia óptica de un modo se transfiera en dirección hacia delante o hacia atrás al mismo u otros modos con longitudes de onda diferentes. Depende críticamente de la densidad de potencia óptica dentro de la fibra, por ello, sólo se vuelve significativo a niveles de potencia que se encuentran por encima de cierto umbral, afectando principalmente transmisiones a grandes distancias donde se utiliza alta densidad de potencia.

Existen dos tipos de esparcimiento no lineal Brillouin y Raman, este tipo de fenómenos generan ganancia óptica en otras longitudes de onda, ocasionando atenuación en la longitud de onda principal. Este tipo de fenómenos son aprovechados para la amplificación de potencia.

Esparcimiento de Brillouin

El esparcimiento de Brillouin estimulado (SBS) puede considerarse como la modulación de la luz a través de las vibraciones térmicas moleculares dentro de la fibra. La luz dispersada aparece como bandas laterales superior e inferior que están separadas de la luz incidente por la frecuencia de modulación [7].

El fotón incidente en este proceso de dispersión produce un fotón de frecuencia acústica, así como un fotón disperso. Esto produce un cambio de frecuencia óptica que varía con el ángulo de dispersión porque la frecuencia de la onda sonora varía con la longitud de onda acústica. El desplazamiento de frecuencia es un máximo en la dirección hacia atrás, reduciéndose a cero en la dirección hacia adelante, haciendo SBS un proceso principalmente hacia atrás.

Esparcimiento de Raman estimulado (SRS)

Es similar a SBS excepto que se genera un fotón óptico de alta frecuencia en lugar de un fotón acústico en el proceso de esparcimiento. Además, SRS puede ocurrir en ambas direcciones hacia delante y hacia atrás en una fibra óptica, y puede tener un umbral de potencia óptica de hasta tres órdenes de magnitud mayor que el umbral de Brillouin en una fibra particular.

➤ **Microcurvaturas**

Las fibras ópticas sufren pérdidas de potencia por radiación en curvas, es decir, uno o varios haz de luz salen del núcleo e incluso del revestimiento Figura 1.9. Las microcurvaturas generalmente se forman durante el proceso de fabricación, las cuales son a muy pequeña escala, difícilmente visibles a simple vista.

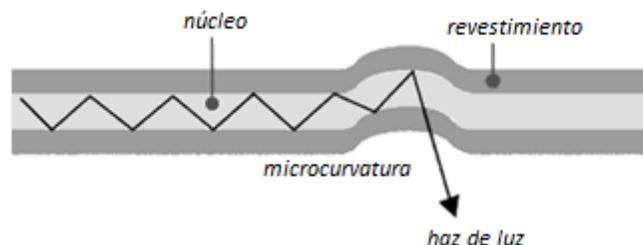


Figura 1.9. Pérdida por radiación en microcurvatura.

1.2.4.2 Factores extrínsecos que provocan Atenuación

Los factores extrínsecos, son ocasionados por mecanismos externos a la fibra óptica. A continuación, se mencionan este tipo de factores:

➤ **Acoplamiento**

Un acoplador es una estructura que transfiere la potencia óptica entre dos fibras o entre un dispositivo activo y una fibra [10]. Debido a que el acoplamiento se hace enfrentando las caras de fibra óptica, existen múltiples factores que producen una pérdida significativa, como; la separación

entre ambas caras (se forma interfaz aire-núcleo), mala alineación, variación en el tamaño del núcleo, apertura numérica, etcétera.

➤ Conectores

Un conector es un componente que une cables ópticos con el fin de proporcionar interconexión/desconexión óptica de las fibras en los cables [10].

Un parámetro importante de un conector es la pérdida de potencia que producen. La pérdida de potencia en el mejor conector está por debajo de 1 dB. La recomendación ITU-T G.671 (02/2012) SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS, nos da los valores máximos recomendados para ciertos parámetros, y se muestran en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Valores característicos de conector. ITU-T G.671 (02/2012) [10].

Cláusula	Parámetro	Valor Max	Valor Min	Método de prueba
5.6.1	Pérdida por inserción (dB) <ul style="list-style-type: none"> • Fibra única • Multifibra 	0.5	Na	[IEC 61300-3-4] [IEC 61300-3-7]
5.6.2		1.0	Na	[IEC 61300-3-4] [IEC 61300-3-7]
5.6.3	Reflectancia (dB)	-35	Na	[IEC 61300-3-6]

Para poder alinear de manera directa las fibras ópticas o conectores, debe prepararse la cara extrema de la férula del conector para poder dar contacto fibra a fibra, esto generalmente se hace mediante pulido, existen cinco tipos de pulido mostrados en la Tabla 1.2 y la Figura 1.10 [11].

Tabla 1.2. Valores característicos del tipo de pulido [11].

Tipo Pulido	Reflectancia	Color Conector
(FC) Flat Connectors	-30dB	Azul
(PC) Physical Contact Connectors	-40dB	Azul
(SPC) Super Polish PC Connectors (UPC) Ultra Polish Connectors	-50dB -55dB	Azul
(APC) Angled Polish Connectors	-65dB	Verde

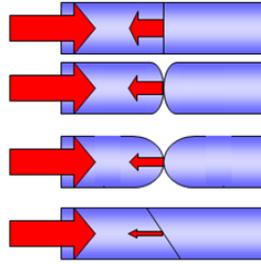


Figura 1.7. Tipos de pulido en conectores [11].

➤ Empalmes

Es una unión permanente o semipermanente que tiene como finalidad acoplar la potencia óptica entre dos fibras, existen dos tipos de empalme:

Empalme de fusión. Unión en la cual los extremos de las fibras se unen de manera permanente mediante fusión.

El proceso de empalme de fusión implica básicamente seis pasos [12]:

1. Remover la capa protectora de ambas fibras con unas pinzas especiales, de manera que solo quede el núcleo y revestimiento.
2. Preparar las caras de ambas fibras haciendo uso de una cortadora de fibra óptica.
3. Colocar las fibras en la empalmadora de fusión la cual realiza la alineación de ambas.
4. Se fusionan ambas fibras con el uso de un arco eléctrico generado entre los dos electrodos de la empalmadora de fusión.
5. La empalmadora realiza una estimación de la pérdida resultante del empalme.
6. Colocar la manga protectora de empalme.

Este tipo de empalme se puede realizar de dos formas diferentes; mediante la alineación de revestimiento y mediante la alineación de núcleo. Siendo esta última la que tiene mayor precisión, produciendo una menor pérdida de potencia. La primera suele implementarse para instalaciones en interiores como FTTH y la segunda para tendido de fibra en exteriores.

Empalme mecánico. Unión en la cual los extremos de las fibras no se unen de manera permanente, se hace por medio de un ensamblaje mecánico, debido a ello tienen una pérdida mucho mayor que un empalme por fusión. Actualmente este tipo de empalmes ya no es utilizado en la instalación de una red.

Las pérdidas en un empalme surgen por factores que resultan diferentes en cada una de las fibras a empalmar, como; variación en el diámetro o elipticidad del núcleo, diferente índice de refracción, mal alineamiento, mala calidad en la preparación de las caras extremas de la fibra antes del empalme, etcétera. En la Tabla 1.3 obtenida de la recomendación ITU-T L.36 (01/2015) SERIES L: CONSTRUCTION, INSTALLATION AND PROTECTION OF CABLES AND OTHER ELEMENTS OF OUTSIDE PLANT, se muestran los valores de los parámetros recomendables para un empalme.

Tabla 1.3. Valores característicos de empalme. ITU-T G.671 (02/2012) [10].

Cláusula	Parámetro	Valor Max	Valor Min	Método de prueba
5.13.1	Perdida por inserción (dB)	0.50	Na	[IEC 61300-3-4] [IEC 61300-3-7]
5.13.2	<ul style="list-style-type: none"> • Empalme mecánico 	0.30	Na	
5.13.3	<ul style="list-style-type: none"> • Empalme por fusión por alineamiento de núcleo. • Empalme por fusión por alineamiento de revestimiento. 	0.50	Na	
5.6.3	Reflectancia (dB)	-40	Na	[IEC 61300-3-6]
	<ul style="list-style-type: none"> • Empalme mecánico • Empalme por fusión 	-70	Na	

➤ **Macrocurvaturas**

Curvas a mayor escala, generalmente ocasionadas durante la instalación, las cuales producen pérdidas de potencia (radiación).

1.2.5 Pérdida por inserción (IL)

Este término hace referencia a la reducción de potencia óptica en decibeles ocasionada por un componente pasivo que se encuentra colocado en un enlace de transmisión. Se define como [10]:

$$IL = -10 \log \left(\frac{P_{out}}{P_{in}} \right)$$

P_{out} : Potencia óptica recibida en el puerto de salida

P_{in} : Potencia óptica inyectada en el puerto de entrada

Para todos los elementos de red existe un valor máximo de pérdida por inserción definidos en recomendaciones, para lograr que la red tenga un funcionamiento óptimo.

1.2.6 Pérdida de retorno óptico (ORL)

Es la fracción total de la potencia de entrada que es reflejada a la misma entrada, debido a la presencia de algún componente óptico o por la misma fibra óptica. Se define como:

$$ORL = -10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

P_{out} : Fracción de la potencia de entrada que es reflejada

P_{in} : Potencia de entrada

Este parámetro es muy importante, ya que la reflexión en exceso puede dañar a los equipos de transmisión, incrementar la tasa de BER y como resultado de ello generar mala calidad de servicio.

1.2.7 Reflectancia

Es la relación de la potencia reflejada respecto a la potencia incidente en algún componente pasivo. Este término es similar al ORL, la diferencia es que solo hace referencia a un componente individual. Se define como:

$$R = -10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right)$$

P_{out} : Potencia reflejada

P_{in} : Potencia incidente

1.3 Equipos de medición

1.3.1 OTDR

Anteriormente se definió el termino atenuación, el cual es de gran importancia ya que limita la máxima distancia de transmisión en un enlace, entre otros factores, es ocasionada por componentes pasivos como; conectores, acopladores, empalmes, etcétera o por factores externos como; macrocurvaturas o demasiada tensión en la fibra.

Es importante asegurarse que después de una instalación de fibra óptica no se tienen pérdidas adicionales o con valores mayores a los esperados, que provoquen una atenuación excesiva en la señal, o estando ya en servicio una red de fibra lograr localizar las fallas que lleguen a presentarse. Existe un equipo con el cual podemos medir la atenuación total en un enlace, este equipo nos permite saber el valor puntual de pérdidas significativas a lo largo del enlace y la distancia aproximada a la cual se encuentran, es decir nos permite localizar con gran exactitud fallas o anomalías; el Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo (OTDR por sus siglas en inglés).

El OTDR es un equipo que utiliza una técnica de medición desarrollada a mediados de 1970 por el Doctor Stuart Persenick y el Doctor Michael Bainoski [6].

Está compuesto por 6 elementos básicos como se muestra en la Figura 1.11:

- 1) Fuente
- 2) Acoplador óptico direccional
- 3) Foto receptor
- 4) Amplificador
- 5) Microprocesador
- 6) Pantalla

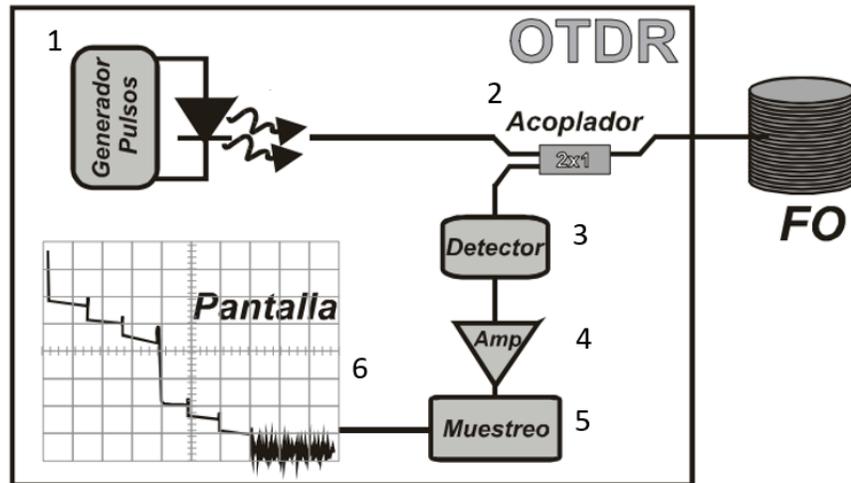


Figura 1.8. Elemento componentes del OTDR.

Su funcionamiento está basado en el fenómeno de esparcimiento de Rayleigh, del que se habló anteriormente cuando se explicó el esparcimiento lineal.

El OTDR genera un pulso de luz el cual es introducido dentro de la fibra óptica, este pulso viaja dentro de ella hasta encontrarse con algún obstáculo (evento) como impurezas y/o fluctuaciones del índice de refracción que resultan en un valor de atenuación, es decir, a medida que el pulso óptico se propaga a lo largo de la fibra, parte de su energía es reflejada en dirección opuesta a la del haz incidente regresando al OTDR, esto debido en gran medida al esparcimiento de Rayleigh. Las características del haz retroesparcido permiten determinar la magnitud y localización de eventuales zonas de pérdidas a lo largo de la fibra.

Cuando el pulso regresa al equipo OTDR, incide sobre el acoplador óptico direccional, el cual hace que este pulso llegue al fotorreceptor para evitar dañar la fuente generadora de pulsos, donde se convertirá en una señal eléctrica que finalmente se amplifica.

La señal devuelta al OTDR nos permitirá identificar dos tipos de eventos importantes:

- Evento no reflexivo. Luz retroesparcida a lo largo de la fibra por imperfecciones o elementos como; curvaturas y empalmes, produciendo una pérdida de potencia.
- Evento reflexivo. Luz retroesparcida a partir de eventos con discontinuidades del índice de refracción como; conectores, roturas y extremos finales. La luz reflejada conlleva una pérdida de potencia mayor en este caso.

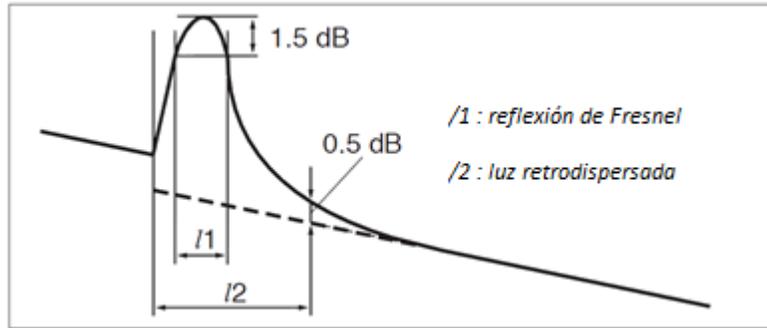


Figura 1.9. Atenuación en evento reflexivo [13].

Es importante mencionar que la fuente del OTDR envía múltiples pulsos y no solo uno, debido a que la señal de luz reflejada es muy débil y difícil de distinguir a causa del ruido en la parte receptora de este mismo. Los pulsos serán de corta duración, es decir, serán emitidos por un corto periodo de tiempo el cual será definido al configurar el parámetro “ancho de pulso” en el OTDR y tendrán una cierta potencia fija que dependerá del parámetro “rango dinámico”, parámetro característico de cada OTDR. Ambos parámetros se describen más adelante.

El OTDR detecta todas las señales que devuelve la fibra óptica causadas por el retroesparcimiento y reflexión del pulso, y mide el tiempo que tarda en ir y regresar cada señal. Conociendo el índice de refracción “n” del núcleo de la fibra y el tiempo de ida y vuelta de la señal de retorno “t”, el OTDR calcula la distancia a un evento en base a la siguiente ecuación [8]:

$$Distancia = \frac{c * t}{2n}$$

$$c \text{ (velocidad de la luz)} = 3 \times 10^8 \left[\frac{m}{s} \right]$$

El detector del OTDR promedia los pulsos devueltos, para procesar la información y finalmente calcular y desplegar los resultados en forma de un trazo, en una pantalla gráfica. El trazo muestra una gráfica en el cual el eje vertical es la atenuación en [dB] y el eje horizontal la distancia óptica [Km]. La pendiente de la traza es aproximadamente igual al coeficiente de atenuación de la fibra bajo prueba. En la Figura 1.13 observamos un ejemplo de trazo de un OTDR.

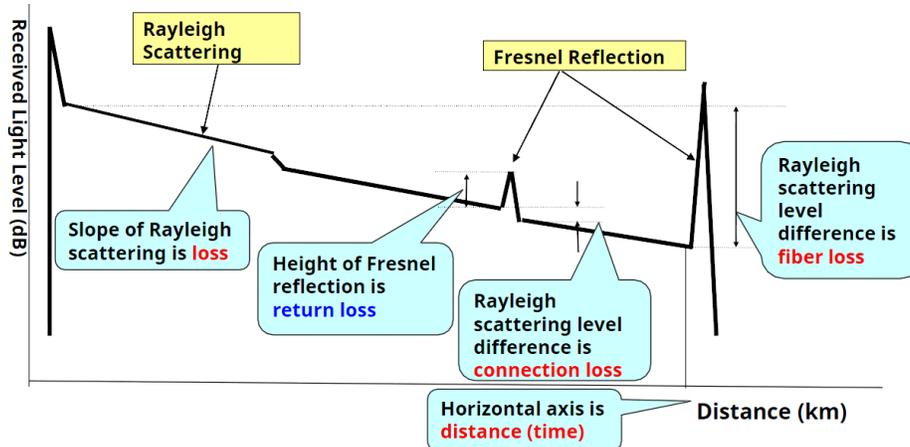


Figura 1.10. Trazo de OTDR.

El OTDR tiene parámetros característicos importantes, los cuales nos permiten saber cuál es su capacidad en distancia y su precisión:

Rango dinámico

Este valor está dado en dB, nos permite saber la pérdida óptica total que el OTDR puede analizar. A partir de este valor podemos saber el alcance total en longitud del equipo.

Zona muerta

Es generada por un evento reflexivo, el detector del OTDR se satura durante cierto tiempo, tiempo que tarda en recuperarse para poder seguir midiendo correctamente. Esto afecta la capacidad del equipo para medir con precisión la atenuación en enlaces pequeños y diferenciar entre si eventos que se encuentran a corta distancia. Como resultado de la saturación existe una distancia después del evento reflexivo la cual no puede ser vista por el equipo, por lo tanto la zona muerta es un valor con unidades de longitud.

Existen dos tipos de zona muerta; zona muerta de evento, que es la distancia necesaria que debe existir entre dos eventos reflexivos para que estos puedan distinguirse el uno del otro por el equipo y la zona muerta de atenuación que es la distancia mínima necesaria para que tras un evento reflexivo el equipo pueda medir una pérdida ocasionado por otro evento reflexivo o no reflexivo [14].

Resolución

La resolución de muestreo se define como la distancia mínima entre dos puntos de muestreo consecutivos adquiridos por el instrumento.

1.3.2 Unidad de Prueba Remota (RTU)

El equipo que se utilizó para desarrollar este trabajo de tesis fue la Unidad de Prueba Remota Modelo RTU-720, equipo de monitoreo a nivel capa física. Este equipo está conformado por un módulo de OTDR que se mantendrá realizando pruebas constantes y consecutivas en cada uno de los hilos a monitorear con ayuda de un conmutador óptico, en caso de detectar alguna falla o evento fuera de lo común, envía una alerta para que esta pueda ser atendida rápida y eficientemente, mejorando drásticamente la disponibilidad de la red y el tiempo de respuesta. Aunque la función principal del RTU es monitorear realizando pruebas constantes, también puede utilizarse como una unidad OTDR y realizar pruebas manuales.

El RTU cuenta tanto con software como con hardware, la parte de software es la encargada de gestionar la red y su configuración.

Respecto al hardware, el RTU está compuesto por dos unidades:

1. THC (Test head controller). La unidad THC es la que lleva el control del sistema, tiene un puerto Ethernet para acceso local en el panel frontal y puertos en el panel posterior para conectar a la unidad OTH, LAN, línea telefónica y un conmutador óptico externo opcional.

2. OTH (Optical test head). La unidad OTH contiene el módulo de OTDR y un conmutador óptico. En este caso el OTH cuenta con 16 puertos disponibles, lo que significa que podemos conectar 16 hilos de fibra óptica y monitorearlos todos consecutivamente. Tiene cuatro LEDs en el panel frontal los cuales supervisan el estado del THC, OTH, el láser de OTDR y la comunicación con el servidor EMS (Enterprise Management Server), este último no se utiliza para las unidades autónomas y en este trabajo se manejará un RTU autónomo.

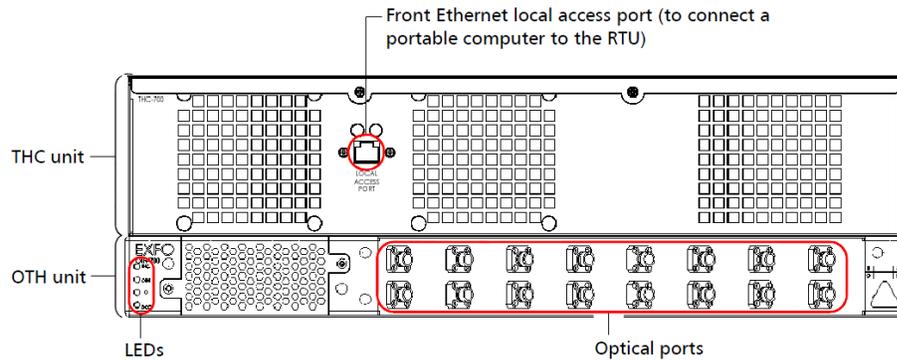


Figura 1.11. RTU. Panel frontal[15].

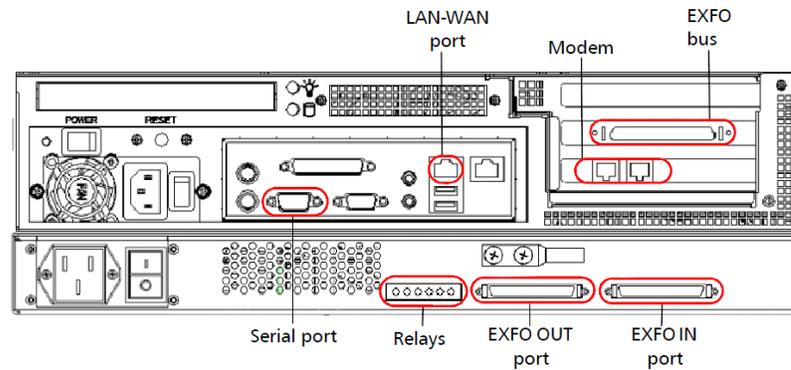


Figura 1.12. RTU. Panel trasero [15].

Después de la instalación física del equipo, acceder al sistema para poder configurarlo se puede hacer de dos formas distintas:

1. A través del puerto de acceso local mediante el uso de un ordenador portátil.
2. Remotamente mediante la conexión a una red LAN/WAN. El equipo con el que se planea acceder remotamente debe estar conectado a la misma red, se accede a la interfaz del equipo utilizando cualquier navegador Web, introduciendo en la barra de búsqueda la dirección IP asignada al RTU.

Tabla 1.4. Configuración para Acceso remoto.

Acceso al RTU	Dirección IP correspondiente
Local	192.168.0.1
LAN	Dependerá de cómo esté configurado al servidor LAN/WAN

La interfaz gráfica del RTU pide un usuario y contraseña para lograr acceder. El equipo tiene definida una cuenta específica para el usuario administrador. El usuario administrador tiene la posibilidad de dar de alta en el sistema a otros usuarios secundarios los cuales pueden tener acceso individual al sistema. Por motivos de seguridad, estos no pueden modificar los parámetros de configuración del programa de monitoreo, sin embargo, pueden visualizarlos, así como acceder a la base de información para revisar alarmas, trazos del monitoreo, realizar pruebas manuales, etcétera. Si se desea que los usuarios secundarios reciban alertas del sistema, se debe realizar la configuración correspondiente al momento de darlos de alta.

La función del RTU es mantener un monitoreo constante sobre los hilos de fibra óptica del enlace que estén conectados al OTH, realizará pruebas a nivel capa física constantemente mediante un módulo de OTDR, las cuales serán comparadas con un trazo de referencia.

Características del módulo OTDR [16].

Tabla 1.5. Características OTDR.

UNIDAD DE PRUEBA REMOTA Modelo FG-720	
Módulo OTDR	Core
Tipo de fibra	Monomodo
Longitud de onda (nm)	1550/1625
Rango dinámico (dB)	45/45

El RTU cuenta con tres tipos diferentes de prueba programables:

1. Monitoreo. Esta prueba se programa para vigilar de manera constante el enlace, las 24 horas del día los 7 días de la semana, principalmente para detectar cortes de fibra o degradación de la potencia que pueda afectar drásticamente la calidad de servicio. La configuración automática de esta prueba tiene un tiempo de duración de 15 segundos por puerto, sin embargo, este valor puede ser modificado. Los resultados de estas pruebas solo se almacenarán si contienen información de falla o evento.
2. Mantenimiento Proactivo. Prueba que se puede realizar diariamente o semanalmente en una ruta específica para poder detectar degradaciones que no afectan la calidad de servicio. Esta prueba detecta fallas y alertas cuando el nivel de degradación está por encima de un conjunto de umbrales de detección de fallos. El tiempo de prueba automático es de 45 segundos y puede ser modificado. Este tipo de prueba se recomienda principalmente para realizar un análisis a largo plazo de la red, es decir, construir resultados de tendencias históricas. Los resultados de estas pruebas siempre se almacenan.
3. Prueba bajo demanda. Este tipo de prueba se realiza para verificar el correcto funcionamiento de la red cuando sea necesario. Está prueba a diferencia de las dos

anteriores no se crea automáticamente, el usuario administrador es quien debe programarla.

Los parámetros de adquisición de las pruebas como lo son; rango (distancia a medir), ancho de pulso y duración de la prueba se pueden configurar o dejar que el equipo lo haga automáticamente de acuerdo con el enlace de fibra que se encuentre conectado a la unidad.

Fase de aprendizaje

Una de las funciones más importante del RTU es la fase de aprendizaje, que consiste en al menos un ciclo durante el cual la aplicación realizará el número especificado de adquisiciones para establecer los parámetros de detección de fallos, los cuales se establecerán como límites basados en el valor promedio de todas las adquisiciones. Estos parámetros tendrán en cuenta las variaciones ambientales que ocurren en la fibra durante la fase de aprendizaje.

Esta función proporciona información sobre cada fibra bajo prueba. Crea una serie de estadísticas sobre la estabilidad de la pérdida en el enlace y de cada evento de la traza de referencia de cada fibra. Los eventos o secciones estables pueden ser monitoreados más de cerca. Los eventos menos estables, como la porción extrema muy lejana de la traza, se obtienen del sistema con los mejores umbrales de detección de fallos posibles [15].

El número de adquisiciones para la fase de aprendizaje es un valor configurable, también es posible iniciar un ciclo de aprendizaje en una fecha previamente establecida o periódicamente.

Resultados de pruebas

Los resultados de las pruebas consisten en trazas y tablas, que se van almacenando en una base de datos.

Las trazas de OTDR para las pruebas mencionadas anteriormente consisten en 5 trazos sobrepuestos en la misma gráfica, los cuales pueden ser visualizados simultáneamente o por separado. Tal como se muestra en la Figura 1.16.

1. Current. Traza de la prueba correspondiente.
2. Minimum. Durante el período de aprendizaje, se realizan muchas mediciones, en cada posición de distancia en la medición con OTDR, la aplicación mantiene el valor mínimo medido. La traza Min corresponde a una "reconstrucción" de una medición de OTDR, utilizando el valor promedio del valor mínimo medido en cada posición de distancia.
3. Maximum. La traza Max muestra una "reconstrucción" de una medición de OTDR, utilizando el valor promedio del valor máximo medido en cada posición de distancia.
4. Average. Durante el período de aprendizaje, en cada posición de distancia de la medida con OTDR, la aplicación mantiene el valor medio. Esta traza corresponde a una "reconstrucción" de una medición con OTDR, utilizando el promedio del valor promedio calculado en cada posición de distancia.
5. Reference. Es la traza de referencia, corresponde a la medida con OTDR que se realizó la primera vez que se ejecutó la configuración de la prueba. El análisis de esta primera medida determina la estructura de la tabla de caracterización de eventos que está asociada a la configuración de prueba.

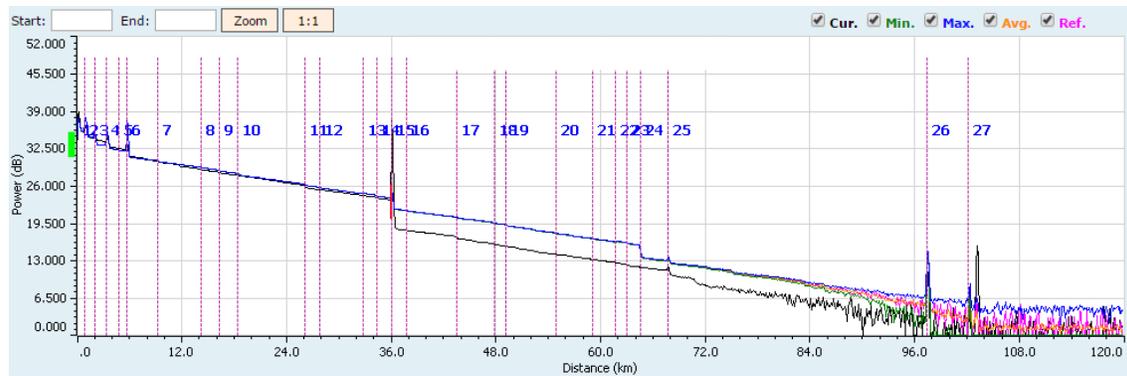


Figura 1.16. Trazo de monitoreo.

Las tablas de resultados que se generan durante la detección de alguna falla junto con la traza, contienen información sobre el trazo en el que se detecta la falla e información sobre la traza de referencia para que el usuario pueda comparar ambas.

- Número de evento a lo largo de la longitud total del hilo de fibra bajo prueba.
- Tipo de evento que se suscita.
- Posición longitudinal de cada evento.
- Parámetros del trazo en el que se detecta la falla, para cada uno de los eventos; pérdida en dB, atenuación en dB/km, reflectancia en dB y pérdida acumulada en dB.
- Parámetros del trazo de referencia, para cada uno de los eventos; pérdida en dB, atenuación en dB/km, reflectancia en dB y pérdida acumulada en dB.

Como se mencionó anteriormente los resultados de las pruebas se almacenan en una base de datos, a la cual podemos acceder mediante el explorador de resultados dentro de la interfaz del equipo, estos pueden ser exportados en formato .tcr y visualizarse de manera independiente en el software "ToolBox Office" o en formato .xlsx para visualizarse en forma de tabla de datos.

Alarmas

Se generan cuando el sistema de monitoreo detecta la presencia de eventos fuera de lo común o la combinación de estos. El equipo cuenta con cuatro tipos de alarmas que se generan automáticamente durante el momento de la instalación:

1. Fallo de fibra. Detecta todo evento relacionado con degradación de potencia o daños físicos por ejemplo una rotura de fibra.
2. Fallo del sistema.
3. Fallo de fibra (para sistemas OSS / GIS), el cual no aplica en este trabajo, ya que no se implementa ninguno de estos sistemas.
4. Señal de vida. Esta puede ser considerada no como una alarma, si no como una notificación de que el equipo se encuentra funcionando sin problema alguno.

Sin embargo, el administrador de la red tiene la posibilidad de crear sus propias alarmas, dependiendo de sus necesidades e incluso eliminar alguna de las cuatro que se generan automáticamente.

Para el desarrollo de este trabajo se implementó un módulo celular, de uso especial para aplicaciones automatizadas de monitoreo remoto, para poder notificar mediante un mensaje SMS al usuario administrador, las alarmas que lleguen a presentarse.



Figura 1.17. Módulo celular.

Capítulo 2

RED DE TRANSPORTE EN LA CIUDAD DE MÉXICO

2.1 Topología de la red de transporte por fibra óptica

Para la realización de este trabajo de tesis, se monitorearon dos hilos de fibra óptica que pertenecen a La Red Delta Metropolitana. Esta consiste en la infraestructura de fibra óptica instalada en el año 2010 y equipo activo de red que mantiene interconectados a los Centros de Súper cómputo de las Instituciones Educativas Públicas más importantes de la Ciudad de México; la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), el Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (CINVESTAV) y la Universidad Autónoma Metropolitana plantel Iztapalapa (UAM-I).

La capacidad de la Red Delta es de 72 hilos, que están instalados en los túneles del Sistema de Transporte Colectivo (STC), metro de la Ciudad de México. La fibra óptica está instalada a lo largo de las líneas 3, 4, 5, 8 y 9 del STC.

Cada una de las instituciones antes mencionadas tiene instalados dos paneles de distribución de fibra óptica con el objetivo de que cada una se mantenga comunicada con las otras dos Figura 2.1. De esta manera la infraestructura instalada tiene forma de “delta”, de ahí el nombre que recibe.



Figura 1.1. Paneles de Distribución de Fibra Óptica.

El tipo de fibra que se encuentra instalada es la G.652.D Tabla 2.1.

Fibre attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.6-9.2	μm
	Tolerance	± 0.4	μm
Cladding diameter	Nominal	125.0	μm
	Tolerance	± 0.7	μm
Core concentricity error	Maximum	0.6	μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
Macrobending loss	Radius	30	mm
	Number of turns	100	
	Maximum at 1625 nm	0.1	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
Chromatic dispersion parameter	λ_{omin}	1300	nm
	λ_{omax}	1324	nm
3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm)	S_{omin}	0.073	$\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$
	S_{omax}	0.092	$\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$
Linear fitting (1460 nm to 1625 nm)	Minimum at 1550 nm	13.3	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Maximum at 1550 nm	18.6	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Minimum at 1625 nm	17.2	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Maximum at 1625 nm	23.7	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
Cable attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.40	dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm after hydrogen ageing (Note 3)	0.40	dB/km
	Maximum at 1530-1565 nm	0.30	dB/km
PMD coefficient (Note 4,5)	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximum PMD _Q	0.20	$\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$

Tabla 2.1. Características de la fibra óptica G.652.D [5].

A partir de la información obtenida sobre la instalación de la infraestructura para esta red, se sabe la distancia aproximada de cada enlace, así como el número de empalmes requeridos en cada uno, información que se proporciona a continuación.

2.1.1 Enlace Sur-Norte de la Ciudad de México (UNAM- CINVESTAV)

La instalación de este enlace va a través de las estaciones Universidad, Copilco, Miguel Ángel de Quevedo, Viveros, Coyoacán, Zapata, División del Norte, Eugenia, Etiopia, Centro Médico, Hospital General, Niños Héroeas, Balderas, Juárez, Hidalgo, Guerrero, Tlatelolco y La Raza de la línea 3, y Autobuses del Norte, Instituto del Petróleo y Politécnico de la línea 5 del STC.

El tramo de última milla que va del edificio de la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación (DGTIC, localizado dentro de Ciudad Universitaria) a Metro Universidad tiene una longitud total aproximada de 1.3 Km y sigue la trayectoria de la Figura 2.2.

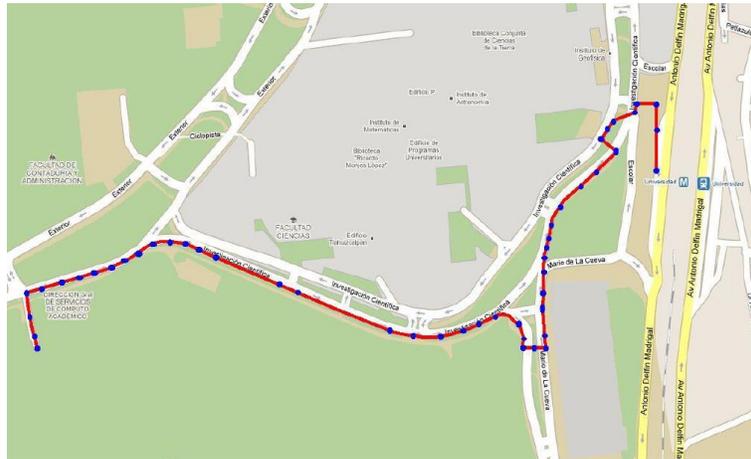


Figura 2.2. Tramo de última milla DGTIC-Metro Universidad [3].

El tramo de última milla que va de CINVESTAV a metro Politécnico tiene una longitud total aproximada de 4.6 Km y sigue la trayectoria de la Figura 2.3.

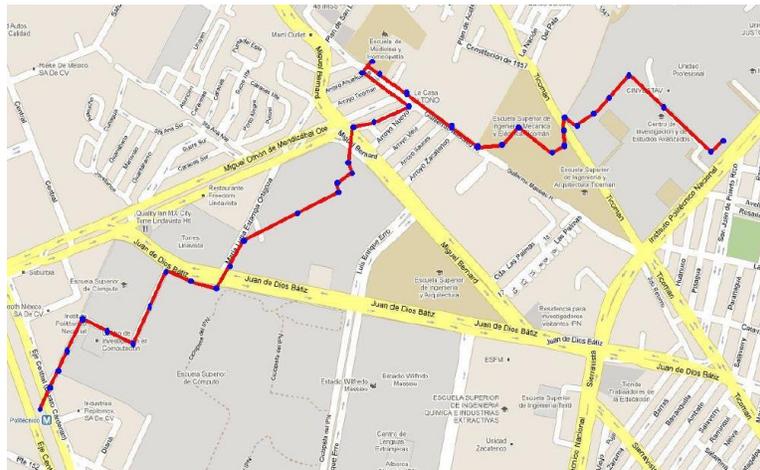


Figura 2.3. Tramo de última milla CINVESTAV-Metro Politécnico [3].

Tabla 2.2. Distancia parcial de enlace UNAM-CINVESTAV [17].

	Distancia (sin tramos de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
UNAM-CINVESTAV	27.544	20	1

Tabla 2.3. Distancia total de enlace UNAM-CINVESTAV [17].

	Distancia (con tramos de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
UNAM-CINVESTAV	33.444	20	1

2.1.2 Enlace Norte-Oriente de la Ciudad de México (CINVESTAV-UAMI)

La instalación de este enlace va a través de las estaciones Politécnico, Instituto del Petróleo, Autobuses del Norte, La raza, Misterios, Valle de Gómez y Consulado de la línea 5, Canal del Norte, Morelos, Candelaria, Fray Servando, Jamaica, Santa Anita, de la línea 4, y Coyuya, Iztacalco, Apatlaco, Aculco, Escuadrón 201, Atlalilco, Iztapalapa, Cerro de la Estrella, UAM-I y Constitución de 1917 de la línea 8 del STC.

El tramo de última milla que va de UAM-I a metro Constitución de 1917 tiene una longitud total aproximada de 1.2 Km y sigue la trayectoria de la Figura 2.4.



Figura 2.4. Tramo de última milla UAMI-Metro Constitución de 1917 [3].

Tabla 2.4. Distancia parcial de enlace CINVESTAV-UAMI [17].

	Distancia (sin tramo de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
CINVESTAV-UAMI	31.588	20	2

Tabla 2.5. Distancia total de enlace CINVESTAV-UAMI [17].

	Distancia (con tramo de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
CINVESTAV-UAMI	37.388	20	2

2.1.3 Enlace Oriente-Sur de la Ciudad de México (UAMI-UNAM)

La instalación de este enlace va a través de las estaciones Constitución de 1917, UAM-I, Cerro de la Estrella, Iztapalapa, Atlalilco, Escuadrón 201, Apatlaco, Aculco, Apatlaco, Iztacalco, Coyuya, Santa Anita, La Viga y Chabacano de la línea 8, Lázaro Cárdenas y Centro Médico de la línea 9, y Etiopia, Eugenia, División del Norte, Zapata, Coyoacán, Viveros, Miguel Ángel de Quevedo, Copilco y Universidad de la línea 3 del STC.

Tabla 2.6. Distancia parcial de enlace UAMI-UNAM [17].

	Distancia (sin tramo de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
UAMI-UNAM	34.325	21	2

Tabla 2.7. Distancia total de enlace UAMI-UNAM [17].

	Distancia (con tramo de última milla) [Km]	Número de empalmes por fusión	Número de empalmes mecánicos
UAMI-UNAM	36.825	21	2



Figura 2.5. Instalación de Red Delta Metropolitana a través del STC.

2.2 Conexiones físicas para las rutas de monitoreo

Para lograr el monitoreo de los dos hilos de la “Red Delta Metropolitana” por completo, se tuvieron que realizar conexiones adicionales entre los paneles de distribución de cada una de las Instituciones.

El material necesario para llevar a cabo lo anterior fue el siguiente:

- 2 cable ópticos dobles de 2 m de longitud con conectores FC/APC- LC/UPC
- 2 cable ópticos dobles de 2 m de longitud con conectores FC/UPC- LC/UPC
- 2 cable ópticos dobles de 100 m de longitud con conectores LC/UPC- LC/UPC
- 2 cable ópticos dobles de 10 m de longitud con conectores FC/UPC- LC/UPC
- 10 cable ópticos dobles de 2m de longitud con conectores FC/UPC- FC/UPC
- 2 paneles de distribución de 16 puertos con acopladores LC/UPC

El equipo de monitoreo RTU, se instaló en el Laboratorio de Telecomunicaciones del Instituto de Ingeniería junto con uno de los paneles de distribución en un rack. Para la instalación del RTU lo principal fue conectar el THC con el OTH como se muestra en la Figura 2.8.

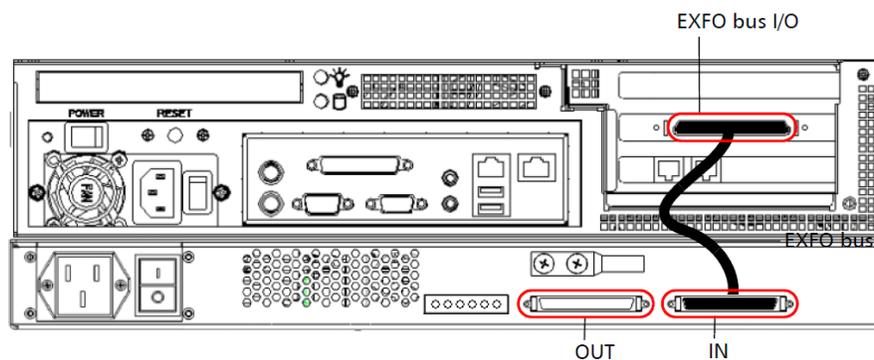


Figura 2.6. Conexión física entre el THC y OTH del RTU [15].

Posteriormente se conectaron los puertos 1 y 2 del OTH, al puerto 1 y 2 del panel de distribución respectivamente, haciendo uso de un cable óptico doble de 2 m de longitud con conectores FC/APC- LC/UPC, APC debido a que los conectores del OTH tiene este tipo de pulido.

Se conectaron los puertos 1 y 2 del panel de distribución a los puertos 5 y 6 del panel del siguiente sitio respectivamente, localizado en el sitio del Instituto de Ingeniería para ello se utilizó un cable óptico doble de 100 m de longitud con conectores LC/UPC- LC/UPC, los cuales fueron instalados previamente a lo largo del edificio entre el laboratorio de Telecomunicaciones y el sitio del Instituto.

El primer paso fue lograr conectar al Instituto de Ingeniería con el edificio de DGTIC, esto no se pudo hacer de manera directa, para lograrlo hubo que conectar con 3 sitios intermedios, haciendo uso de cables ópticos dobles de 2 m de longitud con conectores FC/UPC- FC/UPC, para interconectar los paneles de distribución dentro de cada uno y así lograr comunicarlos, como se observa en el diagrama de conexiones físicas de la Figura 2.14.

En el sitio 1, se conectaron los puertos 5 y 6 del panel que lo une con el Instituto, con los puertos 81 y 82 del panel que lo une al sitio 2 respectivamente.

En el sitio 2, se conectaron los puertos 81 y 82 del panel que lo une al sitio 1, con los puertos 141 y 142 del panel que lo une al sitio 3 respectivamente.

En el sitio 3, se conectaron los puertos 141 y 142 del panel que lo une al sitio 2, con los puertos 37 y 38 del panel que lo une a DGTIC respectivamente.

En la DGTIC se instaló el segundo panel de distribución, se interconectaron los puertos 37 Y 38 del panel que la une al sitio 3 a los puertos 1 y 5 del panel de distribución instalado, con un cable óptico doble de 2 m de longitud con conectores FC/UPC- LC/UPC.

A través de una prueba con OTDR realizada con el RTU, definimos una longitud de 5.6761 km para el enlace entre el Instituto de Ingeniería y DGTIC.

Los parámetros utilizados para realizar la prueba con OTDR en cada puerto fueron los siguientes:

- Longitud de onda: 1550 nm
- Resolución: Normal
- Rango: 10 km
- Ancho de pulso: 30 ns
- Duración de prueba: 15 s

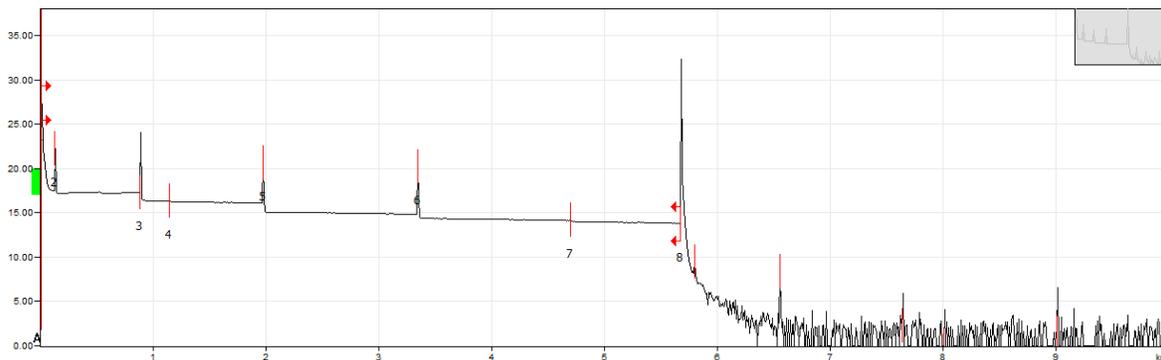


Figura 2.7. Trazo de OTDR en puerto 1 del OTH (Enlace Instituto de Ingeniería-DGTIC).

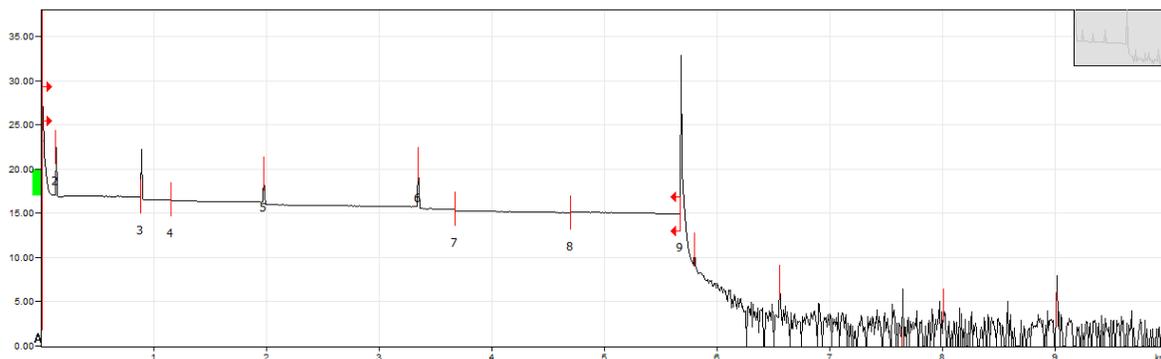


Figura 2.8. Trazo de OTDR en puerto 2 del OTH (Enlace Instituto de Ingeniería-DGTIC).

Así mismo se utilizaron dos cables ópticos dobles de 10 m de longitud con conectores LC/UPC-FC/UPC, para interconectar el puerto 1 y 4 del distribuidor instalado con el puerto 69 y 70 del panel de distribución DGTIC-UAM respectivamente. Y el puerto 5 y 8 con el puerto 69 y 70 del panel de distribución DGTIC-CINVESTAV. Este paso fue fundamental para poder monitorear la red en ambas direcciones, es decir, el puerto 1 del OTH realizará el monitoreo del hilo 69 (anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC) y el puerto 2 del OTH del hilo 70 (anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC).

El paso siguiente fue lograr conectarnos a la “Red Delta Metropolitana” a partir del edificio de DGTIC.

En el sitio correspondiente localizado dentro de UAM unidad Iztapalapa se interconectaron los puertos 69 y 70 del panel de distribución UAM-DGTIC con los puertos 69 y 70 del panel de distribución UAM-CINVESTAV respectivamente, utilizando un cable óptico doble de 2m de longitud con conectores FC/UPC- FC/UPC.

En el sitio localizado dentro de CINVESTAV se interconectaron los puertos 69 y 70 del panel de distribución CINVESTAV-DGTIC con los puertos 69 y 70 del panel de distribución CINVESTAV-UAM respectivamente, utilizando un cable óptico doble de 2m de longitud con conectores FC/UPC-FC/UPC.

Al finalizar las conexiones necesarias, desde el Instituto de Ingeniería se realizaron pruebas de OTDR con el RTU, tanto para el puerto 1 Figura 2.9 como para el puerto 2 Figura 2.10, con el objetivo corroborar la correcta conexión en cada uno de los sitios y verificar el estado de los enlaces, empleando la siguiente configuración:

- Longitud de onda: 1550 nm
- Resolución: Normal
- Rango: 120 km
- Ancho de pulso: 2.5 μ s
- Duración de prueba: 180 s

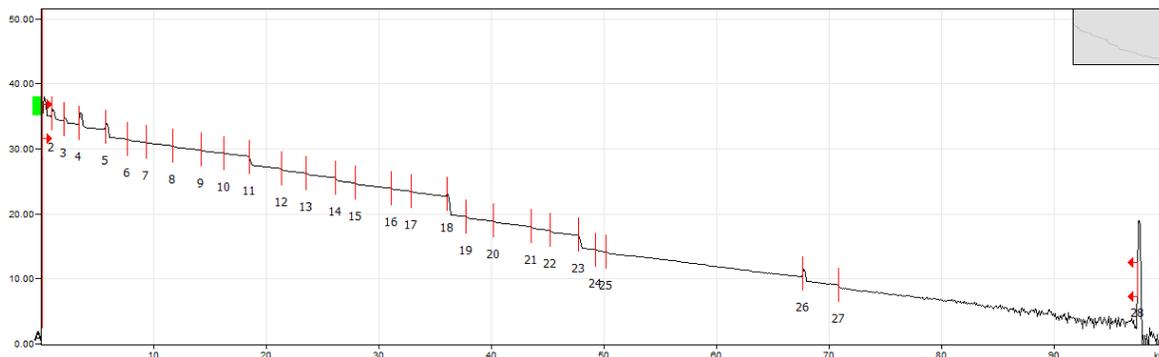


Figura 2.9. Trazo de OTDR en puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

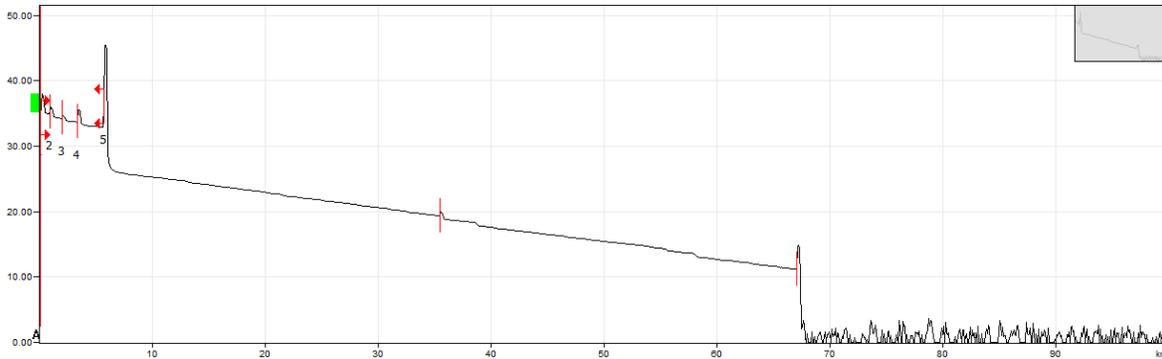


Figura 2.10. Trazo de OTDR en puerto 2 del OTH (Hilo 70 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC

Cabe mencionar que para realizar las pruebas con OTDR antes mencionadas, previamente se llevó a cabo la configuración del RTU, de la cual se hablará detalladamente en el siguiente capítulo.

Inicialmente los hilos 69 y 70 fueron los destinados para ser monitoreados, sin embargo, al realizar las pruebas correspondientes se detectó un conflicto en el hilo 70 Figura 2.10.

La prueba de OTDR en el hilo 70, arrojó que la potencia en el anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC estaba cayéndose por completo a partir de UAM, por lo cual no se lograba observar la longitud total del anillo. El último evento reflexivo observado era aproximadamente a la distancia a la cual se localiza a UAM. Lo que llevó a la conclusión de que posiblemente la conexión en alguno de los dos paneles de distribución localizados ahí, había sido errónea. La solución fue recurrir de nuevo a las instalaciones para revisar la conexión y el estado de los conectores empleados, no se encontró ninguna falla, entonces se decidió realizar pruebas de OTDR desde ese punto.

Parámetros de prueba mediante OTDR portátil:

- Longitud de onda: 1550 nm
- Resolución: Normal
- Rango: 3 km
- Ancho de pulso: 5 ns
- Duración de prueba: 15 s

Primero se realizó la prueba en el enlace UAM-UNAM sin encontrar ningún inconveniente Figura 2.11, después se realizó la prueba en el enlace UAM-CINVESTAV Figura 2.12 encontrando que la falla no era exactamente en la conexión realizada en el panel de distribución, la potencia se caía por completo a una distancia aproximada de 146 m a partir del sitio.

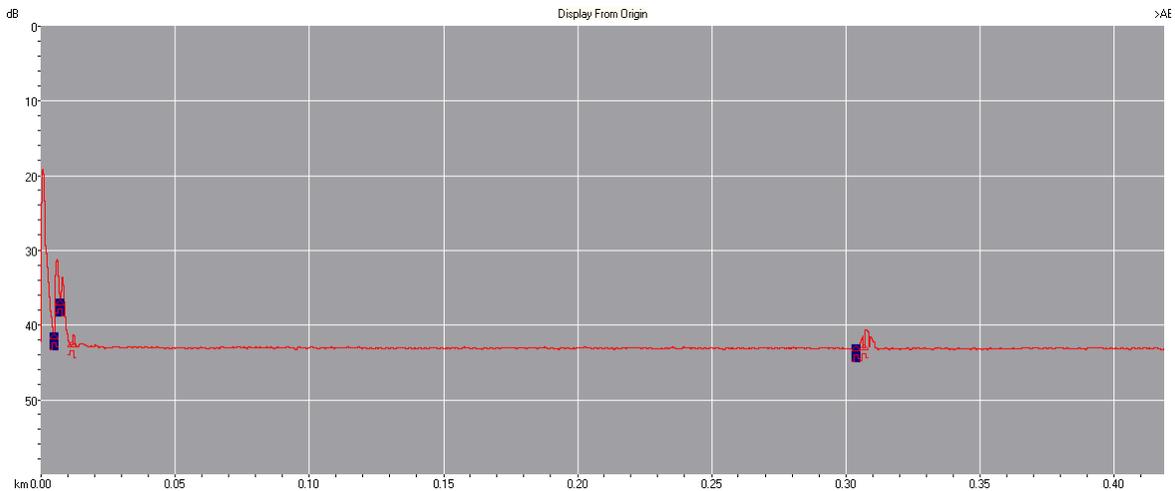


Figura 2.11. Trazo de OTDR de hilo 70 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana. Enlace UAMI-UNAM.

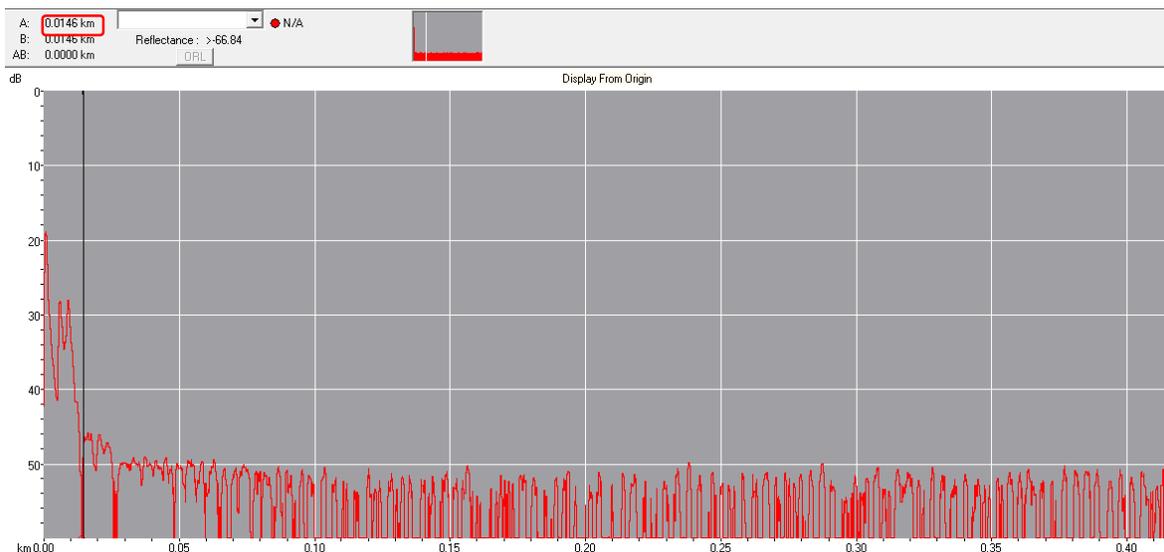


Figura 2.12. Trazo de OTDR de hilo 70 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana. Enlace UAMI-CINVESTAV.

Para poder trabajar sobre la Red, lo primordial fue obtener los permisos necesarios en primera instancia para conseguir el préstamo de los hilos 69 y 70, y en segunda conseguir el acceso a cada uno de los sitios de cada Institución para realizar las conexiones físicas. Como se mencionó anteriormente, la red pertenece a tres Instituciones diferentes, por ello fue fundamental el común acuerdo entre ellas, lo cual no fue una tarea sencilla debido a que cada una cuenta con su propio personal responsable de este proyecto y son propietarios de cierta cantidad de hilos del total, compartiendo también el uso de algunos.

Ahora bien, el hilo 70 presentó una falla la cual estaba en la fibra instalada fuera del sitio de UAM, y no tenía nada que ver con las conexiones realizadas. El poder acceder a la parte de la red afectada para localizar y reparar esta falla, requería de permisos adicionales, los cuales retrasarían

el desarrollo de este trabajo. La solución más viable fue remplazar el hilo 70 por el hilo 72 de la red.

Se asistió una vez más a los sitios para cambiar todas las conexiones realizadas en el puerto 70 al puerto 72. De igual manera al concluir esta tarea, se realizaron pruebas de OTDR con el RTU sobre este hilo de fibra óptica, logrando observar el anillo por completo.

Parámetros de prueba:

- Longitud de onda: 1550 nm
- Resolución: Normal
- Rango: 120 km
- Ancho de pulso: 2.5 μ s
- Duración de prueba: 180 s

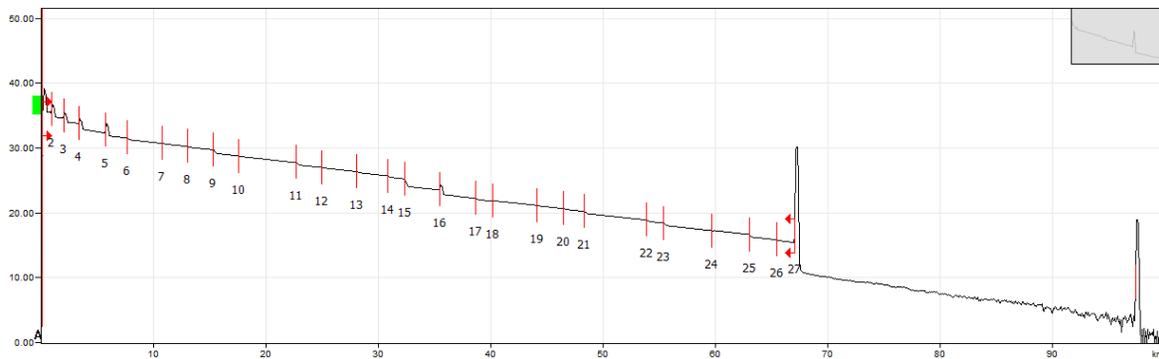


Figura 2.13. Trazo de OTDR en puerto 2 del OTH (hilo 72 de Red Delta Metropolitana, anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC).

En la Figura 2.14 se muestra el diagrama de conexiones final, después de realizar los cambios necesarios al detectar el problema de caída de potencia en el hilo 70 de la red.

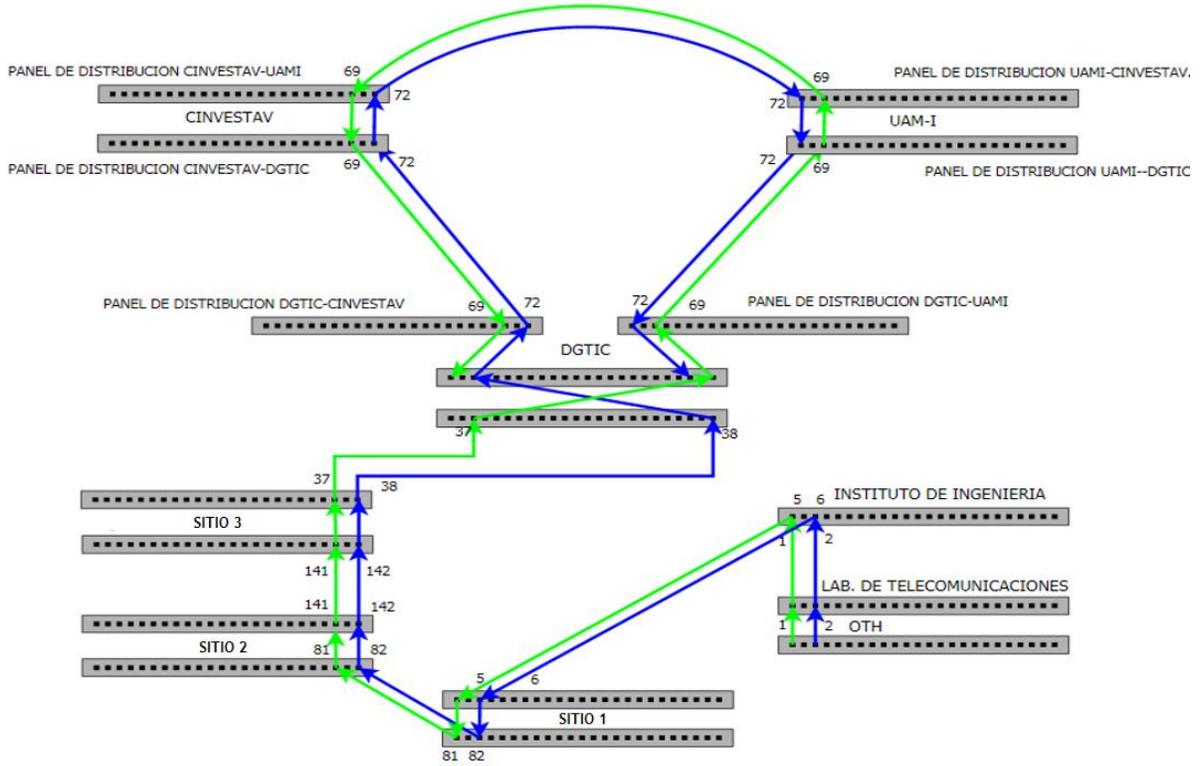


Figura 2.14. Diagrama de conexiones físicas.

Capítulo 3

SISTEMA DE MONITOREO ÓPTICO

3.1 Conexión del RTU a una red local

Se configuró al equipo para accederlo mediante conexión remota, debido a que puede ser utilizado por varios operadores, para ello se configuró con dirección IP, sub máscara y Gateway válidos otorgados por el área de administración de la red del Instituto de Ingeniería, previamente se realizó la conexión física del RTU a la red a través del puerto local Ethernet LAN/WAN (panel trasero del THC) con un cable UTP con conector RJ45.

Al concluir la configuración, es posible acceder de forma remota mediante cualquier equipo de cómputo conectado a la misma red, para acceder a la interfaz solo es necesario escribir la dirección IP que se le asignó, en cualquier navegador WEB.

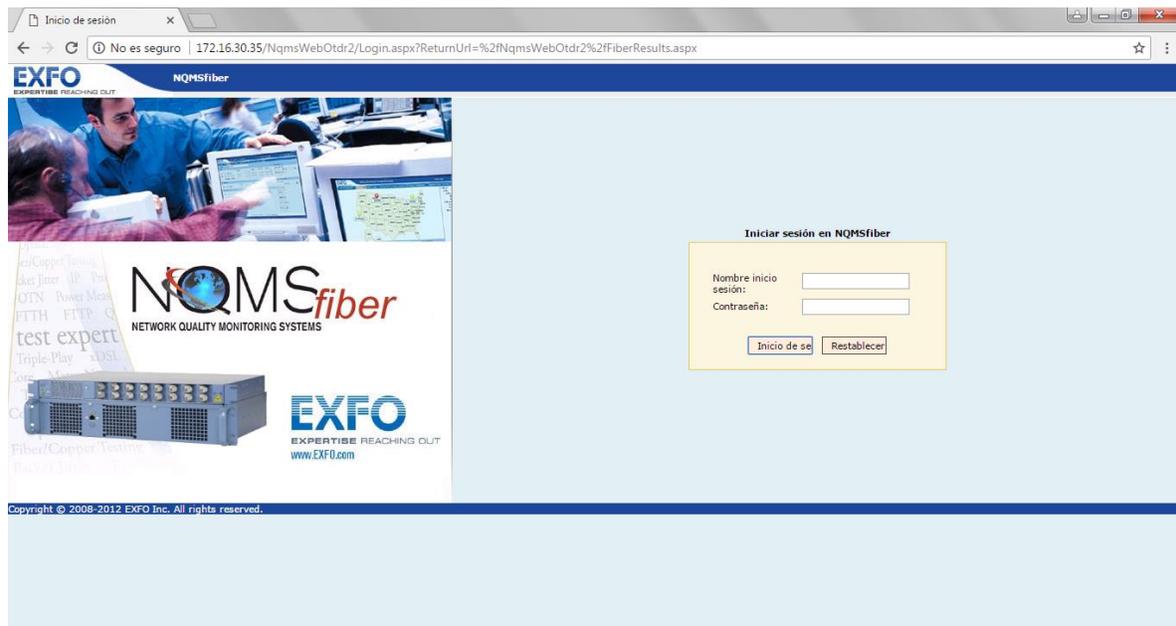


Figura 3.1. Acceso a la interfaz web del RTU.

3.2 Configuración de OTDR remoto

En esta parte, se definió principalmente los tipos de pruebas y los parámetros con que se ejecutarán. Para cada uno de los puertos se programaron dos pruebas diferentes, una para monitoreo constante y otra para realizar un análisis a largo plazo de la red.

Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

1. Prueba de monitoreo constante

2. Mantenimiento proactivo

Puerto 2 OTH (hilo 72 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

1. Prueba de monitoreo constante
2. Mantenimiento proactivo

3.2.1 Establecimiento de trazos de referencia de rutas ópticas

Posterior a la instalación y configuración del equipo a la red del Instituto de Ingeniería, a través de la interfaz para el control remoto del RTU, se realizó la detección de los puertos a utilizar para comenzar el monitoreo de la Red Delta Metropolitana, siendo las fibras previamente conectadas a los puertos correspondientes del OTH, como se explicó en la sección de conexiones físicas para las rutas de monitoreo.

Para lo anterior se seleccionaron los puertos 1 y 2 de los 16 disponibles conforme a la Figura 3.2, destinados para el monitoreo de los hilos 69 y 72 de la Red Delta Metropolitana, el parámetro más importante a configurar en esta parte es la longitud de onda a la que se realizara el monitoreo, el equipo cuenta con dos; 1550 nm y 1625 nm. El monitoreo solo puede ejecutarse a una sola longitud de onda, la elegida para este trabajo es la de 1550 nm debido a que los hilos de fibra óptica seleccionados no se encuentran en servicio, en otras palabras, lo único que estará transmitiéndose a través de los dos hilos de fibra será la luz producida por la fuente del módulo de OTDR del RTU, por ello no puede existir la posibilidad de interferencia. En caso de que se requiera utilizar los hilos de fibra para comunicaciones se determinaría la longitud de onda de 1625nm para no interferir en las mismas.

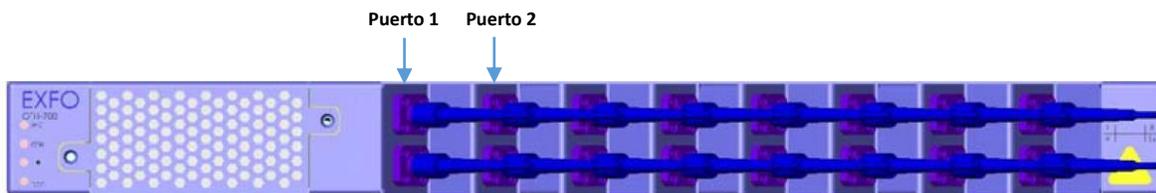


Figura 3.2. Puertos 1 y 2 del OTH.

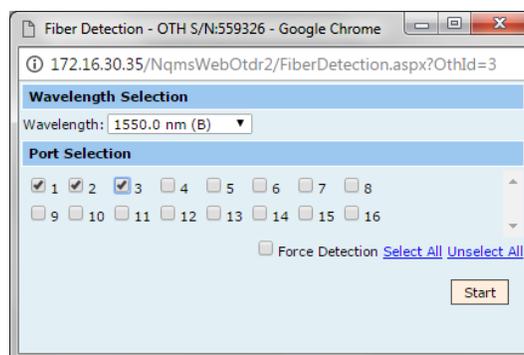


Figura 3.3. Detección de puertos.

El lapso de tiempo es muy corto para que la detección de los puertos se concluya, ya que lo que hace el RTU es realizar una primera prueba de OTDR, con el fin de detectar la longitud de la fibra conectada y al mismo tiempo examinar la calidad del estado de conexión. Es importante mencionar que para que un puerto sea detectado es necesario que la fibra conectada al mismo, tenga una longitud de por lo menos 50 m.

Al finalizar la detección de puertos, ambos puertos no pudieron ser detectados. Si un puerto no es detectado teniendo una fibra conectada, existen algunos posibles motivos; que la conexión en ese puerto no se haya realizado correctamente y que la fibra o el conector estén dañados, esto impide que el pulso de luz que está enviando la fuente del OTDR se transmita a través de la fibra óptica, por lo que el equipo no logra identificarla.

Se procedió entonces a revisar el estado de conexión en el OTH y en el distribuidor, e inspeccionar los conectores del cable óptico doble que va del OTH al distribuidor y del cable óptico doble que va del distribuidor al sitio del Instituto de Ingeniería con una punta de prueba.

No se encontró ningún inconveniente en ambos. Se reinició la detección, sin embargo, no se tuvo éxito. El equipo cuenta con una opción extra para forzar la detección de un puerto.

La primera prueba de OTDR que realiza el RTU para la detección cuenta con ciertos parámetros, para verificar la calidad en la conexión y en la fibra, al forzar la detección estos parámetros cambian, haciendo menos exigente la calidad. Fue así como ambos puertos lograron ser detectados, de lo contrario el umbral para la detección de fin de fibra tendría que ser modificado manualmente, ya que es el parámetro que más influye en este punto porque el primer evento que detecta el OTDR es la conexión al OTH y que al igual que el fin de fibra, es un evento reflexivo.

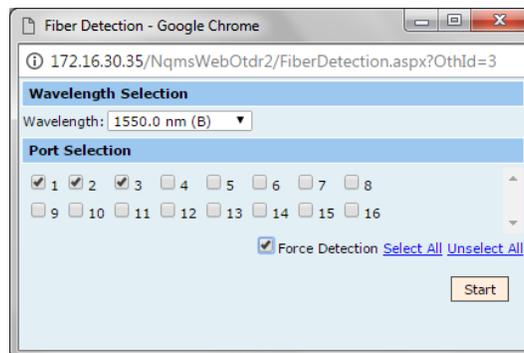


Figura 3.4. Detección forzada de puertos.

Al concluir la detección, automáticamente se generó lo siguiente:

1. Una ruta óptica para cada uno de los puertos que el RTU ha detectado, es decir por cada puerto al que está conectada una fibra, la interfaz del equipo nos muestra el estado en la Figura 3.5. y el tipo de fibra de cada una, clasificándola como “dark” o “live” dependiendo si se encuentra o no en uso para transmisión. Figuras 3.6 y 3.7.

Optical Routes			
Name	OTAU Port	ROTAU Port	Local Status
<input type="checkbox"/> OTH:1 P001	1		Active
<input type="checkbox"/> OTH:1 P002	2		Active
<input type="checkbox"/> OTH:1 P003	3		Active

Figura 3.5. Estado de cada ruta óptica.

2. Dos configuraciones de prueba predeterminadas para cada ruta en la longitud de onda seleccionada para la detección de los puertos; monitoreo y mantenimiento proactivo. Las configuraciones de prueba describen el método de análisis definiendo la longitud de onda, el ancho de pulso, ajustes, umbrales, datos de referencia, entre otras.

Tres de los parámetros más importantes en este punto son:

1. Índice de refracción (IOR). Este valor es proporcionado por el fabricante, en el inciso 2.1 se mencionó que la fibra instalada fué la estándar G.652.D, sin embargo, se desconoce este valor debido a que no se pudo obtener la información exacta de la fibra instalada. El equipo cuenta con valores estándar definidos para cada tipo de fibra, ya sea monomodo o multimodo y están predeterminados para cada longitud de onda. Tener el valor adecuado para las pruebas de OTDR que se realicen es de gran importancia ya que está asociado al cálculo de la longitud total de la fibra y el posicionamiento de eventos.
2. Coeficiente RBS. El coeficiente de esparcimiento de Rayleigh (RBS) representa la cantidad de esparcimiento en una fibra en particular. El coeficiente RBS se utiliza en el cálculo de la pérdida en eventos y la reflectancia. Al igual que el valor IOR, este puede obtenerse del fabricante del cable. Pero si este valor se desconoce, se pueden dejar el valor estándar proporcionado por el equipo.
3. Factor helicoidal. Este valor toma en consideración la diferencia entre la longitud del cable y la longitud de la fibra dentro del cable. Por ejemplo, para el tendido aéreo, las fibras dentro de un cable están girando en espiral alrededor del núcleo del cable, esto es para evitar daños en la fibra debido a la tensión. El factor helicoidal describe el tono de esa espiral que forman las fibras. Al configurar un valor para este factor, la longitud del eje de distancia del OTDR es siempre equivalente a la longitud física del cable y no de la fibra. En este caso, al desconocer exactamente el tipo de cable instalado, no se configuró ningún valor para este factor.

Tanto para el puerto 1 Figura 3.6, como para el puerto 2 del OTH Figura 3.7, estos tres valores se configuraron de la misma manera, al desconocer los valores dados por el fabricante de la fibra.

Name: OTH:1 P001
 Comments:
 OTDR: OTDR 1550/1625 nm (SM)
 OTAU port: 1
 ROTAU port:

Settings
 Test Ready:
 Type: Dark Live
 Average helix factor: 0 %

Physical Network Reference
 Physical Route ID:

External NMS Reference
 Field 1:
 Field 2:

Correction Factors

Wavelength	IOR	RBS
1550.0 nm	1.4683	-81.87
1625.0 nm	1.4687	-82.58

Figura 3.6. Puerto 1 del OTH. Configuración de los valores IOR, RBS y factor helicoidal.

Name: OTH:1 P002
 Comments:
 OTDR: OTDR 1550/1625 nm (SM)
 OTAU port: 2
 ROTAU port:

Settings
 Test Ready:
 Type: Dark Live
 Average helix factor: 0 %

Physical Network Reference
 Physical Route ID:

External NMS Reference
 Field 1:
 Field 2:

Correction Factors

Wavelength	IOR	RBS
1550.0 nm	1.4683	-81.87
1625.0 nm	1.4687	-82.58

Figura 3.7. Puerto 2 del OTH. Configuración de los valores IOR, RBS y factor helicoidal.

Una vez completada la detección de puertos y la creación automática de los dos programas de prueba para cada uno de los puertos detectados (rutas ópticas), el equipo manda de nuevo una prueba de OTDR la cual se establece como trazo de referencia, al finalizarse esta, comienza la ejecución de ambos programas para cada puerto.

Como el trazo de referencia se genera de forma automática, es necesario revisarlo detalladamente, así como también los parámetros de adquisición para la prueba de OTDR con los que se obtuvo. Debido a que no se puede interferir en esta primera adquisición que realiza el RTU, lo recomendable es modificar los parámetros configurados automáticamente, buscando que la traza de referencia sea lo más precisa posible, por ello se decidió cambiar algunos parámetros.

Parámetros de adquisición del trazo de referencia

- Longitud de onda. La longitud de onda se conservó a 1550 nm, al igual que en la detección de puertos.
- Resolución. El RTU posee dos posibles grados de resolución; Normal y Alta. Cabe mencionar que la segunda opción nos permite obtener mayor número de puntos (valores) por adquisición, es decir los datos estarán más próximos entre si dando como resultado una mayor resolución de distancia para la traza. De forma inicial se seleccionó el grado de resolución Normal para todas las pruebas.
- Alcance. Para lograr un buen panorama visual de cada trazo, se configuró un alcance de 120 km, ello debido a que el enlace tiene una longitud aproximada de 98 km.

- Ancho de pulso. El RTU cuenta con los siguientes anchos de pulso; 5 ns, 10ns, 30ns, 100ns, 275ns, 1 μ s, 2.5 μ s, 10 μ s, 20 μ s. Debido a que la longitud del enlace y a múltiples pruebas realizadas con diferentes anchos de pulso, se identificó que el pulso más adecuado para la adquisición es de 2.5 μ s.
- Duración de prueba. La duración de la prueba se definió con un tiempo de 15 segundos.

Estos parámetros fueron definidos para la adquisición de trazos para todas las pruebas que se estén ejecutando en cada puerto del OTH, y por lo tanto también a partir de ellos se adquirirá la traza de referencia.

3.2.2 Umbrales para la detección de eventos

Existen dos tipos de umbrales que deben de ser configurados en el RTU; de análisis y de detección de fallos. Debido a que estamos analizando dos hilos de fibra que pertenecen a la misma red, la configuración de estos umbrales será la misma para cada prueba que se esté ejecutando en cada uno de los dos puertos.

➤ **Umbrales de análisis**

Splice loss threshold (dB)

Umbral para detectar pequeños eventos no reflexivos, primordialmente pérdidas por empalme, el valor para este umbral se configuró de 0.02 dB, ya que los empalmes de esta red fueron realizados con una empalmadora de fusión por alineamiento de núcleo y con este tipo de equipos en la actualidad se logran empalmes que generan una pérdida muy baja, en la recomendación ITU-T G.671 (02/2012) se menciona que el valor que suele caracterizar a este tipo de empalmes es menor a 0.03 dB.

Reflectance threshold (dB)

Umbral para detectar eventos reflexivos, como conectores a lo largo del enlace, el valor para este umbral se fijó en -72 dB, ya que el valor aproximado de reflectancia que genera un conector nuevo con pulido UPC está por encima de los -65 dB.

End-of-Fiber threshold (dB)

Umbral para detectar pérdidas importantes, las cuales podrían afectar la transmisión de la señal significativamente, este umbral se fijó en 4 dB.

Extended mode (peak monitoring)

Esta función se activa para poder localizar eventos reflexivos en la parte más ruidosa del trazo obtenido a partir de la prueba de OTDR, el rango de supervisión se establecerá hasta ese punto y el nivel de pico reflexivo se utilizará como un indicador para la pérdida en el enlace desde ese punto hasta el final de la fibra, esta función no se activó para ninguna de las pruebas.

➤ **Umbrales de detección de fallos**

Section loss (dB)

Este umbral se refiere a la pérdida de potencia que se genera en una sección de fibra óptica que no es causada por algún tipo de evento, sino por la fibra misma.

Event reflectance degradation (dB)

Este umbral se refiere a la pérdida de potencia que se origina después de cualquier elemento que genere un evento reflexivo.

Event loss (dB)

Umbral para lograr detectar una pérdida de potencia generada por cualquier tipo de evento.

El RTU cuenta con cinco configuraciones predeterminadas; Breaks only, Coarse, Demo, Normal y Sensitive. Cada uno de estas tiene cierta configuración para cada uno de los umbrales de detección de fallos. También es posible generar una configuración personal, por si las ya existentes no cumplen con valores que satisfagan las necesidades de la red bajo prueba. La configuración seleccionada para el análisis en este trabajo fue “Normal” Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Configuraciones predeterminadas para los umbrales de detección de fallos.

Threshold sets	Section loss (dB)	Event reflectance degradation (dB)	Event loss (dB)	Injection level (dB)	Link total loss (dB)
Breaks only	4	4	4	4	4
Coarse	0.5	3	0.5	3	2
Demo	0.5	3	0.1	2	1
Normal	0.1	3	0.1	2	1
Sensitive	0.05	1	0.2	1	0.5

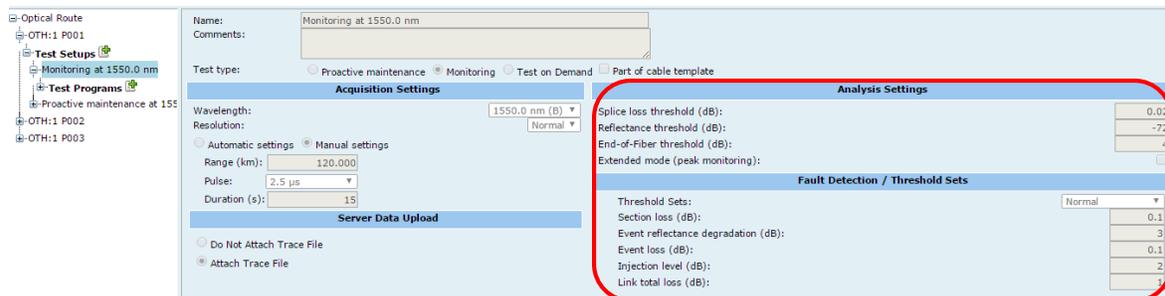


Figura 3.8. Puerto 1 del OTH. Configuración de umbrales para monitoreo.

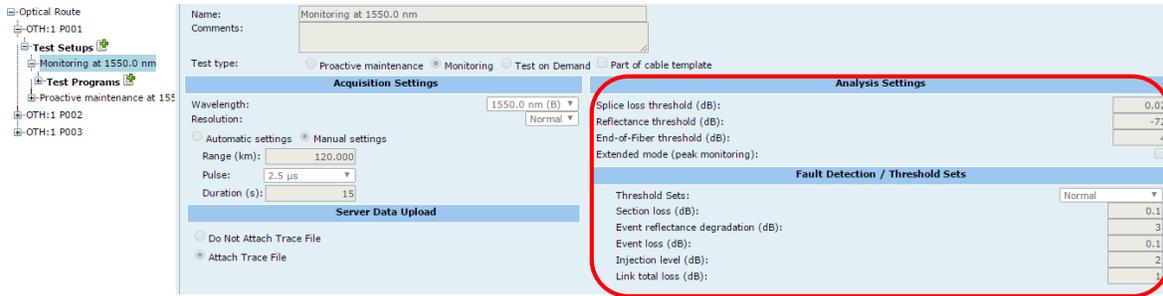


Figura 3.9. Puerto 1 del OTH. Configuración de umbrales para mantenimiento proactivo.

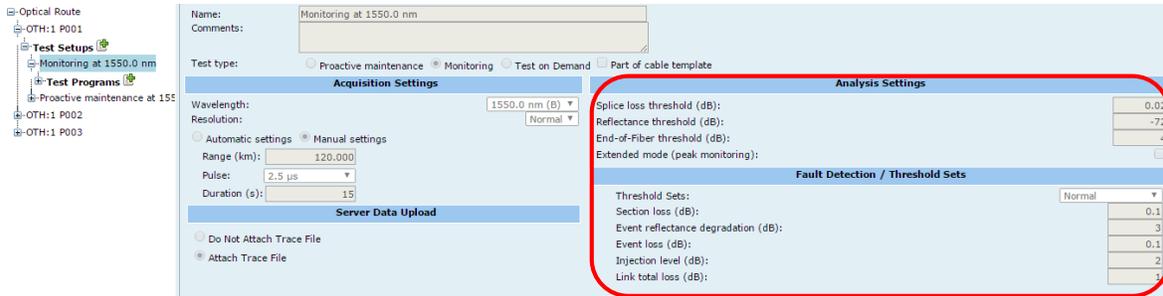


Figura 3.10. Puerto 2 del OTH. Configuración de umbrales para monitoreo.

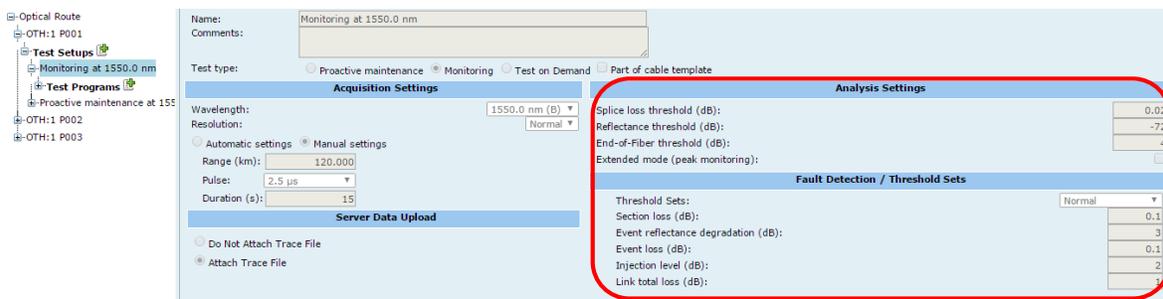


Figura 3.11. Puerto 2 del OTH. Configuración de umbrales para mantenimiento proactivo.

3.2.3 Programas de prueba

Para cada una de las pruebas que se esté ejecutando en cada uno de los puertos, es importante configurar la regularidad con que este va a ejecutarse.

Monitoreo

La prueba de monitoreo, consiste en la adquisición de trazos constante, sin embargo, puede modificarse dependiendo de las necesidades requeridas en el enlace. En este trabajo, tanto para el hilo 69 de fibra óptica (puerto 1) Figura 3.12, como para el hilo 72 (puerto 2) Figura 3.13, se configuró de la misma manera; que las pruebas de OTDR se realicen continuamente a lo largo de un día, este proceso repitiéndose todos los días.

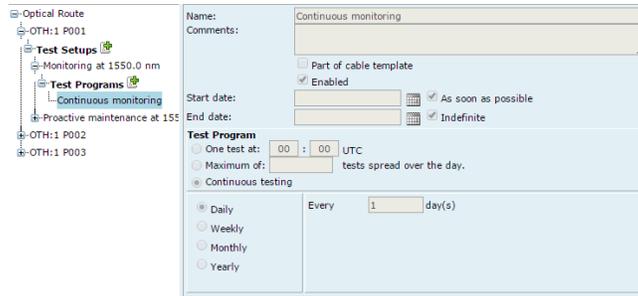


Figura 3.12. Puerto 1 del OTH. Configuración de prueba de monitoreo.

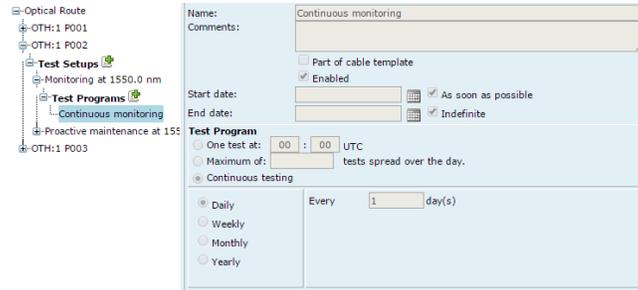


Figura 3.13. Puerto del 2 OTH. Configuración de prueba de monitoreo.

Mantenimiento proactivo

Debido a que el objetivo principal de esta es realizar adquisiciones de OTDR periódicamente, se configuro tanto para el puerto 1 (hilo 69) Figura 3.14, como para el puerto 2 (hilo 72) Figura 3.15, que esta se realice semanalmente a las 00:00 horas. Para el hilo 69 la prueba de mantenimiento proactivo se realizará los días lunes y para el hilo 72 los días martes.

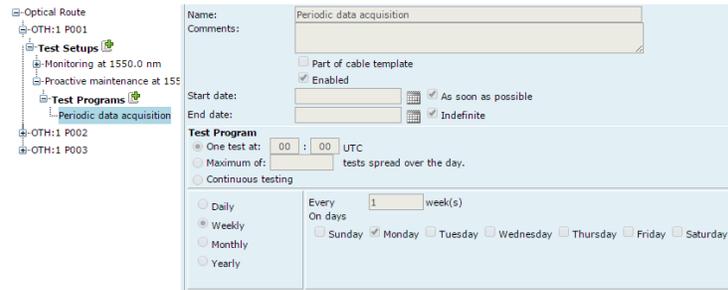


Figura 3.14. Puerto 1 del OTH. Configuración de prueba de mantenimiento proactivo.

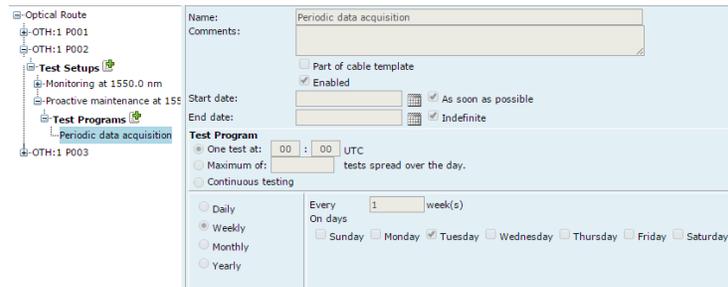


Figura 3.15. Puerto 2 del OTH. Configuración de prueba de mantenimiento proactivo.

3.2.4 Fase de aprendizaje

Anteriormente se explicó de manera detallada en que consiste la fase de aprendizaje del RTU. Para que esta se lleve a cabo es necesario realizar la configuración adecuada para cada una de las pruebas que este corriendo en cada puerto, pudiendo ser la misma en todas o diferente dependiendo de las características de cada una.

La fase de aprendizaje comienza después de la obtención del trazo de referencia y es de gran importancia porque a partir de esta se generan los trazos Minimum, Maximum y Average; trazos que se fijan como umbrales para la detección de fallas y tiene como objetivo principal el evitar “falsas alarmas”.

Existen dos maneras diferentes de configurar la fase de aprendizaje del RTU para cada prueba, puede ser un solo ciclo durante el cual el equipo realiza cierto número de adquisiciones o puede reiniciarse este ciclo cada determinado periodo de tiempo.

- Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Monitoreo

Se configuró un ciclo de aprendizaje, durante el cual se realizarán 12 trazos de adquisición, estos trazos se realizan uno tras otro, al finalizar el ciclo de aprendizaje, el equipo realizará una adquisición más cada 14 días para añadirla al ciclo de aprendizaje, este último paso se repetirá hasta completar un total de 54 trazos, lo que en tiempo se traduce en aproximadamente dos años. Figura 3.16.

Figura 3.16. Configuración de aprendizaje. Puerto 1 del OTH.

Mantenimiento proactivo

Esta prueba es principalmente para anticiparse a problemas futuros. Debido a que no se realiza constantemente como la de monitoreo, es decir, se realiza periódicamente, se configuró una fase de aprendizaje de un ciclo en el cual se realizarán 52 adquisiciones de trazos. Figura 3.17.

Figura 3.17. Configuración de aprendizaje. Puerto 1 del OTH.

- Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

Monitoreo

Se configuró un ciclo durante el cual se realizarán 12 trazos de adquisición, al finalizar el ciclo de aprendizaje, el equipo realizará una adquisición más cada 14 días para añadirla al ciclo de aprendizaje, este último paso se repetirá hasta completar un total de 54 trazos. Figura 3.18.

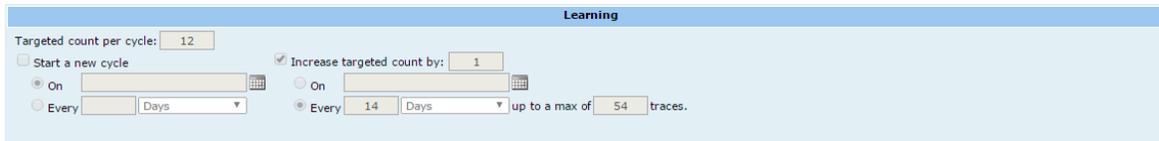


Figura 3.18. Configuración de aprendizaje. Puerto 2 del OTH.

Mantenimiento proactivo

De igual manera que para el hilo 69, se configuró una fase de aprendizaje para esta prueba de un ciclo en el cual se realizarán 52 adquisiciones de trazos. Figura 3.19.

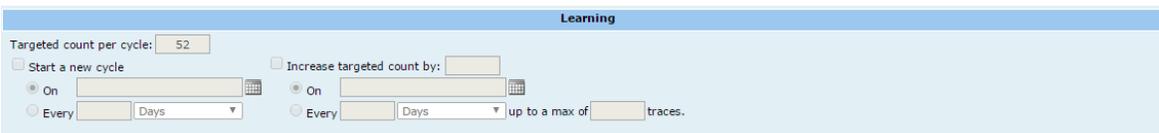


Figura 3.19. Configuración de aprendizaje. Puerto 2 del OTH.

En este caso, y debido a la duración del desarrollo de este trabajo, no se configuró ningún periodo para reiniciar el aprendizaje.

3.2.5 Configuración del sistema

Dentro de la configuración del sistema existen dos configuraciones principales:

➤ Break strategy

Esta configuración, se refiere a la forma de comportarse del equipo si durante alguna de las pruebas que este ejecutando detecta una ruptura en una fibra. Cuenta con dos opciones:

1. Continuar realizando pruebas en el puerto donde se detectó la ruptura de fibra.
2. Omitir el puerto, es decir, detener el análisis en ese puerto, el cual se reanudará manualmente cuando la falla haya sido corregida.

Para el desarrollo de este trabajo, se configuró el equipo con la opción uno, para las pruebas en ambos puertos. Uno de los motivos, es que solo se están monitoreando dos hilos, es importante mencionar que, para el monitoreo de una cantidad mayor, el tiempo es importante, por ejemplo, si se tuviera una utilización de 16 puertos donde cada prueba que se realiza de OTDR tiene una duración de 180 segundos, el omitir uno reducirá el tiempo en el que vuelva a realizarse una adquisición en cada puerto. Por otro lado, debido a que la notificación de alarmas se hará vía SMS, es mejor mantener las adquisiciones en el hilo dañado, cuando el usuario administrador reciba la notificación de falla, podrá acudir inmediatamente al sitio donde se localiza esta y repararla lo antes posible, cuando la reparación concluya el equipo mediante la adquisición detectará que la

falla ha sido corregida y lo notificara, de esta manera ya no será necesario reiniciar manualmente el trabajo del RTU para ese puerto.

➤ **Degraded fiber handling strategy**

Esta estrategia es para el manejo de fibra degradada, permite capturar condiciones inestables en la fibra, las cuales no se capturaron dentro del proceso de aprendizaje ya existente, se refiere a eventos como cambios rápidos en la reflectancia o esfuerzos mecánicos que pueden hacer que la pérdida cambie en lapsos de tiempo muy cortos. Si este tipo de eventos son detectados continuamente en una ruta óptica, el enlace es omitido, es decir, se suspenden las pruebas en esa ruta. La ventaja de esta estrategia es mejorar el rendimiento del equipo ya que elimina las falsas alarmas, por ello fue activa, y esta será solo aplicada a las pruebas de monitoreo de ambos puertos.

Parameter	Factory Setting	Current Default	
Break strategy	Skip	Continue	Edit
Degraded fiber handling strategy	Enabled	Enabled	Edit
Test setup definition strategy	Both	Both	Edit
Server data upload policy	Attach Trace File	Attach Trace File	Edit
External OTAU Type	None	None	Edit
Maximum log entries in database	50000	50000	Edit
Maximum result entries in database	5000	5000	Edit
Maximum fault entries in database	1000	1000	Edit
Maximum database size (Gb)	4	4	Edit

Figura 3.20. Configuración del sistema.

3.2.6 Configuración de alarmas

El RTU cuenta con 7 tipos de Alarmas ya definidas, aunque también es posible crear una alarma personalizada, la mayoría de ellas se envía mediante e-mail.

En este trabajo el medio que se seleccionó para recibir alarmas de fallas del equipo fue “Fiber Fault SMS”, por la facilidad de recibir este tipo de alerta y así poder atender de manera más rápida y efectiva cualquier falla en la red, que es uno de los principales objetivos del sistema de monitoreo.

El mensaje SMS se enviará para las siguientes alarmas:

- Fault. Detección de cualquier tipo de falla física que llegue a presentarse en la red
- Confirmation. Confirmación de falla. Si la falla no es atendida inmediatamente, este mensaje se estará enviando constantemente, es una señal de que la falla sigue estando presente en el enlace.
- Cleared. Cuando la falla ha sido atendida y corregida, se recibirá esta notificación.
- Life signal. Esta puede considerarse no como una alarma, ya que lo único que hace este mensaje es informar el estado del RTU, es decir, que se encuentre funcionando correctamente.

Cada mensaje SMS enviado por el sistema de monitoreo contendrá cuatro datos principales:

1. Tipo de alarma; Fault, Confirmation, Cleared y Life signal.
2. Tipo de falla: ruptura o degradación.
3. Puerto del OTH al que pertenece.

4. Longitud a la que se localiza.

En el inciso 1.3.2 se menciona acerca de los usuarios, el equipo tiene un usuario definido “nqmsplus” para el administrador del sistema de monitoreo, este puede generar el acceso a la interfaz para usuarios secundarios a partir del registro de estos dentro de la interfaz Figura 3.21, para este trabajo el dato principal a llenar en este registro es el número de teléfono móvil, ya que es a donde se enviará el mensaje SMS de alerta.

The screenshot shows a user registration form with the following fields and values:

- First Name: Andrea
- Middle Name: (empty)
- Last Name: Navarrete
- Login: an
- Password: (empty)
- Confirm password: (empty)
- Language: Español (Spanish)
- Time zone: GMT
- Units: Metric
- E-mail address: andrea.navarrete@almalaboratorios.com
- Mobile phone number: 55 5555 5555
- Trap Receiver Address: (empty)
- HTTP Post URL: (empty)
- User Rights: View Edit

Figura 3.21. Menú para dar de alta a un nuevo usuario.

Las alarmas pueden enviarse solo al usuario administrador o a varios usuarios. Al realizar la configuración de la alarma “Fiber Fault SMS”, debe realizarse esta selección, para que el sistema tenga definido a quien informará la detección de cualquier falla, Figura 3.22. En este caso solo enviarán mensajes de falla al usuario administrador, es importante resaltar que por lo general este tipo de alarma suele enviarse a varios usuarios, ya que en el mantenimiento de una red tiene más de un involucrado.

The screenshot shows the configuration for an alerting rule named "Fiber Fault SMS".

- Name:** Fiber Fault SMS
- Channel type:** SMS message
- Comments:** (empty text area)
- Is active:**
- Apply this rule to the following events:**
 - New fault
 - Updated fault
 - Confirmed fault
 - Cleared fault
 - Any system error
 - Any system warning
 - Life signal
- Destinations:**

	Name	Phone Number
<input checked="" type="checkbox"/>	Andrea Navarrete	55 5555 5555
<input type="checkbox"/>	DEMO	
<input type="checkbox"/>	ALMALABS	
<input type="checkbox"/>		
<input type="checkbox"/>		

Buttons: Edit, Delete

Figura 3.22. Configuración “Fiber Fault SMS”.

3.3 Puesta en marcha

Al realizar todas las configuraciones anteriores, es necesario renovar el trazo de referencia para sustituir el trazo inicial que se realiza de manera automática, debe renovarse de manera individual para cada una de las pruebas, posteriormente se iniciará de nuevo el proceso de aprendizaje y al finalizarse comenzarán a realizarse la prueba de monitoreo y la de mantenimiento proactivo para cada uno de los puertos.

Fecha de adquisición de trazas de referencia para prueba de monitoreo y mantenimiento proactivo para ambos puertos: 2017-02-28

2017-02-28	OTH:1 P002 Monitoring at 1550.0 nm	Reference	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded	Cycle: 0 Count: 0	
2017-02-28	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Reference	OTAU: 1	Duration: 15 s Status: Succeeded	Cycle: 0 Count: 0	Valid but distance is not fully covered. Pulse should be increased. 

Figura 3.23. Adquisición de trazas de referencia.

Al renovar es importante analizar el estado de cada ruta óptica, Figura 3.24. Así como también las trazas de referencia.

Remote Test Unit OTH S/N: S59326	Optical Routes			
Connected Optical Routes	Name	OTAU Port	ROTAU Port	Local Status
OTH:1 P001	OTH:1 P001	1		Active
OTH:1 P002	OTH:1 P002	2		Active
OTH:1 P003	OTH:1 P003	3		Active

Figura 3.24. Estado de cada ruta óptica después de renovar trazas de referencia.

- Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana). Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Monitoreo

Tabla 3.2. Puerto 1 OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Sitio	Núm. Evento en trazo de OTDR Figura 3.25	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6812
UAM	19	36.0167
CINVESTAV	27	67.6641
DGTIC	Último evento	97.3922

Longitud total del anillo: 91.711[Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.339 [dB/Km]

Pérdida total: 32.699 [dB]

ORL: 35.02 [dB]

Tabla 3.3. Puerto 1 OTH, monitoreo. Longitud de enlaces.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-UAM	30.3355
UAM- CINVESTAV	31.6474
CINVESTAV-DGTIC	29.7281

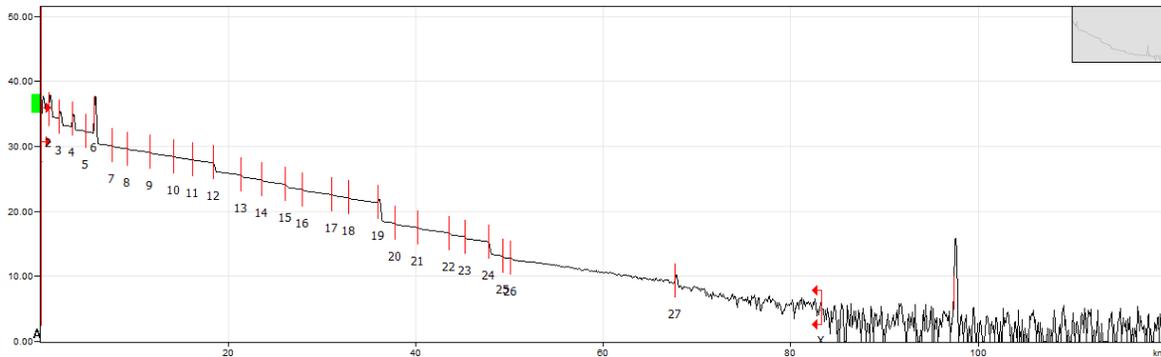


Figura 3.25. Trazo de referencia puerto 1 del OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Mantenimiento proactivo

Tabla 3.4. Puerto 1 OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC

Sitio	Núm. Evento trazo de OTDR Figura 3.26	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6761
UAM	19	36.0167
CINVESTAV	27	67.6539
DGTIC	Último evento	97.4075

Longitud total del anillo: 91.7314 [Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.337 [dB/Km]

Pérdida total: 32.789 [dB]

ORL: 35.03 [dB]

Tabla 3.5. Puerto 1 OTH, mantenimiento proactivo. Longitud de enlace.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-UAM	30.3406
UAM- CINVESTAV	31.6372
CINVESTAV-DGTIC	29.7536

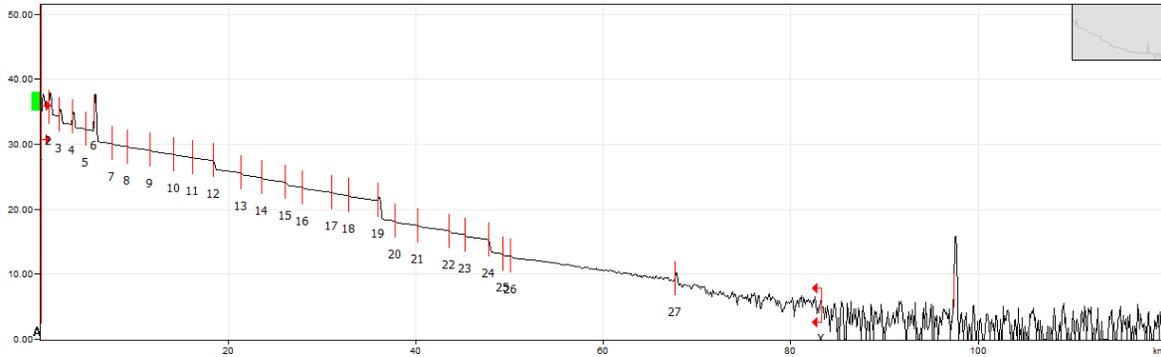


Figura 3.26. Trazo de referencia puerto 1 del OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC

- Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana). Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

Monitoreo

Tabla 3.6. Puerto 2 OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

Sitio	Núm. Evento en trazo de OTDR Figura 3.27	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6812
CINVESTAV	16	35.4604
UAM	28	67.0873
DGTIC	Último evento	97.3718

Longitud total del anillo: 91.6907 [Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.332 [dB/Km]

Pérdida total: 33.623 [dB]

ORL: 31.86 [dB]

Tabla 3.7. Puerto 2 OTH, mantenimiento proactivo. Longitud de enlaces.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-CINVESTAV	29.7792
CINVESTAV-UAM	31.6269
UAM-DGTIC	30.2845

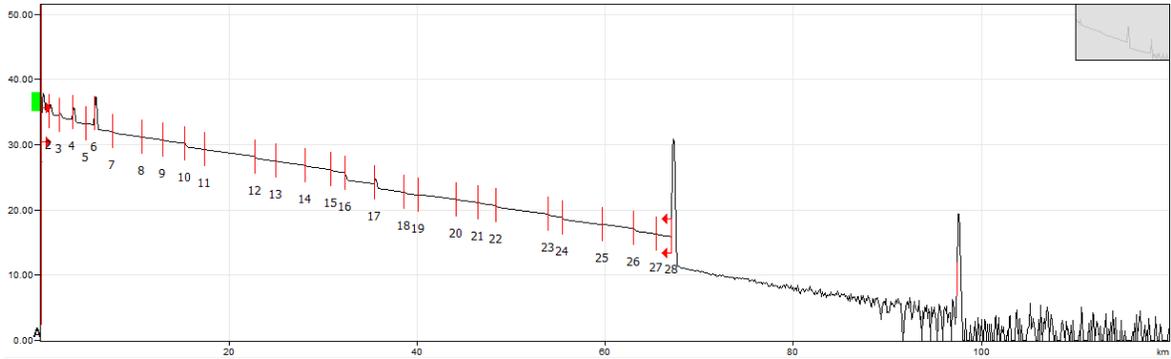


Figura 3.27. Trazo de referencia puerto 2 del OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

Mantenimiento proactivo

Tabla 3.8. Puerto 2 OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

Sitio	Núm. Evento en trazo de OTDR Figura 3.28	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6812
CINVESTAV	16	35.4604
UAM	27	67.0873
DGTIC	Último evento	97.3922

Longitud total del anillo: 91.711 [Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.331 [dB/Km]

Pérdida total: 33.623 [dB]

ORL: 32.16 [dB]

Tabla 3.9. Puerto 2 OTH, mantenimiento proactivo. Longitud de enlaces.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-CINVESTAV	29.7792
CINVESTAV-UAM	31.6269
UAMI-DGTIC	30.3049

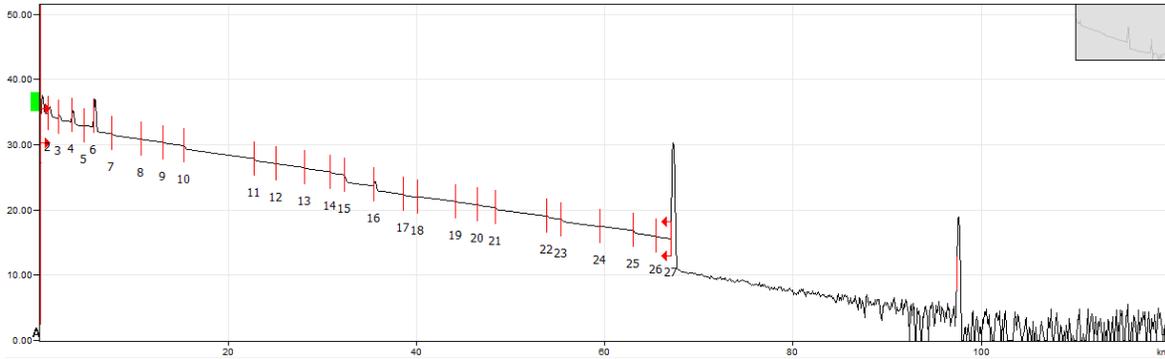


Figura 3.28. Trazo de referencia puerto 2 del OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC.

El RTU mostró un mensaje en el cual nos informaba que el trazo de referencia adquirido en el puerto 1 es válido, pero no cubre la distancia total del enlace debido a la gran pérdida de potencia presente en varios de sus eventos, por ello recomienda incrementar el ancho de pulso Figura 3.23. El ancho de pulso que prosigue al de 2.5 μm es el de 10 μm , al realizar una prueba con este último, la traza no percibe eventos excepto los ocasionados por eventos reflexivos. Por ello para obtener una traza más precisa se decidió realizar los siguientes cambios en los parámetros de las pruebas de monitoreo y mantenimiento proactivo del puerto 1:

- Longitud de onda: 1550 nm
- Resolución: Alta
- Rango: 120 km
- Ancho de pulso: 2.5 μs
- Duración de prueba: 180 s

- Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana). Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Monitoreo

Tabla 3.10. Puerto 1 OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC.

Sitio	Núm. Evento en trazo de OTDR Figura 3.29	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6761
UAMI	19	36.0091
CINVESTAV	27	67.6539
DGTIC	Último evento	97.3973

Longitud total del anillo: 91.711 [Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.338 [dB/Km]

Pérdida total: 32.719 [dB]

ORL: 35.03 [dB]

Tabla 3.11. Puerto 1 OTH, monitoreo. Longitud de enlaces.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-UAMI	30.333
UAMI- CINESTAV	31.6448
CINESTAV-DGTIC	29.7434

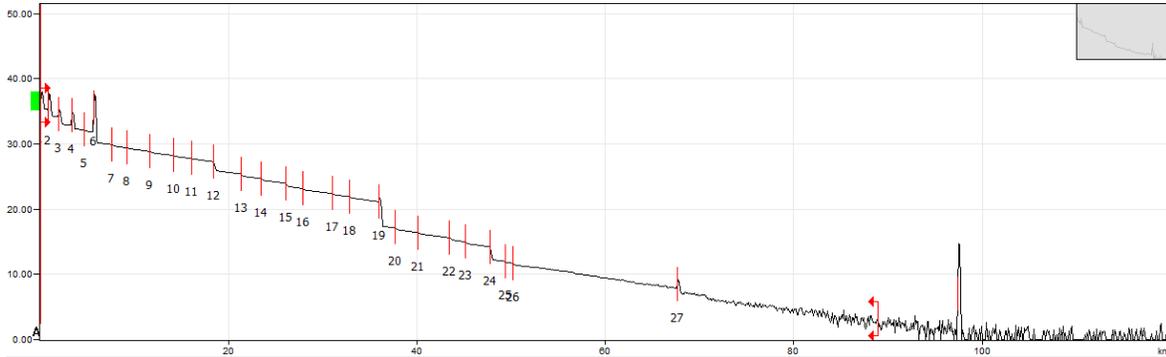


Figura 3.29. Trazo de referencia definitiva puerto 1 del OTH, monitoreo. Anillo DGTIC-UAM-CINESTAV-DGTIC

Mantenimiento proactivo

Tabla 3.12. Puerto 1 OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DGTIC-UAM-CINESTAV-DGTIC.

Sitio	Núm. Evento en trazo de OTDR Figura 3.30	Posición [Km]
DGTIC (UNAM)	6	5.6761
UAM	18	36.0116
CINESTAV	26	67.6539
DGTIC	Último evento	97.3871

Longitud total del anillo: 91.7314 [Km]

Coefficiente de atenuación de fibra óptica: 0.338 [dB/Km]

Pérdida total: 32.732 [dB]

ORL: 35.02 [dB]

Tabla 3.13. Puerto 1 OTH, mantenimiento proactivo. Longitud de enlace.

Enlace	Longitud [Km]
DGTIC-UAM	29.3345
UAMI- CINESTAV	31.6423
CINESTAV-DGTIC	29.7332

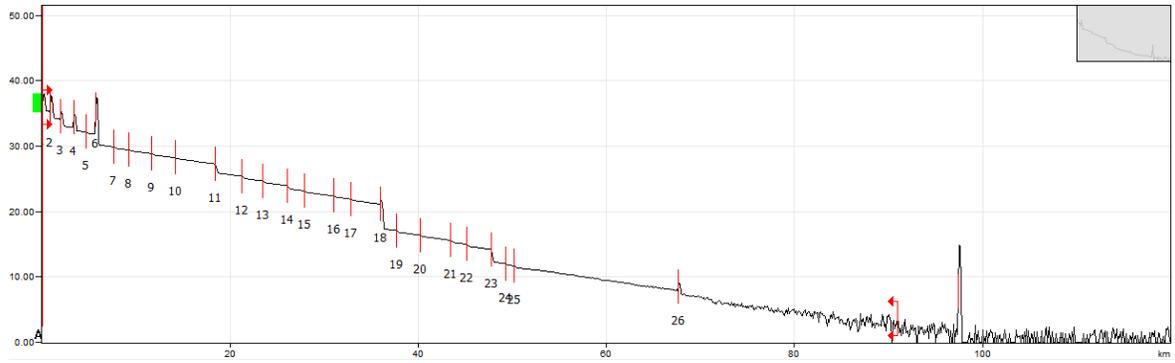


Figura 3.30. Trazo de referencia definitiva puerto 1 del OTH, mantenimiento proactivo. Anillo DG TIC-UAM-CINVESTAV-DG TIC

Capítulo 4

RESULTADOS DEL MONITOREO ÓPTICO

A continuación se muestran los resultados de las fallas obtenidas a partir de las pruebas de monitoreo, se realiza la comparación de los parámetros característicos de estas respecto a la referencia y a los resultados obtenidos de la fase de aprendizaje, mediante los trazos y las tablas de valores específicos, obtenidos por el módulo de OTDR de la unidad de prueba remota RTU. Se mostrará también los mensajes vía SMS recibidos mediante las alertas de falla detectadas.

Para el análisis correspondiente a cada falla se muestran seis tipos de tablas diferentes:

1. Tablas de valores para la adquisición de trazos. Contienen los valores configurados para la puesta en marcha del RTU, es decir, para la adquisición de trazos a partir del módulo de OTDR y los umbrales para la detección de eventos.
2. Tabla de propiedades del resultado de adquisición. Contienen algunos de los valores configurados para la adquisición de los trazos mediante el módulo de OTDR, con la finalidad de confirmar que la adquisición del trazo en el que se detectó alguna falla, se realizó con la misma configuración que el trazo de referencia, además de que nos da los parámetros reales obtenidos como; el alcancé en distancia que está teniendo el equipo, el estado del ciclo de aprendizaje desde la puesta en marcha hasta el día en que se detecta una falla, la resolución exacta y el tipo de prueba que se está corriendo.
3. Tabla de propiedades de la falla detectada. Contienen toda la información necesaria acerca de la falla detectada; tipo de falla, posición aproximada, hora y fecha de detección, umbral de detección de eventos que se está excediendo y degradación de potencia.
4. Tablas de comparación de parámetros de trazos current (falla), reference y los generados a partir de ciclo de aprendizaje (average, minimum y maximum). El RTU nos proporciona una tabla con los valores característicos de cada trazo antes mencionado, de la cual se tomaron únicamente los valores de la distancia a la que se detectó cada una de las fallas, esto para lograr comparar de manera más exacta y puntual.
5. Tablas de comparación de parámetros de trazos reference, current (falla), cambios presentados en las fallas y el trazo adquirido después de ser corregida. Este tipo de tabla tienen la finalidad de comparar de manera más exacta, puntual y sencilla, los valores característicos de la referencia, la falla, los cambios de la falla si es que llegaron a presentarse y el resultado final después de la corrección.
6. Tablas de tiempos; desde la detección de falla hasta su reparación. Es generada por el RTU, nos da información acerca del tipo de prueba que se está corriendo, la fecha y hora exacta del estado de la falla hasta que es reparada. Su función principal es poder analizar fácilmente el tiempo total de indisponibilidad de la red.

Los trazos de OTDR se presentan de la siguiente manera:

1. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y maximum cuando se detecta una falla. Es proporcionada directamente por el RTU para poder realizar un análisis visual de los resultados de monitoreo.

2. Comparación del trazo de referencia y el trazo de falla detectada. Análisis más detallado, el cual se realizó mediante un software especial para poder abrir los archivos .tcr del RTU, con la finalidad de visualizar de mejor manera la diferencia entre ambos.
3. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo cuando la falla ha sido corregida. Proporcionada por el RTU.
4. Comparación del trazo de referencia y el trazo de falla que ha sido corregida. Obtenida a partir del software para abrir los archivos .tcr del RTU.

Mensaje “life signal”

Este tipo de mensajes se recibe constantemente, 2 veces al día, cada 12 horas, solo con el fin de informar al usuario administrador que el equipo de monitoreo RTU, se encuentra funcionando de manera óptima.

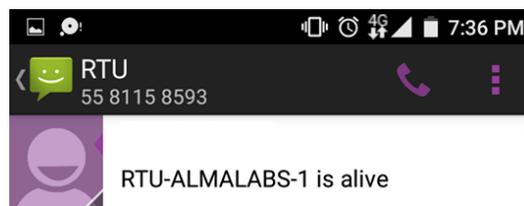


Figura 4.1. Mensaje SMS “life signal”.

4.1 Primera falla detectada

La primera falla detectada por el RTU ocurrió el día 17 de marzo del año en curso, a las 4:44:23 pm, en el puerto 2 del OTH, correspondiente al hilo 72 de la Red Delta Metropolitana (anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGETIC). Fue catalogada por el sistema como una degradación con un valor de 3.39160156 dB Tabla 4.3. De esta falla no se recibió ninguna alarma vía SMS, se detectó que había ocurrido debido al acceso periódico a la interfaz del sistema.

Al realizar la comparación del trazo con el que se identificó la falla con los trazos de referencia y los generados por la fase de aprendizaje (average, minimum, maximum) Figura 4.2, se detectó que no se trataba de una degradación que afectara la transmisión, es decir, no ocurría una pérdida de potencia diferente a la definida desde el inicio del monitoreo. De ahí que no se haya recibido ninguna alarma vía SMS, sino, fue una degradación del pico reflexivo ubicado a la distancia de 67.087 Km Tabla 4.3, distancia que respecto al anillo bajo monitoreo pertenece al sitio UAM.

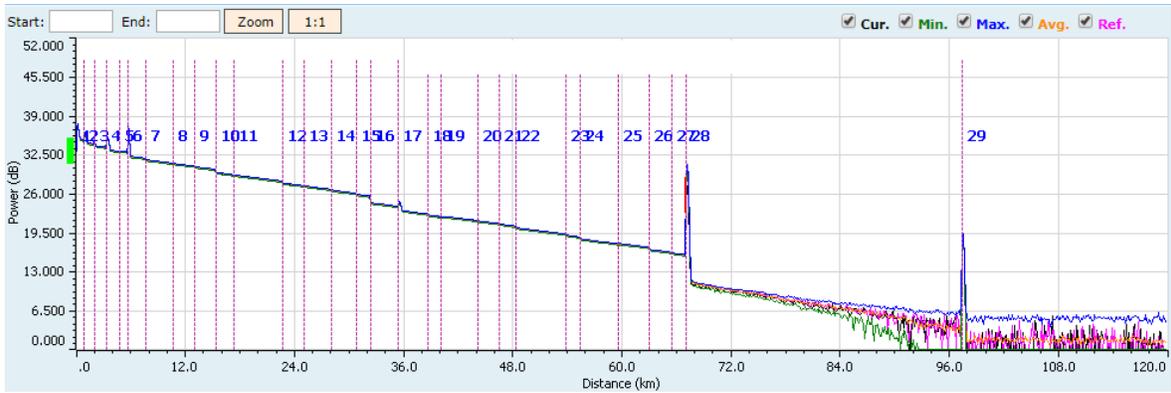


Figura 4.2. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.1 Valores para la adquisición de trazo.

Test Properties	
Property	Value
Wavelength (nm)	1550.0
Auto settings	No
Range (km)	120.0
Pulse (μ s)	2.5
Duration (s)	15
Resolution	Normal
Fiber code	B
Average helix factor (%)	0
IOR	1.4683
RBS (dB/ns)	-81.87
Splice loss threshold (dB)	0.02
Reflectance threshold (dB)	-72
End-of-Fiber threshold (dB)	4
Targeted learning count	13

Tabla 4.2 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	15
Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087
Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1
Reference learning count	13

Type	Monitoring
------	------------

Tabla 4.3 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Newly detected
Confirmations	1
Last confirmation time	17/03/2017 4:44:23 PM
Most probable position (km)	67.087
Minimum position (km)	66.832
Maximum position (km)	67.343
Degradation (dB)	3.39160156
Exceeded threshold name	Reflective peak
Exceeded threshold limit (dB)	3

Analizando la Tabla 4.4, observamos claramente que los únicos parámetros en los que difiere significativamente el trazo de OTDR de la falla, respecto al de referencia y a los trazos obtenidos de la fase de aprendizaje son el pico reflexivo y la reflectancia.

El valor de degradación de 3.39160156 dB, fue debido a la disminución del pico reflexivo, como se observa en la Figura 4.3, obteniendo también una disminución en la reflectancia de 6.39264613 dB respecto a la referencia.

Tabla 4.4 Comparación de parámetros de trazos current, reference y aprendizaje (Average, Minimum y Maximum).

	Average	Minimum	Maximum	Reference	Current (falla)
Event Number	28	28	28	28	28
Position (Km)	----	----	----	67.0873	67.087
Curve Level (dB)	15.85413735	15.66359049	15.89611949	15.88854673	15.70364879
Loss (dB)	0.10079574	0.09095795	0.10371474	0.09880889	0.09780899
TotalLoss (dB)	19.44559654	19.41358963	19.45718124	19.45086073	19.44834925
Reflective Peak (dB)	30.75168186	29.87695313	31.01074219	30.88574219	27.49414063
Reflectance (dB)	-18.11727769	-19.93652746	-17.59829711	-17.92141417	-24.31406030

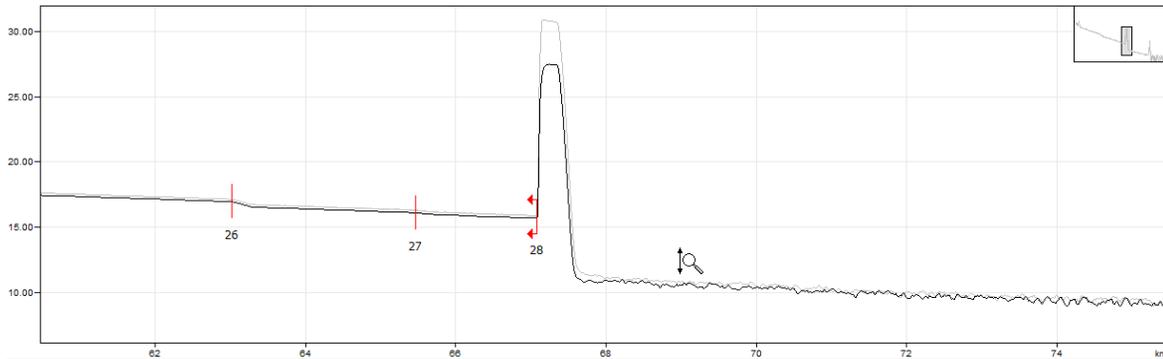


Figura 4.3. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo de la falla detectada (color negro).

Primer cambio en la falla detectada

Se detectó un primer cambio en esta falla a las 4:50:47 pm, en la cual el pico reflexivo disminuyó respecto a los valores detectados en la falla inicial, como se observa en la Figura 4.5.

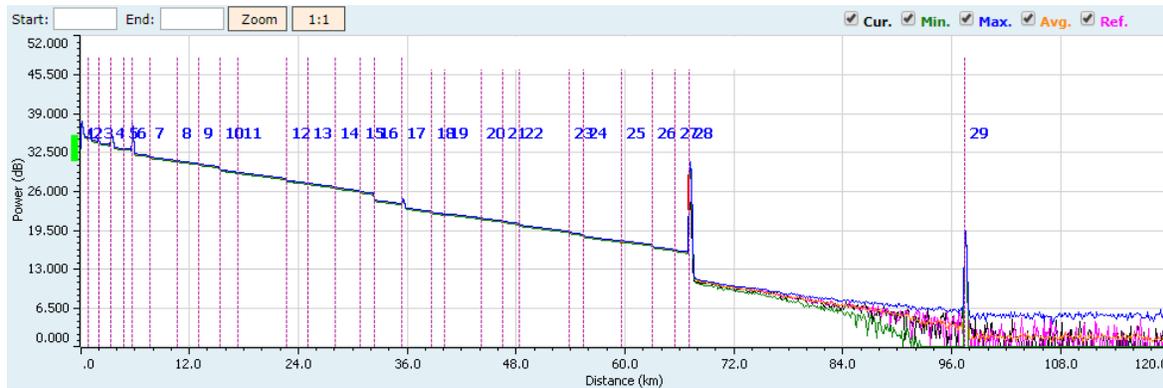


Figura 4.4. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTI). Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.5 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	15
Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087
Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1

Reference learning count	13
Type	Monitoring

Tabla 4.6 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Changed
Confirmations	1
Last confirmation time	17/03/2017 4:50:47 PM
Most probable position (km)	67.087
Minimum position (km)	66.832
Maximum position (km)	67.343
Degradation (dB)	6.65429688
Exceeded threshold name	Reflective peak
Exceeded threshold limit (dB)	3

El RTU continuó catalogando a la falla como una degradación, pero en este caso con un valor de 6.65429688 dB Tabla 4.6 y una disminución de la reflectancia de 13.02914903 dB respecto a la traza de referencia Tabla 4.4.

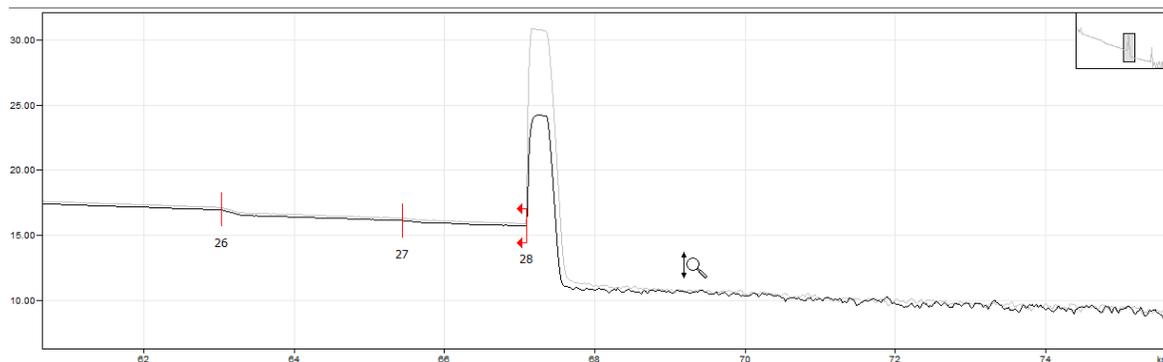


Figura 4.5. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica). Anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo del primer cambio en la falla detectada (color negro).

Segundo cambio en la falla detectada

Se detectó un segundo cambio a las 4:59:02 pm, en este el tamaño del pico reflexivo aumento respecto al primer cambio detectado, pero siguió siendo menor al de la referencia Figura 4.7. La degradación fue de 4.49609375 dB y la reflectancia disminuyó 8.62413219 dB respecto a la referencia Tabla 4.4.

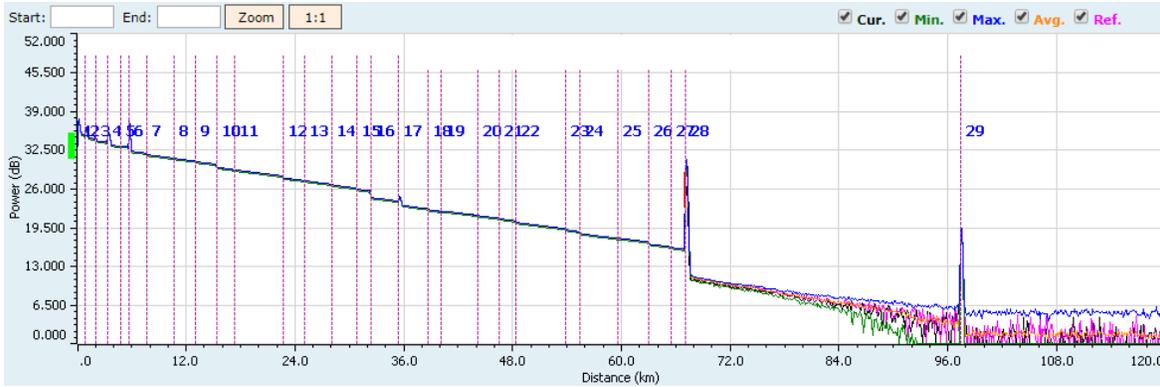


Figura 4.6. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.7 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	15
Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087
Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1
Reference learning count	13
Type	Monitoring

Tabla 4.8 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Changed
Confirmations	1
Last confirmation time	17/03/2017 4:59:02 PM
Most probable position (km)	67.087
Minimum position (km)	66.832
Maximum position (km)	67.343
Degradation (dB)	4.49609375
Exceeded threshold name	Reflective peak
Exceeded threshold limit (dB)	3

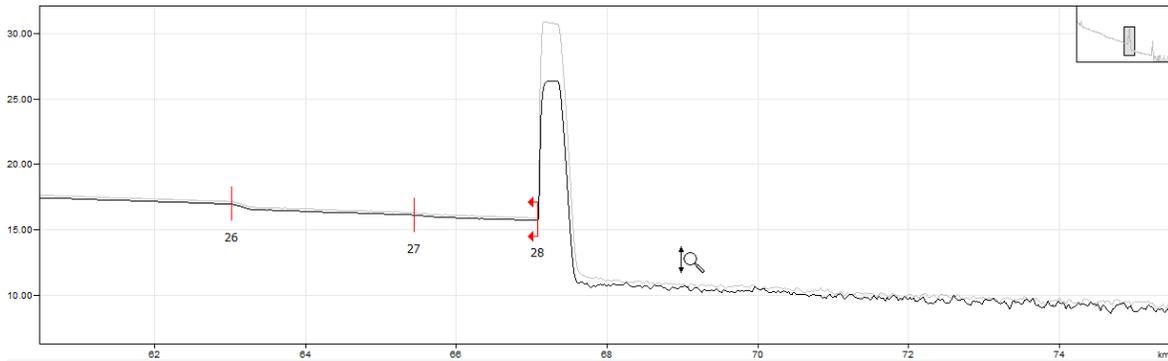


Figura 4.7. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo del segundo cambio en la falla detectada (color negro).

Reparación de la falla

El RTU detectó la reparación de esta falla a las 5:20:37 pm Tabla 4.10, aproximadamente 30 minutos después de ser detectada por primera vez Tabla 4.12, esto fue porque los parámetros de esta última prueba realizada en el puerto 2 del OTH durante el monitoreo, resultaron en valores muy cercanos a los de la referencia. Como parámetros finales se tuvo un pico reflexivo de 30.44140625 dB y una reflectancia de -18.24890336 dB Tabla 4.11, valores que están dentro de los umbrales establecidos durante la fase de aprendizaje, eliminándose con ello el estado de alarma en el que se encontraba el RTU.

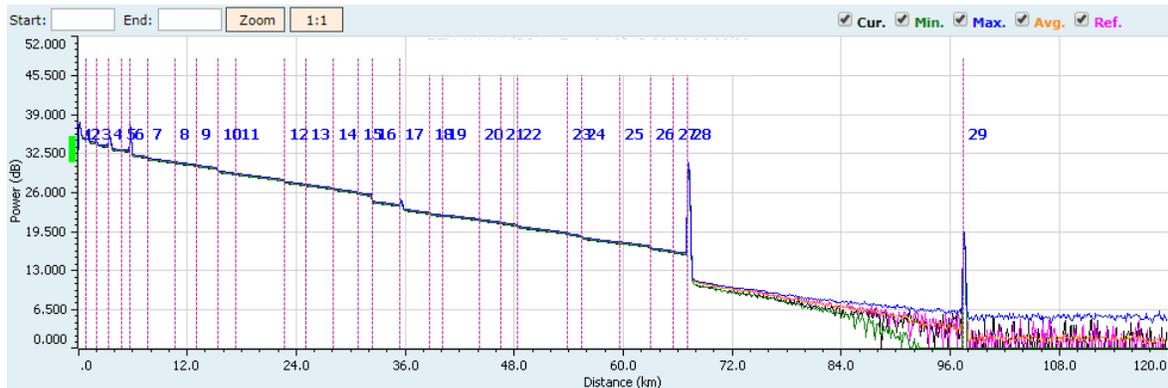


Figura 4.8. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGTIC. Comparación de trazos current (falla corregida), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.9 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	15

Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087
Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1
Reference learning count	13
Type	Monitoring

Tabla 4.10 Propiedades de la falla detectada que fue reparada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Cleared
Confirmations	1
Last confirmation time	17/03/2017 5:20:37 PM
Most probable position (km)	67.087
Minimum position (km)	66.832
Maximum position (km)	67.343
Degradation (dB)	4.49609375
Exceeded threshold name	Reflective peak
Exceeded threshold limit (dB)	3

En la Figura 4.9 se observa, que el trazo de OTDR obtenido cuando el RTU detectó la corrección de la falla, no difiere de manera importante respecto al trazo de referencia, pero con precisión a partir de la Tabla 4.11, sabemos que el pico reflexivo quedó 0.44433589 dB menor y la reflectancia disminuyó 0.32748919 dB ambos respecto a la referencia. Debido a estas pequeñas diferencias en los parámetros fue necesario renovar la traza de referencia para este puerto.

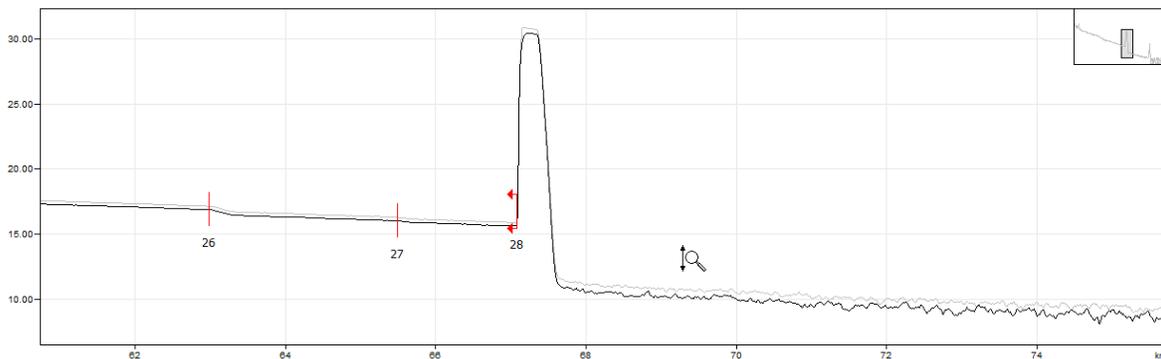


Figura 4.9. Puerto 2 del OTH (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo adquirido al corregir la falla (color negro).

Tabla 4.11 Comparación de parámetros de trazos reference, current (falla), cambios presentados en las fallas y el trazo adquirido después de ser corregida la falla.

	Reference	Current (falla)	Changed 1	Changed 2	Reparación
Event Number	28	28	28	28	----
Position (Km)	67.0873	67.087	67.087	67.087	67.087
Curve Level (dB)	15.88854673	15.70364879	15.72400072	15.70800943	15.62259852
Loss (dB)	0.098808891	0.097808991	0.097604991	0.097608991	0.097808991
TotalLoss (dB)	19.45086073	19.44834925	19.42827732	19.44392021	19.44486901
Reflective Peak (dB)	30.88574219	27.49414063	24.23144531	26.38964844	30.44140625
Reflectance (dB)	-17.92141417	-24.3140603	-30.9505632	-26.54554636	-18.24890336

Tabla 4.12 Tabla de tiempos; desde la detección de falla hasta su reparación.

Date / Time	Optical Route / Test Setup	Type	Ports	Test Information	Learning	Fault Status
17/03/17 4:44:23 PM	OTH:1 P002 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded	1	New
17/03/17 4:50:47 PM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded	1	Changed
17/03/17 4:59:02 PM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded	1	Changed
17/03/17 5:20:37 PM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded	1	Cleared

No fue necesario recurrir al sitio donde se ubicó esta falla, se atribuye a un movimiento mecánico realizado en el panel de conexiones de este sitio, el jumper no fue desconectado pero posiblemente se estuvieron realizando movimientos que pudieron causar este cambio temporal en los parámetros, la cual en realidad no fue una falla ya que no se presentó ninguna pérdida de potencia, al contrario la disminución de la reflectancia definitivamente es favorable, solo que el RTU está diseñado precisamente para detectar cualquier tipo de cambio respecto a la referencia inicial y a los umbrales establecidos a partir del proceso de aprendizaje, por muy pequeño que este sea.

4.2 Segunda falla detectada

Falla detectada el día 3 de abril del presente año en el puerto 1 del OTH, correspondiente al hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana (anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC), catalogada por el RTU como rotura de fibra, se recibió la alarma inmediatamente a las 5:19 pm mediante un mensaje SMS Figura 4.10. Esto debido a que la degradación de 6.54772073 dB en el evento rebasaba el límite establecido para el umbral “End-of-Fiber threshold (dB)” que fue de 4 dB y a partir de este valor las pérdidas de potencia afectan drásticamente la transmisión en el enlace.

La rotura detectada tenía lugar a la distancia de 36.004 Km Tabla 4.15, punto perteneciente al sitio UAM, según nuestro enlace bajo monitoreo. Analizando el trazo de la Figura 4.11, se observa una caída drástica de la potencia en este punto, impidiendo que el resto del enlace siguiera analizándose, y un incremento al tamaño del pico reflexivo, por lo cual se puede deducir que efectivamente es una rotura de fibra.

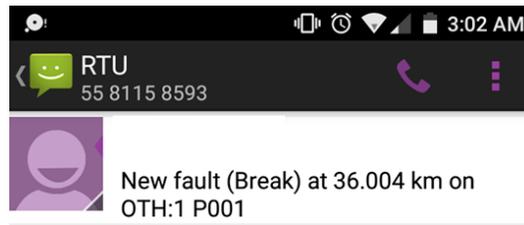


Figura 4.10. Notificación vía SMS de la segunda falla detectada.

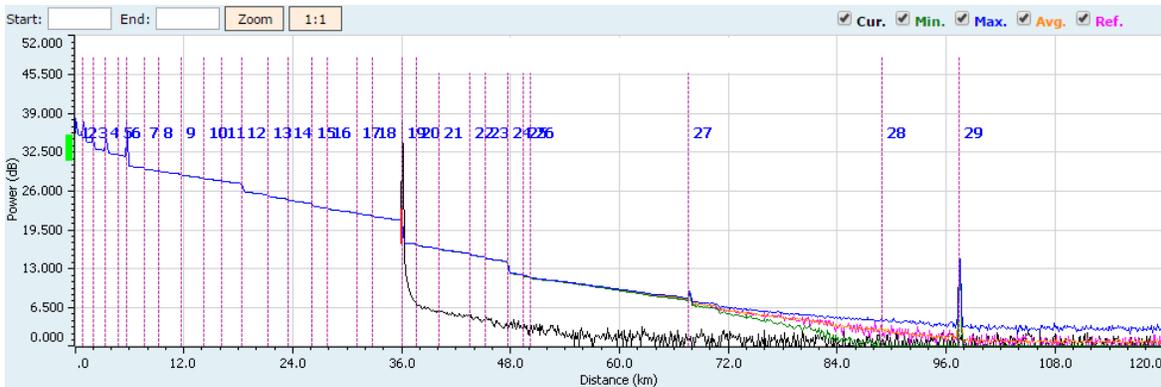


Figura 4.11. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.13 Valores para la adquisición de trazo.

Test Properties	
Property	Value
Wavelength (nm)	1550.0
Auto settings	No
Range (km)	120.0
Pulse (μs)	2.5

Duration (s)	180
Resolution	High
Fiber code	B
Average helix factor (%)	0
IOR	1.4683
RBS (dB/ns)	-81.87
Splice loss threshold (dB)	0.02
Reflectance threshold (dB)	-72
End-of-Fiber threshold (dB)	4
Targeted learning count	14

Tabla 4.14 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	180
Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.576
Minimum injection (dB)	33.576
Maximum injection (dB)	38.076
Reference learning cycle	1
Reference learning count	14
Type	Monitoring

Tabla 4.15 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Break
Status	Newly detected
Confirmations	1
Last confirmation time	03/04/17 5:19:23 PM
Most probable position (km)	36.004
Minimum position (km)	35.754
Maximum position (km)	36.599
Degradation (dB)	6.54772073
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	4

En base a la Tabla 4.16 se puede asegurar que el trazo obtenido de la falla detectada varía en cuatro parámetros respecto a la referencia y a los umbrales fijados por la fase de aprendizaje. El pico reflexivo y la reflectancia aumentaron 15.800078125 dB y 36.94225289 dB respectivamente, comparado con la referencia. Se presentó una pérdida de potencia mayor a 10 dB.

Al comparar a mayor detalle el trazo de la falla detectada con el trazo de referencia Figura 4.12, se observa solo un pico reflexivo en ambos, en este sitio se realizaron dos conexiones físicas, para unir el panel UAM-DGTIC con el panel UAM-CINVESTAV y así poder cerrar el anillo, por ello deberían observarse dos picos reflexivos, lo cual no ocurre debido a que el ancho de pulso utilizado es grande con el fin de cubrir la longitud total del enlace, esto incrementa la zona muerta haciendo que se visualice como un solo evento reflexivo, por lo que es complicado deducir exactamente el origen de la falla.

Tabla 4.16 Comparación de parámetros de trazos current, reference y aprendizaje (Average, Minimum y Maximum).

	Average	Minimum	Maximum	Reference	Current (falla)
Event Number	19	19	19	19	21
Position (Km)	----	----	----	36.0091	36.0040
Curve Level (dB)	21.11098372	21.10860724	21.11282062	21.11246651	21.12323453
Loss (dB)	3.68827373	3.68297163	3.68989042	3.68860740	10.23632813
TotalLoss (dB)	18.11249685	18.10611829	18.11620539	18.11264779	27.75302256
Reflective Peak (dB)	21.83699544	21.83105469	21.84179688	21.83789063	37.63867188
Reflectance (dB)	-51.83726633	-51.86312062	-51.80922411	-51.84117016	-14.89891727

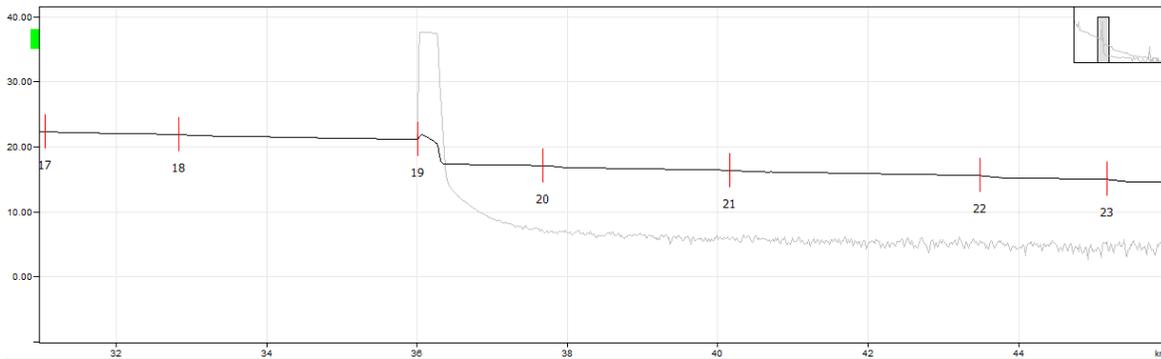


Figura 4.12. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo de la falla detectada (color negro).

Reparación de la falla detectada

La falla fue reparada a las 7:41:16 pm, dos horas después de su detección, recibiendo un mensaje vía SMS con la confirmación de ello Figura 4.13.

Se recurrió al sitio de UAM, para revisar exactamente en donde se localizaba la falla porque el equipo de monitoreo solo da una longitud aproximada a la que realmente se localiza, debido al amplio ancho de pulso. Al llegar al sitio y realizar las revisiones pertinentes en las conexiones de los paneles de distribución así como en los conectores, se encontró que uno de los conectores (panel UAM-DGTIC) del jumper utilizado para unir ambos paneles de distribución estaba dañado, en este punto se pensó que la pérdida de 3.68860740 dB que se tuvo desde un inicio en este punto del anillo se debía precisamente al conector de este jumper, sin embargo, al realizar el cambio del jumper, la traza adquirida cuando la falla fue reparada quedó con parámetros de

reflectancia y pérdida similares a los de la traza de referencia Figura 4.15, por lo que esa pérdida posiblemente se debía a los conectores de los paneles de distribución, lo cual no se indago por que no formaba parte del desarrollo de este trabajo.

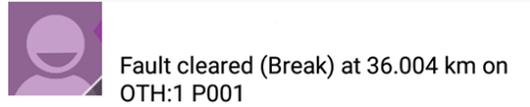


Figura 4.13 Notificación vía SMS de la reparación de la segunda falla detectada.

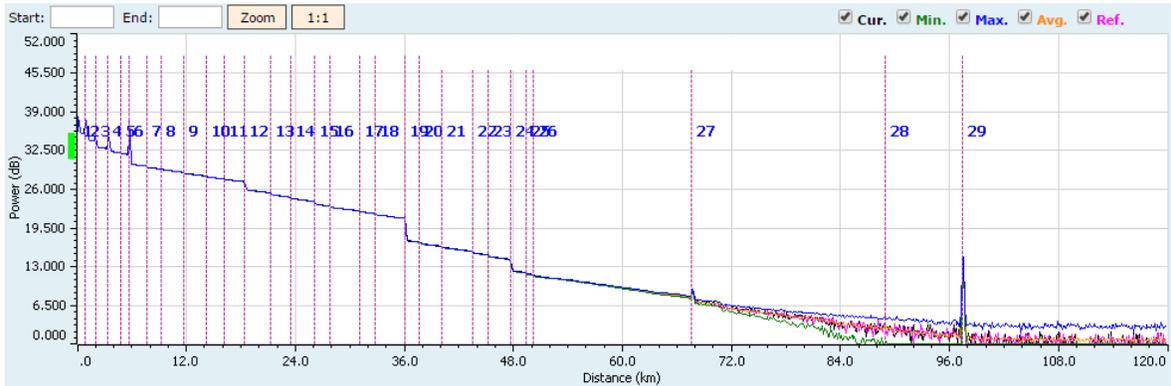


Figura 4.14. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC-UAMI-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla corregida), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.17 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (µs)	2.5
Actual duration (s)	180
Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.579
Minimum injection (dB)	33.579
Maximum injection (dB)	38.079
Reference learning cycle	1
Reference learning count	14
Type	Monitoring

Tabla 4.18 Propiedades de la falla detectada que fue reparada.

Fault Properties	
Property	Value

Type	Break
Status	Cleared
Confirmations	1
Last confirmation time	03/04/17 7:41:16 PM
Most probable position (km)	36.004
Minimum position (km)	35.754
Maximum position (km)	36.599
Degradation (dB)	6.54772073
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	4

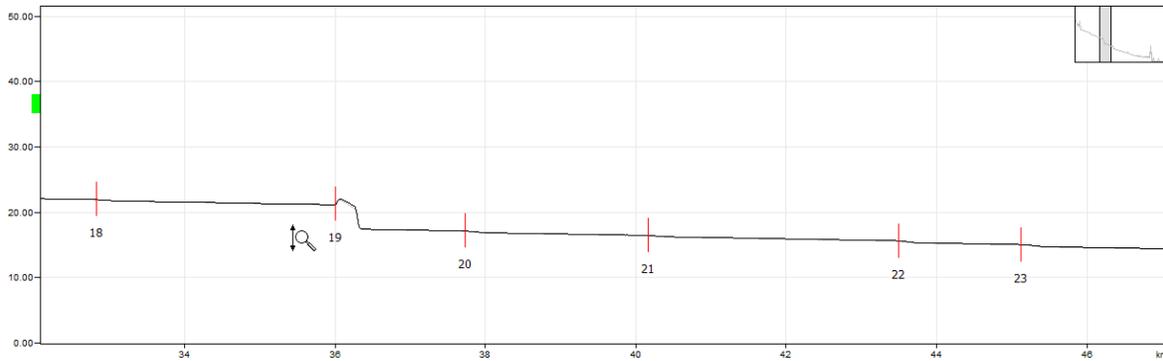


Figura 4.15. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC-UAMI-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo adquirido al corregir la falla (color negro).

Como se observa con mayor exactitud en la Tabla 4.19, los valores del trazo obtenido al corregir la falla no difieren significativamente a los de la traza de referencia, por lo que no fue necesario renovar la referencia para este puerto.

Tabla 4.19 Comparación de parámetros de trazos reference, current (falla) y el trazo adquirido después de ser corregida la falla.

	Reference	Current (falla)	Reparación
Event Number	19	21	----
Position (Km)	36.0091	36.0040	36.0040
Curve Level (dB)	21.11246651	21.12323453	21.13276844
Loss (dB)	3.6886074	10.23632813	3.684786491
TotalLoss (dB)	18.11264779	27.75302256	18.10900698
Reflective Peak (dB)	21.83789063	37.63867188	21.83125
Reflectance (dB)	-51.84117016	-14.89891727	-51.84526383

Tabla 4.20 Tabla de tiempos; desde la detección de falla hasta su reparación.

Date / Time	Optical Route / Test Setup	Type	Ports	Test Information	Learning	Fault Status
-------------	----------------------------	------	-------	------------------	----------	--------------

03/04/17 5:19:23 PM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	New
03/04/17 7:41:16 PM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 176 s Status: Succeeded	1	Cleared

El daño generado en el conector, posiblemente fue originado por un mal movimiento mecánico, como si el jumper hubiese sido jalado con fuerza, por ello es importante mencionar el tener cuidado en la manipulación de estos. En la actualidad existe un tipo de conectores llamados Lynx 2 [18], los cuales están basados en un método que emplea un empalme por fusión para unir el conector con la longitud de fibra necesaria, además refuerza esta unión empleando el kevlar del cable de fibra óptica (material empleado para el refuerzo del cable) por lo que los conectores se vuelven mucho más resistentes a movimientos mecánicos.

Cabe mencionar que durante el tiempo en que la falla aún no había sido reparada, cada que se realizaba una adquisición en el puerto con alarma, el RTU enviaba un mensaje Figura 4.16 de confirmación de falla, si es que no detectaba algún otro cambio.



Figura 4.16. Notificación vía SMS de la confirmación de la segunda falla detectada.

4.3 Tercera falla detectada

Falla detectada el día 29 de abril del presente año en el puerto 1 del OTH, correspondiente al hilo 69 de fibra óptica de la Red Delta Metropolitana (anillo DGTIC-UAM-CINVESTAV-DGTIC), catalogada por el RTU como una degradación con un valor de 1.40314994 dB, ubicada a una longitud de 67.654 Km Tabla 4.23, punto perteneciente al sitio CINVESTAV, se recibió mensaje de esta alarma vía SMS a las 4:25 am Figura 4.17.

Comparando la traza de la falla con el de referencia y las trazas generadas por la fase de aprendizaje, se observó un incremento notable en el pico reflexivo, así como también una degradación significativa, debido al tamaño del pico reflexivo, inicialmente la falla podría atribuirse a alguno de los conectores ubicados en el sitio en cuestión Figura 4.18.

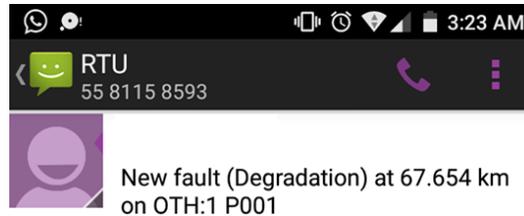


Figura 4.17 Notificación vía SMS de la tercera falla detectada.

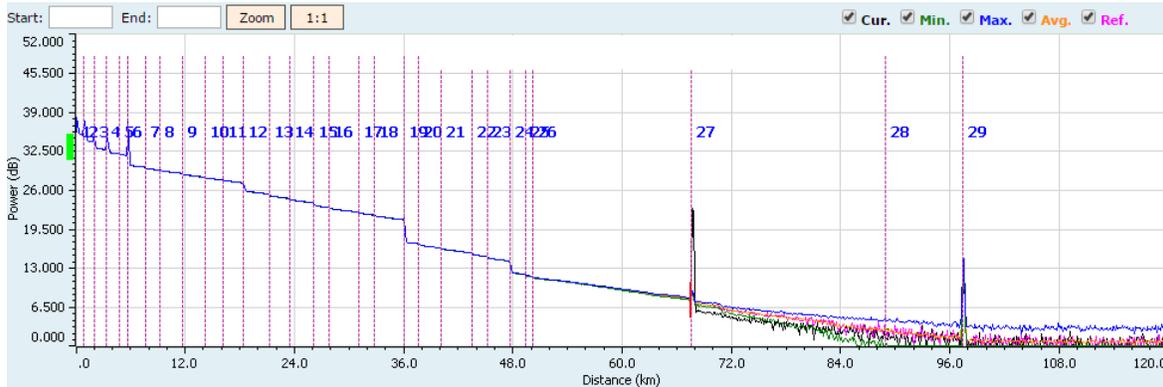


Figura 4.18. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.21 Valores para la adquisición de trazo.

Test Properties	
Property	Value
Wavelength (nm)	1550.0
Auto settings	No
Range (km)	120.0
Pulse (μ s)	2.5
Duration (s)	180
Resolution	High
Fiber code	B
Average helix factor (%)	0
IOR	1.4683
RBS (dB/ns)	-81.87
Splice loss threshold (dB)	0.02
Reflectance threshold (dB)	-72
End-of-Fiber threshold (dB)	4
Targeted learning count	16

Tabla 4.22 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	180

Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.577
Minimum injection (dB)	33.577
Maximum injection (dB)	38.077
Reference learning cycle	1
Reference learning count	16
Type	Monitoring

Tabla 4.23 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Newly detected
Confirmations	1
Last confirmation time	29/04/17 4:25:17 AM
Most probable position (km)	67.654
Minimum position (km)	67.399
Maximum position (km)	68.243
Degradation (dB)	1.40314994
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	0.979

Comparando con mayor precisión el trazo de la falla, con el de referencia y los trazos generados por la fase de aprendizaje Tabla 4.24, se observa claramente los parámetros en los que difieren.

El pico reflexivo y la reflectancia aumentaron 13.74804688 dB y 30.5149044 dB respectivamente, lo que produjo que hasta este punto la pérdida total del enlace incrementara respecto a la referencia.

Tabla 4.24 Comparación de parámetros de trazos current, reference y aprendizaje (Average, Minimum y Maximum).

	Average	Minimum	Maximum	Reference	Current (falla)
Event Number	27	27	27	27	27
Position (Km)	----	----	----	67.6539	67.654
Curve Level (dB)	7.918513661	7.887940306	7.950077648	7.885739084	8.016112614
Loss (dB)	0.449580615	0.395789025	0.554629421	0.44651493	1.84966487
TotalLoss (dB)	28.06627379	28.00327306	28.15055089	28.09728274	29.35586162
Reflective Peak (dB)	9.18343099	9.092773438	9.274414063	9.24023437	22.98828125
Reflectance (dB)	-48.86518099	-49.28300631	-48.43008	-48.49396941	-17.97906501

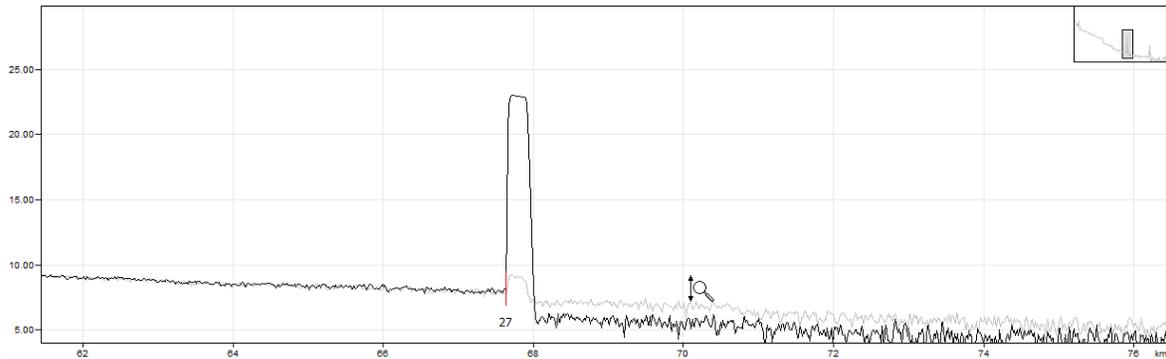


Figura 4.19. Puerto 1 del OTH (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo de la falla detectada (color negro).

Primer cambio en la falla detectada

Se detectó un primer cambio en la falla, el tamaño del pico reflexivo aumentó respecto a la falla inicial y se presentó una caída mayor de potencia, siendo estos cambios aún más notables respecto al trazo de la referencia Figura 4.22.

La degradación fue de 5.06591674 dB, el pico reflexivo aumento 15.21875001 dB y la reflectancia aumento 33.39879934 dB, lo que produjo que hasta este punto la pérdida total del enlace incrementara 5.06591674 dB respecto a la referencia Tabla 4.31. Debido a que el nivel de pérdida de potencia en este evento superó el valor de 4 dB del umbral "End-of-Fiber threshold (dB)" el RTU catálogo de nuevo a la falla pero ahora como una rotura localizada a una distancia de 67.639 Km Tabla 4.26, notificándolo de esta manera vía SMS a las 5:28 am Figura 4.20.



Figura 4.20. Notificación vía SMS del primer cambio en la tercera falla detectada.

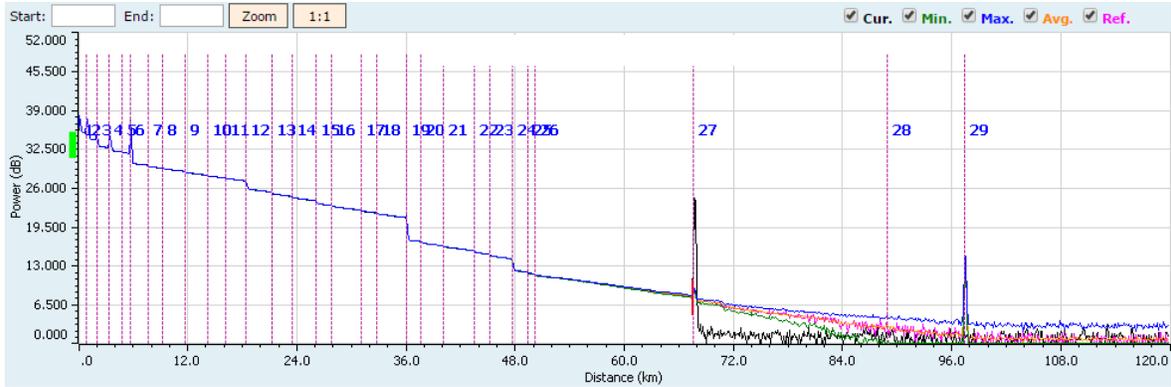


Figura 4.21. Puerto 1 (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.25 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (µs)	2.5
Actual duration (s)	180
Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.578
Minimum injection (dB)	33.578
Maximum injection (dB)	38.078
Reference learning cycle	1
Reference learning count	16
Type	Monitoring

Tabla 4.26 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Break
Status	Changed
Confirmations	1
Last confirmation time	29/04/17 5:28:56 AM
Most probable position (km)	67.639
Minimum position (km)	67.399
Maximum position (km)	68.243
Degradation (dB)	5.06591674
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	4

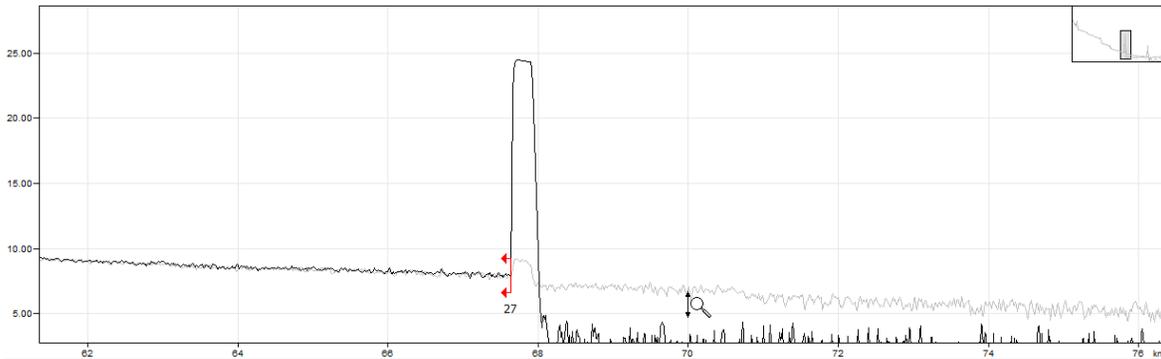


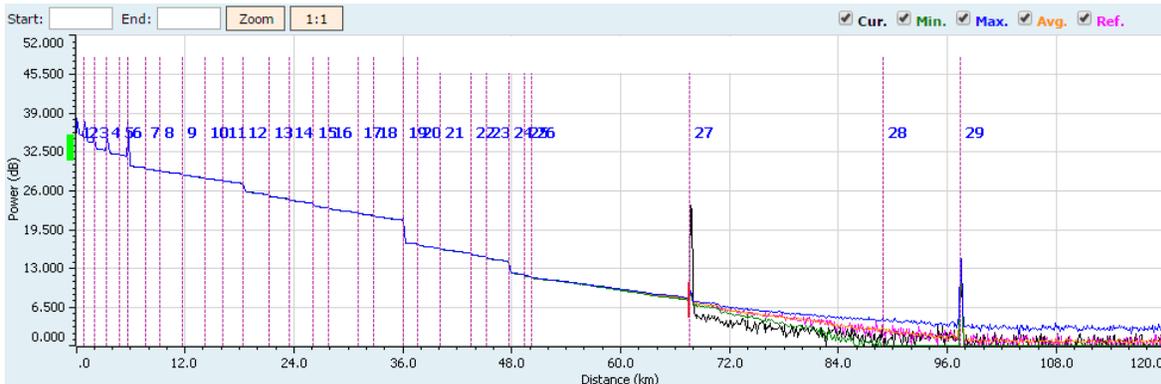
Figura 4.22. Puerto 1 (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo del primer cambio en la falla detectada (color negro).

Segundo cambio en la falla detectada

Se detectó un segundo cambio a las 6:43:37 am Tabla 4.28, el cual no fue notificado vía SMS, sin embargo todo resultado de falla durante el monitoreo es guardado en un historial al cual es sencillo acceder a través de la interfaz web del RTU Figura 4.23.

Observando la Figura 4.24, se puede ver de manera más detallada que la degradación de potencia es aún mayor que la presente en la referencia, pero este valor disminuyó respecto al primer cambio detectado en la falla Figura 4.22.

La degradación, la reflectancia y el pico reflexivo disminuyeron respecto al primer cambio detectado Tabla 4.31. La degradación fue de 2.154966 dB, el pico reflexivo y la reflectancia aumentaron 14.33691407 dB y 31.64870975 dB, lo que produjo que hasta este punto la pérdida total del enlace incrementara 1.99032084 dB respecto a la referencia Tabla 4.31, por lo que la falla fue catalogada de nuevo por el RTU como una degradación Tabla 4.28.



Trazo 4.23. Puerto 1 (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), referencia, average, minimum y máximo.

Tabla 4.27 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	180
Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.576
Minimum injection (dB)	33.576
Maximum injection (dB)	38.076
Reference learning cycle	1
Reference learning count	16
Type	Monitoring

Tabla 4.28. Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Changed
Confirmations	1
Last confirmation time	29/04/17 6:43:37 AM
Most probable position (km)	67.654
Minimum position (km)	67.399
Maximum position (km)	68.243
Degradation (dB)	2.154966
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	0.979

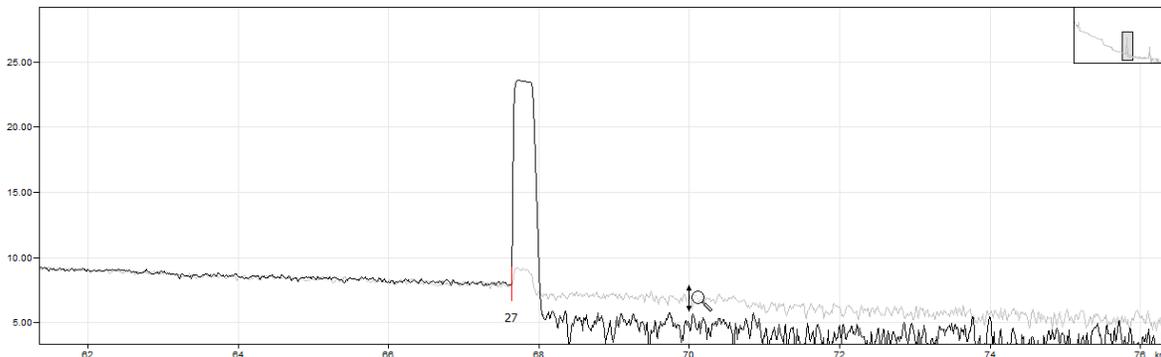


Figura 4.24. Puerto 1 (hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC -UAM-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo del segundo cambio en la falla detectada (color negro).

Reparación de la falla detectada

No se recibió notificación vía SMS, para confirmar que la falla había sido reparada.

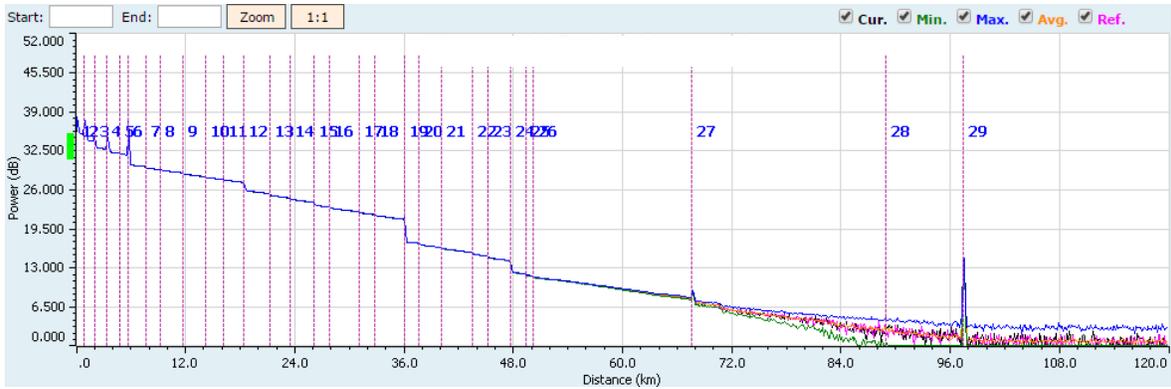


Figura 4.25. Puerto 1(hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC-UAMI-CINVESTAV-DGTIC. Comparación de trazos current (falla corregida), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.29 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (µs)	2.5
Actual duration (s)	180
Extended range (km)	97.752
RBS range (km)	88.985
Resolution (m)	2.5522071
Expected injection (dB)	37.576
Minimum injection (dB)	33.576
Maximum injection (dB)	38.076
Reference learning cycle	1
Reference learning count	16
Type	Monitoring

Tabla 4.30 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Degradation
Status	Cleared
Confirmations	1
Last confirmation time	29/04/17 7:27:16 AM
Most probable position (km)	67.654
Minimum position (km)	67.399
Maximum position (km)	68.243
Degradation (dB)	2.154966
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	0.979

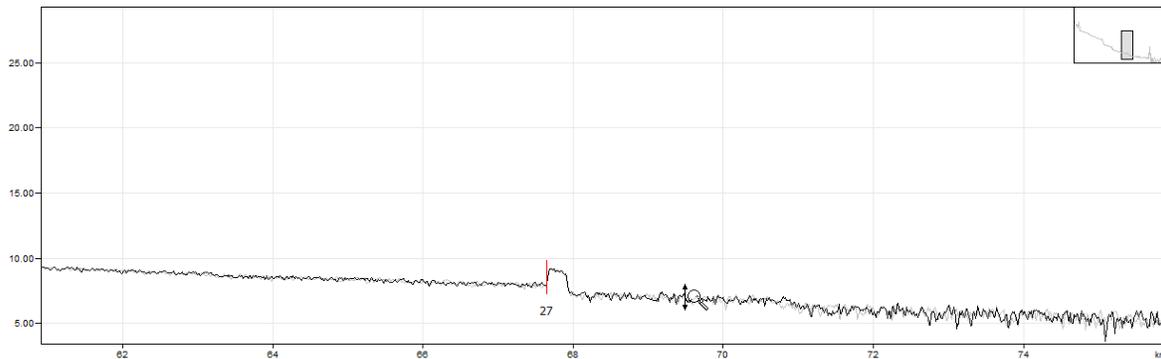


Figura 4.26. Puerto 1(hilo 69 de fibra óptica), anillo DGTIC-UAMI-CINVESTAV-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo adquirido al corregir la falla (color negro).

Tabla 4.31 Comparación de parámetros de trazos referencia, current (falla), cambios presentados en las fallas y el trazo adquirido después de ser corregida la falla.

	Reference	Current (falla)	Changed 1	Changed 2	Reparación
Event Number	27	27	27	27	----
Position (Km)	67.6539	67.654	67.639	67.654	67.654
Curve Level (dB)	7.88573908	8.01611261	8.04561276	8.03796667	7.89788474
Loss (dB)	0.44651493	1.84966487	5.51243167	2.60201153	0.41823265
TotalLoss (dB)	28.09728274	29.35586162	32.98964950	30.08760358	28.03978837
Reflective Peak (dB)	9.24023437	22.98828125	24.45898438	23.57714844	9.21777343
Reflectance (dB)	-48.49396941	-17.97906501	-15.09517007	-16.84525966	-48.67110494

Tabla 4.32 Tabla de tiempos; desde la detección de falla hasta su reparación.

Date/Time	Optical Route / Test Setup	Type	Ports	Test Information	Learning	Fault Status
29/04/17 4:25:17 AM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	New
29/04/17 5:28:56 AM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	Changed
29/04/17 6:39:56 AM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	Still there
29/04/17 6:43:37 AM	OTH:1 P001 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	Changed
29/04/17 7:27:16	OTH:1 P001 Monitoring	Monitoring	OTAU: 1	Duration: 175 s Status: Succeeded	1	Cleared

AM	at 1550.0 nm					
----	--------------	--	--	--	--	--

Se acudió al sitio de CINVESTAV para localizar y reparar la falla lo más pronto posible, se realizó la revisión necesaria en los cables y conectores ópticos de ese sitio, así como la limpieza de conectores. Con ello la falla quedó reparada a las 7:27:16 am Tabla 4.30, no se recibió notificación alguna de la reparación vía SMS, así que fue necesario que un especialista estuviera en el Instituto de Ingeniería verificando el estado del enlace a través de la interfaz mientras otro se encargaba de la reparación. Al concluir esta tarea se observó que el trazo de la reparación difería en valores no muy significativos (centésimas) respecto a la referencia, sin embargo al ser la segunda falla presente en el puerto uno, se decidió renovar el trazo de referencia.

Ahora bien, la falla puede ser atribuida al estado de los acopladores de los paneles, lo que permite que algún movimiento mecánico del cable óptico cambie de manera drástica el estado de la red.

La potencia enviada por la fuente del módulo de OTDR no era la necesaria para analizar completamente el enlace, a partir de la distancia a la que se localizaba la falla (aproximadamente de 67 km) ya no se detectaban eventos con pérdidas de potencia pequeñas. En realidad nunca existió una rotura de fibra como el RTU lo catalogó en el primer cambio detectado, si no que la gran pérdida de potencia en el enlace hasta ese punto y la configuración de umbrales de detección de eventos, ya no permitía que el RTU realizará las mediciones y comparaciones de manera correcta, esto definitivamente no podía solucionarse incrementando el ancho de pulso, se mencionó con anterioridad que el ancho de pulso para las adquisiciones se configuro con un valor de 2.5 μm , y que el valor que precedía a este era el de 10 μm , si este último hubiese sido el seleccionado en la configuración, la resolución disminuía significativamente, por lo que en un trazo solo se veían los eventos reflexivos y todos los eventos con pérdidas no muy significativas eran omitidos, si esto se hubiera hecho las degradaciones de potencia pequeñas definitivamente no serían detectadas, afectando la detección de fallas del sistema de monitoreo, siendo únicamente detectables eventos reflexivos como una rotura.

4.4 Cuarta falla detectada

Falla detectada el día 16 de Junio del año en curso, en el puerto 2 del OTH (anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC), catalogada por el RTU como una rotura de fibra óptica con una degradación de 13.57201246 dB, localizada a una longitud de 35.45 Km Tabla 4.35, lo que corresponde aproximadamente al sitio CINVESTAV según nuestro enlace. Se recibió notificación de la alarma vía SMS a las 11:47 am Figura 4.27.

A partir de la Figura 4.28, se puede deducir visualmente que efectivamente se trata de una rotura, debido al tamaño del pico reflexivo y la pérdida tan grande potencia que se tiene a partir de la longitud 35.45 Km del anillo en cuestión Figura 4.28.

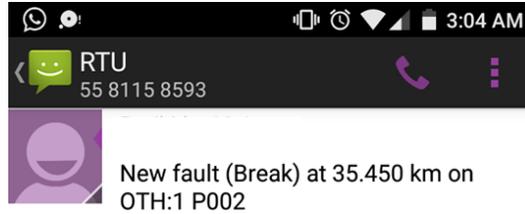


Figura 4.27 Notificación vía SMS de la cuarta falla detectada.

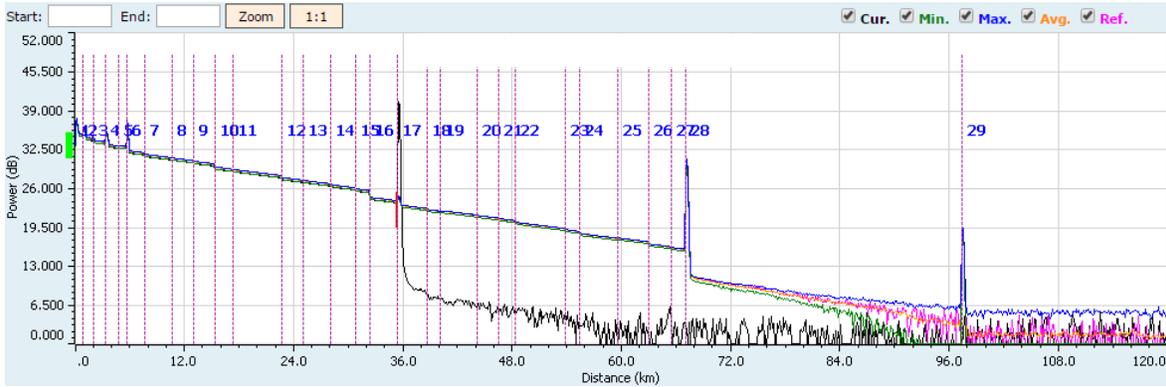


Figura 4.28. Puerto 2 (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación de trazos current (falla), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.33 Valores para la adquisición de trazo.

Test Properties	
Property	Value
Wavelength (nm)	1550.0
Auto settings	No
Range (km)	120.0
Pulse (μ s)	2.5
Duration (s)	15
Resolution	Normal
Fiber code	B
Average helix factor (%)	0
IOR	1.4683
RBS (dB/ns)	-81.87
Splice loss threshold (dB)	0.02
Reflectance threshold (dB)	-72
End-of-Fiber threshold (dB)	4
Targeted learning count	18

Tabla 4.34 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5

Actual duration (s)	15
Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087
Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1
Reference learning count	19
Type	Monitoring

Tabla 4.35 Propiedades de la falla detectada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Break
Status	Newly detected
Confirmations	1
Last confirmation time	16/06/17 11:47:16 AM
Most probable position (km)	35.45
Minimum position (km)	35.205
Maximum position (km)	36.124
Degradation (dB)	13.57201246
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	4

La falla detectada presentaba una degradación de 13. 57201246 dB, el pico reflexivo y la reflectancia incrementaron 15.70019532 dB y 37.12380261 dB respectivamente, respecto a la referencia Tabla 4.36.

Tabla 4.36 Comparación de parámetros de trazos current, reference y aprendizaje (Average, Minimum y Maximum).

	Average	Minimum	Maximum	Reference	Current (falla)
Event Number	17	17	17	17	17
Position (Km)	----	----	----	35.4604	35.45
Curve Level (dB)	23.93712726	23.66296307	24.00392736	23.99976532	23.64255653
Loss (dB)	0.644006535	0.635956909	0.648713705	0.64380785	14.21582031
TotalLoss (dB)	11.98125324	11.96288334	11.99258163	11.98344999	29.61370365
Reflective Peak (dB)	24.70239258	24.41894531	24.78613281	24.78222656	40.48242188
Reflectance (dB)	-51.47146615	-51.80759897	-51.35030761	-51.36417456	-14.24037195

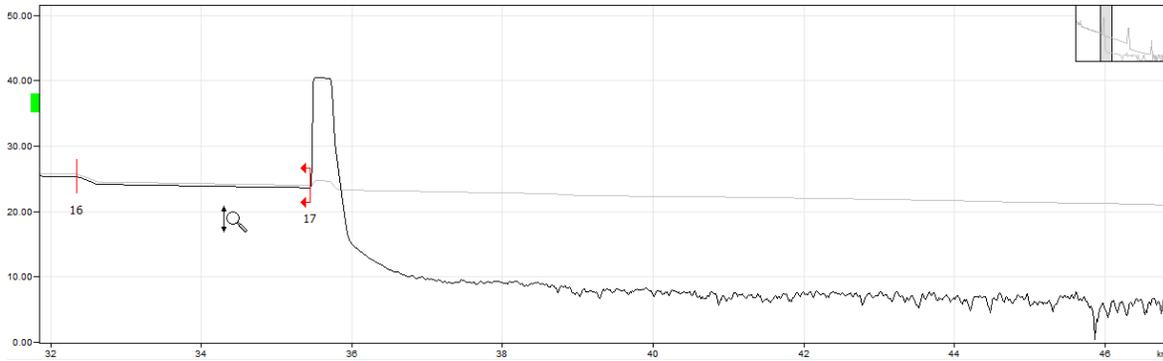


Figura 4.29. Puerto 2 (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAM-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo de la falla detectada (color negro).

Reparación de la falla detectada

La falla fue reparada a las 13:22:01 pm, hora y media después de su detección, lo que fue confirmado vía SMS Figura 4.30, y puede observarse claramente en la Figura 4.32.



Figura 4.30. Notificación vía SMS de la reparación de la segunda falla detectada.

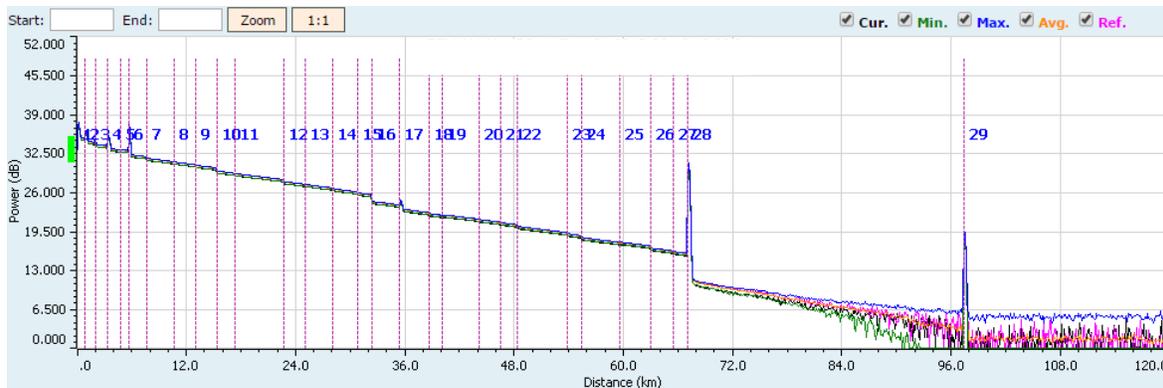


Figura 4.31. Puerto 2 (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGTIC. Comparación de trazos current (falla corregida), reference, average, minimum y máximo.

Tabla 4.37 Propiedades del resultado de adquisición.

Result Properties	
Property	Value
Actual range (km)	120.0
Actual pulse (μ s)	2.5
Actual duration (s)	15
Extended range (km)	67.72
RBS range (km)	67.087

Resolution (m)	5.1044143
Expected injection (dB)	37.586
Minimum injection (dB)	33.586
Maximum injection (dB)	38.086
Reference learning cycle	1
Reference learning count	19
Type	Monitoring

Tabla 4.38 Propiedades de la falla detectada que fue reparada.

Fault Properties	
Property	Value
Type	Break
Status	Cleared
Confirmations	1
Last confirmation time	16/06/17 13:22:01 PM
Most probable position (km)	35.45
Minimum position (km)	35.205
Maximum position (km)	36.124
Degradation (dB)	13.57201246
Exceeded threshold name	Event loss
Exceeded threshold limit (dB)	4

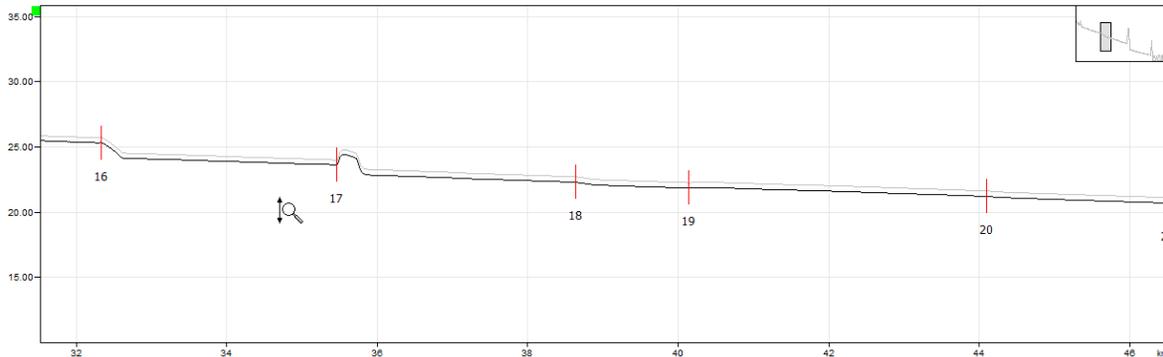


Figura 4.32. Puerto 2 (hilo 72 de fibra óptica), anillo DGTIC-CINVESTAV-UAMI-DGTIC. Comparación entre el trazo de referencia (color gris) y el trazo adquirido al corregir la falla (color negro).

Tabla 4.39 Comparación de parámetros de trazos reference, current (falla) y el trazo adquirido después de ser corregida la falla.

	Reference	Current (falla)	Reparación
Event Number	17	17	----
Position (Km)	35.4604	35.45	35.45
Curve Level (dB)	23.99976532	23.64255653	23.62082364
Loss (dB)	0.64380785	14.21582031	0.68556202
TotalLoss (dB)	11.98344999	29.61370365	12.00577166

Reflective Peak (dB)	24.78222656	40.48242188	24.42089844
Reflectance (dB)	-51.36417456	-14.24037195	-51.25339134

Tabla 4.40 Tabla de tiempos; desde la detección de falla hasta su reparación.

Date / Time	Optical Route / Test Setup	Type	Ports	Test Information	Learning	Fault Status
16/06/17 11:47:16 AM	OTH:1 P002 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded		New
16/06/17 13:22:01 PM	OTH:1 P002 Monitoring at 1550.0 nm	Monitoring	OTAU: 2	Duration: 15 s Status: Succeeded		Cleared

Se acudió al sitio de CINVESTAV para identificar donde se encontraba la rotura de la fibra bajo monitoreo, se revisaron conectores y cables ópticos, encontrando que el jumper utilizado para interconectar el panel CINVESTAV-UAM con el panel CINVESTAV-UNAM estaba doblado debido a que posiblemente fue presionado con la cubierta de metal, que cubre a uno de los organizadores de cable vertical del rack en donde se encuentran instalados los paneles, lo que ocasiono que la fibra se rompiera. Se procedió a cortar la parte dañada y repararla por medio de un empalme de fusión.

Al comparar los valores obtenidos del trazo al ser reparada la falla con los valores del trazo de referencia, se encontró que diferían de manera un poco más significativa Tabla 4.39, por lo que decidió renovarse la referencia.

Capítulo 5

CONCLUSIONES

5.1 Solución en tiempo de resolución de fallas

Sin el sistema de monitoreo, el tiempo para poder atender y reparar alguna falla en la Red Metropolitana Delta es muy lento, ya que primero se debe detectar el tipo de evento del que se trata (física, lógica u otra), se realizan varias mediciones en campo en diferentes puntos de la red para tratar de localizar la falla. Esto tarda el tiempo que la persona encargada se traslada a los diferentes sitios a medir, y también el tiempo en que realiza diferentes mediciones hasta que localiza el problema. Estamos hablando de que podría extenderse la detección y reparación por un período de tiempo mayor a un día e incluso hasta una semana. Durante todo este tiempo no se puede tener disponibilidad de servicios en la red y esto implica penalizaciones en caso de tener contratos firmados con clientes que definen niveles de servicios (SLA).

La implementación del sistema de monitoreo a nivel capa física utilizando OTDR remotos, definitivamente permite reducir el tiempo de indisponibilidad de una red de fibra óptica, ya que la falla es reportada de manera inmediata junto con su localización física para atenderla en el menor tiempo posible. Las fallas físicas que afectan seriamente la transmisión de datos pueden ser reparadas en lapsos de tiempo relativamente muy cortos, en el caso de este trabajo solo sería el tiempo en el cual el personal se traslada hasta el sitio. En esta ciudad es de máximo dos horas por la distancia y ubicación de la red.

Mi recomendación para tener un proceso adecuado de detección de fallas en una red de fibra óptica es la siguiente: realizar primero pruebas en el medio físico donde se presentan la mayoría de las fallas, esto de acuerdo a los operadores de comunicaciones, en caso de no estar la falla en la capa física seguir con pruebas en capas superiores conforme al modelo OSI.

5.2 Estado actual de la red Delta Metropolitana

Después de medir con el OTDR varios hilos de la red Delta Metropolitana se encontraron muchas pérdidas en conectores y empalmes mal realizados. La pérdida de potencia total en el enlace de 91.7 km es mayor al que normalmente se espera medir, debido a los empalmes mencionados anteriormente. Como consecuencia el OTDR seleccionado tuvo problemas de medición en la parte final del enlace. No fue posible analizar la longitud total a detalle por la falta de resolución, el monitoreo en ambos sentidos no detectaba los eventos presentes en los últimos 30 Km, sólo fue posible visualizar el último evento al cerrarse el anillo porque se trataba de un evento reflexivo. De lo anterior se concluye que, realizar monitoreo en ambos sentidos fue una decisión correcta, aun tratándose de fibras diferentes ya que el puerto uno nos permitía visualizar eventos que en el puerto 2 no se visualizaban y viceversa.

Otra solución para ver los últimos 30 km y mejorar la resolución, era cambiar el OTDR al sitio de DGTIC, con esto podríamos reducir el enlace, acortándolo 6 km, los cuales se encuentran dentro

de Ciudad Universitaria. Sin embargo, al ser instalado en el Instituto de Ingeniería se obtuvieron dos ventajas: un panorama general de cuál es el estado físico de la red de fibra óptica dentro de Ciudad Universitaria (enlace Instituto-DGTIC) y el Instituto de Ingeniería mantuvo el control por completo sobre el equipo de monitoreo, cosa que hubiera sido imposible al instalarse en DGTIC debido a los problemas de acceso en este sitio.

La mejor solución es realizar una reparación de los empalmes y conexiones, para obtener una menor pérdida total en el enlace y encontrarse en los valores recomendados, esto no sólo servirá para el monitoreo, sino además, el enlace estará preparado en caso de que se requiera utilizar para comunicaciones de alta capacidad.

El mal estado actual de la Red Delta Metropolitana pudo ser ocasionado por una mala instalación al momento de realizar los empalmes, normalmente si se ocupa una empalmadora que cuenta con alineamiento por núcleo se pueden obtener pérdidas máximas de 0.02 dB; al medir empalmes en la red Delta de casi 3 dB, donde se pierde hasta la mitad de la potencia de la señal, se deduce que la empalmadora de fibra utilizada no fue la adecuada. Por el período largo transcurrido desde la instalación de la red no es posible solicitar garantía al proveedor que realizó el trabajo, por lo tanto sólo se recomienda regresar a los sitios de empalme con una empalmadora de fusión con alineamiento por núcleo y volver a realizar los empalmes para habilitarlo en las mejores condiciones posibles. También se recomienda sustituir los conectores ópticos por conectores ópticos basados en empalme [18](Lynx2) y los acopladores mecánicos de los paneles de distribución por unos de mayor calidad.

Además de la detección de fallas inmediata, el sistema de monitoreo tiene otras ventajas, una de ellas es la detección de degradaciones que no comprometen la transmisión pero es probable que en un futuro puedan hacerlo y a partir de los resultados de ello se puede llevar a cabo un mantenimiento preventivo de la red. Esto es muy útil dado que las redes de fibra óptica se deterioran con el tiempo, en especial aquellas que han sido mal instaladas o en las que se emplearon fibra óptica, elementos (como conectores) y equipo de mala calidad. La detección de degradaciones nos permite visualizar el deterioro que sufre el enlace, siendo posible la corrección y así evitar fallas futuras.

Con base en lo anterior se puede crear una tendencia histórica sobre la degradación que ha sufrido la red de fibra óptica bajo monitoreo durante cierto periodo de tiempo. Los operadores proveedores de servicios pueden mejorar su negocio, logrando evaluar la calidad de fibra óptica dependiendo del fabricante y la calidad de instalación de sus contratistas, permitiéndoles tomar mejores decisiones en un futuro y mejorar drásticamente la calidad física de sus enlaces.

En este trabajo se configuró el programa de “mantenimiento proactivo” que es precisamente el encargado de construir el análisis de degradaciones antes mencionado, a partir de una tendencia histórica de la red. En el periodo de 4 meses que se estuvo monitoreando constantemente, no se obtuvieron resultados de degradaciones en la Red Delta Metropolitana, esto nos permite concluir que la instalación en cuanto al tendido de fibra fue buena y el cable de fibra óptica empleado tiene buena calidad.

5.3 Consideraciones y retos en la implementación de sistemas

El equipo empleado para el monitoreo debe considerarse sólo como una herramienta y no confiar en el ciegamente, el encargado del Centro de Control de la Red (NOC) siempre debe realizar un análisis de los resultados expresados por el sistema de monitoreo y los valores proporcionados para cada evento localizado en cada hilo de fibra óptica, ya que como lo comprobamos, el sistema no siempre cataloga de manera correcta las fallas detectadas, depende de cómo se tenga configurado; además de que el envío de alarmas vía SMS no siempre se realiza de manera adecuada por condiciones del sistema móvil que tengamos contratado, ya sea debido a una falla del sistema o a la mala recepción dentro del Instituto de Ingeniería que impide que los mensajes sean enviados.

Debido a que el RTU está instalado en un lugar fijo y que el ancho de pulso (configurado para las adquisiciones) fue grande para cubrir la longitud de nuestro enlace, es recomendable tener un equipo OTDR portátil, ya que el RTU nos da una ubicación aproximada de cada falla detectada. Por ejemplo, en este trabajo las fallas localizadas estaban dentro de los sitios, pero si estas no hubieran sido localizadas dentro, lo prudente sería realizar pruebas con un equipo portátil desde el sitio más cercano a la falla, en ambos sentidos y con un ancho de pulso menor para mayor precisión. De ahí la importancia de contar con un equipo portátil. Cabe mencionar que el departamento encargado del soporte de esta red en la UNAM cuenta con un equipo de prueba portátil OTDR de última milla.

Para la implementación del sistema de monitoreo, no es necesario que las fibras seleccionadas se ocupen exclusivamente para monitoreo, también se pueden utilizar fibras con tráfico real ocupando las longitudes de onda de 1625 nm o 1650 nm y realizar monitoreo activo para no interferir en la transmisión. En este trabajo se realizó el monitoreo en dos hilos, los cuales no se encontraban empleados para transmisión. El número de hilos de fibra óptica de una red que deben ser monitoreados dependen de diferentes factores, por ejemplo, si se tienen enlaces donde se presentan muchas fallas, estos pueden definirse como enlaces críticos por lo que deben ser monitoreados constantemente. En ocasiones no todos los hilos de fibra de una red se encuentran transmitiendo la misma capacidad, por lo que en este caso es recomendable monitorear aquel o aquellos que sean de mayor importancia al estar transmitiendo una mayor cantidad de tráfico o en donde se tengan contratos con niveles SLA. Como consecuencia, los hilos que tengan mayor prioridad para la empresa proveedora deben ser aquellos que estén bajo monitoreo constante y por ende, no todos los hilos deben ser monitoreados.

Para la implementación del equipo de monitoreo y su instalación, el principal problema que se presentó fue conseguir los permisos adecuados para poder acceder al sitio de cada una de las dependencias responsables donde fue necesario realizar conexiones físicas: DGTIC, UAM y CINVESTAV. Debido a que la red pertenece a tres Instituciones diferentes, resultó complicado conseguir el común acuerdo de estas para poder llevar a cabo el desarrollo de este trabajo. Las relaciones humanas afectaron de manera importante, al demorar el tiempo de instalación del equipo más de lo pensado, casi dos meses, lo cual pudo haber sido un periodo mucho más corto. También el tiempo de reparación de fallas pudo haber sido menor ya que incluso cuando fue indispensable realizar correcciones, la dificultad de acceso para llevarlas a cabo demoró el tiempo de indisponibilidad de la red.

Los clientes finales de los servicios proporcionados a través de redes de fibra óptica, se ven beneficiados definitivamente si en ellas se emplea un sistema de monitoreo. Esto se verá reflejado al tener altos índices de disponibilidad de los servicios contratados y si se presentara algún problema, el lapso de tiempo de suspensión sería mínimo, lo cual evitaría para grandes empresas cliente una gran pérdida monetaria por penalizaciones, beneficio que los proveedores de servicio también tendrían al cumplir lo mejor posible o por completo con los acuerdos SLA. Incluso las empresas proveedoras pueden ver una oportunidad de negocio con esta implementación, ya que a través de los resultados obtenidos con el sistema de monitoreo, sabrán exactamente a lo que pueden comprometerse con sus clientes respecto al tiempo que tardarán en atender una falla, teniendo con ello una mayor fiabilidad.

Con el desarrollo de esta tesis se logró llevar a cabo la implementación de un sistema de monitoreo sobre una red de fibra óptica “Red Delta Metropolitana”, mostrando las ventajas de esta implementación y los beneficios que genera. Además, al carecer de mantenimiento desde su instalación se logró obtener un panorama general del estado físico de la red, la cual no ha sido explotada de manera óptima y benéfica por las tres Instituciones a las que pertenece. El desarrollo de este trabajo puede servir como base para trabajos posteriores o proyectos que puedan realizar las instituciones involucradas, como por ejemplo, la implementación de algún tipo de servicio o intercomunicación que pretendan establecer entre ellas. Es recomendable que el personal encargado de la Red Delta Metropolitana, tenga un grupo de trabajo asignado para la capa física de la red debido a que es una parte fundamental para cualquier tipo de implementación que desee llevarse a cabo en un futuro. Mejorar su organización les permitiría tener un mejor control sobre la red y con ello poder explotarla a beneficio de todos.

Es importante mencionar el darle continuidad al desarrollo de este trabajo. Durante la década pasada la caracterización mediante OTDR era suficiente para verificar la correcta instalación y funcionamiento de una red de fibra óptica, en la actualidad con el incremento de la velocidad de transmisión en las redes de alta capacidad es de gran importancia realizar otro tipo de mediciones que nos permitan conocer y garantizar el funcionamiento de la red, además de conocer los efectos por no linealidades en la fibra óptica [11]. Por ello debe considerarse en un futuro no muy lejano, realizar la caracterización completa de los 72 hilos, es decir, realizar mediciones con OTDR en los 70 hilos restantes, y realizar mediciones de dispersión cromática CD y dispersión por modos de polarización PMD en los 72 hilos de la red. Además de que es importante, el que la red continúe bajo monitoreo.

Con el desarrollo de esta Tesis se logró obtener un gran conocimiento sobre el manejo de equipos de medición para redes de fibra óptica, mejorando con ello la capacidad de análisis de resultados. También se desarrolló la capacidad para la generación de reportes a partir de los resultados obtenidos, lo que será de gran ayuda para desarrollar este tipo de tareas en la Industria. Por último se logró incrementar la capacidad de comunicación, debido a que la instalación y desarrollo de este trabajo involucró a un gran número de personal de diferentes Instituciones, principalmente para conseguir los permisos y accesos pertinentes.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. M. Martínez, «Eveliux,» [En línea]. Available: <http://www.eveliux.com/mx/Medios-de-transmision.html>.
- [2] «Secretaría de Comunicaciones y Transportes,» [En línea]. Available: <http://www.sct.gob.mx/despliega-noticias/article/avanza-red-troncal-culmina-proceso-de-auditoria-para-la-cesion-de-la-concesion-de-cfe-a-telecom/>. [Último acceso: 2017].
- [3] «(LANCAD), Laboratorio Nacional de Cómputo de Alto Rendimiento,» [En línea]. Available: <http://www.lancad.mx/?p=71>. [Último acceso: 2017].
- [4] S. Pérez, *Práctica1: Preparación de fibras ópticas para una conexión..*
- [5] «Union Internacional de Telecomunicaciones,» 13 11 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-201611-l/es>. [Último acceso: 2017].
- [6] G. Keiser, *Optical fiber communications*, Singapore: McGraw-Hill, 1984.
- [7] J. M. Senior, *Optical Fiber Communications; principles and practice*, Edinburgh Gate: Pearson Education, 2009.
- [8] R. L. Freeman, *Fiber-optic systems for telecommunications*, United states of America: Wiley-Intercience, 2002.
- [9] «PROMAX. Tecnología, comunicaciones e innovación,» 26 06 2014. [En línea]. Available: <https://blogdepromax.wordpress.com/>. [Último acceso: 2017].
- [10] «Union Internacional de Telecomunicaciones,» 12 02 2012. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.671-201202-l/es>. [Último acceso: 2017].
- [11] Alma Laboratorios S.A de C.V., «www.almalaboratorios.com,» 2017. [En línea]. Available: <http://almalaboratorios.com/reflectancia/>. [Último acceso: 2017].
- [12] R. Tricker, *Optoelectronic and Fiber Optic Technology*, Newnes, 2002.
- [13] ANRITSU, «www.anritsu.com,» 03 02 2011. [En línea]. Available: https://dl.cdn-anritsu.com/en-au/test-measurement/files/Brochures-Datasheets-Catalogs/Brochure/MT9083_Series_E1700.pdf. [Último acceso: 2017].
- [14] «www.c3comunicaciones.es,» 12 2005. [En línea]. Available: <http://www.c3comunicaciones.es/Documentacion/seleccion%20OTDR.pdf>. [Último acceso: 2017].
- [15] EXFO, *uSER GUIDE rtu-720*, 2013.

- [16] EXFO, www.exfo.com. [En línea]. Available:
http://www.exfo.com/Documents/TechDocuments/Specification_Sheets/EXFO_spec-sheet_FiberGuardian_v4_en.pdf. [Último acceso: 2017].
- [17] CUDI, «www.cudi.edu.mx,» 2011. [En línea]. Available:
http://www.cudi.edu.mx/primavera_2011/presentaciones/DELTA.pdf. [Último acceso: 2017].
- [18] Sumitomo Electric Lighwave, [En línea]. [Último acceso: 2017].