



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Actualización, mantenimiento y
resolución de fallas de una red de fibra
óptica instalada en un Campus
Universitario y de Investigación en la
Ciudad de México**

TESIS

Que para obtener el título de

Ingeniero en Telecomunicaciones

P R E S E N T A

Gabriela Muñoz Valencia

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Álvaro Alejandro Marroquín Mora



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

AGRADECIMIENTOS

A Sofi

Por ser la luz de mi vida, el motor que siempre mueve cada uno de los pasos que doy, mi inspiración a ser cada vez mejor, mi más grande motivación a salir adelante cuando siento que las cosas van mal, por tener la sonrisa que me hace reafirmar que todo vale la pena, por ser una niña resiliente, una niña inteligente que siempre entendió que mamá no estaba contigo por algo bueno y no por simple gusto, por ser una niña que sueña y vibra alto, por que siendo tan pequeña me enseñas cosas grandes y me haces saber día a día que el amor incondicional si existe. Gracias por existir.

A mi familia

Por estar en mi vida cuando más los he necesitado y ser un ejemplo a seguir. Les agradezco infinitamente ser un soporte y hacerme saber que estoy rodeada de gente que siempre me va a apoyar aunque a veces la distancia nos separe. Los admiro y amo a cada uno por su esencia y este triunfo también es de ustedes.

Al Ingeniero Marroquín

Por todo el apoyo brindado en mi formación académica y profesional. Por confiar en mí e impulsarme para ser una buena ingeniera, por compartir sus conocimientos conmigo y por su excelente dirección en el presente trabajo.

A mis sinodales

Por tomar un momento de su tiempo y dar seguimiento a mi proceso de titulación. Por ser excelentes guías en toda mi carrera universitaria, por compartir su sabiduría y darme las herramientas necesarias para llegar hasta este momento en mi etapa como estudiante.

A mi amiga Fernanda Pérez

Por ser un apoyo incondicional en la realización de este proyecto, por estar siempre presente aportando tus conocimientos y mostrando tu amistad incondicional.

A la UNAM

Por ser la mejor universidad y darme la oportunidad de formar parte de su comunidad.

Contenido

1. MARCO TEÓRICO	4
1.1 Planteamiento del problema	4
1.2 Propuesta de solución y resultados esperados	4
1.3 Fibra óptica	5
1.3.1 Características de la fibra óptica	11
1.3.2 Redes de fibra óptica	11
1.4 Equipos de medición y unión de enlaces de fibra óptica	14
1.4.1 Fuente de luz y medidor de potencia óptica	14
1.4.2 Reflectómetro óptico	15
1.4.3 Empalmadora de fusión	18
1.4.4 Punta de inspección de conectores (microscopio)	19
1.5 Conectores ópticos	21
1.5.1 Conectores opto-mecánicos	22
1.5.2 Conectores basados en empalme de fusión	24
2. MEDICIONES DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA	25
2.1 Caracterización del enlace	29
2.1.1 Mediciones de pérdida por inserción	29
2.1.2 Mediciones con OTDR	30
2.2 Evaluación de conectores ópticos y elementos actualizados	31
2.3 Resultados de la inspección	35
3. ACTUALIZACIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA	36
3.1 Estado de la red	36
3.2 Solución original de actualización propuesta	38
3.3 Solución final de actualización propuesta	41
3.4 Armado de conectores ópticos y elementos actualizados	48
3.4.1 Armado de Lynx2	49
3.4.2 Organización de distribuidores	51
4. CONCLUSIONES	57
5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

1. MARCO TEÓRICO

1.1 Planteamiento del problema

Las redes de comunicaciones exigen el máximo desempeño para ofrecer servicios de calidad que permitan cubrir el aumento de demanda de ancho de banda para los nuevos servicios requeridos por la población, por ejemplo video-gaming, seguridad, internet de las cosas, etc. Existen múltiples variables que pueden interferir en esta calidad y una de las más importantes es que varias redes tienen ya muchos años de su instalación por lo que cuando se instalaron no existían las tecnologías de hoy en día. La realización de un adecuado mantenimiento utilizando las nuevas tecnologías de conectorización y distribución en los puntos de conexión es parte primordial para la disminución de problemas de desempeño y limitaciones de los alcances de las comunicaciones afectando los presupuestos de potencia y anchos de banda.

En este trabajo se realiza un análisis de todos los tipos de conectores y distribuidores que se encuentran en el mercado y las herramientas para instalarlos. Después del análisis se propondrán las soluciones con el mejor desempeño y se instalarán en una red de fibra óptica ubicada en un Campus Universitario de Investigación en la Ciudad de México, para darle mantenimiento y actualización de la red.

Objetivos:

- Obtener los parámetros de la fibra óptica en los enlaces de la red analizada para identificar los problemas a solucionar.
- Elegir la mejor tecnología en sistemas de comunicaciones ópticas para actualizar la red analizada.
- Instalar la nueva tecnología seleccionada y darle mantenimiento a la red ubicada en el Campus Universitario y de Investigación en la Ciudad de México.

1.2 Propuesta de solución y resultados esperados

- Medir la atenuación en los enlaces de fibra óptica en el Campus Universitario y de Investigación utilizando equipo especializado como OTDR.
- Analizar e interpretar las trazas obtenidas con el OTDR para detectar los enlaces que cuentan con fallas, la distancia donde se encuentra la falla y el tipo de falla que se presenta.
- Teniendo en cuenta que se tienen 6 sitios diferentes que se interconectan entre sí mediante 5 enlaces de cable de fibra óptica de 12 hilos cada uno, se comenzará la actualización de la red en los primeros 6 hilos de fibra por cada enlace. La identificación y organización de dichos hilos se hará de acuerdo a la norma TIA-598-C, la cual proporciona toda la información necesaria para la codificación por colores de cables de fibra óptica de una manera uniforme. De esta manera, se permitirá tener los 6 hilos restantes activos para evitar interrupciones en las operaciones cotidianas del campus.
- Reemplazar conectores ópticos en los primeros 6 hilos de fibra óptica con nuevas tecnologías basadas en empalme de fusión mejor conocidos como Lynx los cuales ofrecen seguridad, flexibilidad, confiabilidad y calidad independientemente del técnico, lo

que sin duda mejorará nuestras conexiones y/o enlaces. Así mismo, organizar los enlaces de cada sitio de manera que los hilos derivados de los cables de fibra óptica subterránea se fusionen en cajas de empalme con los jumpers que estarán conectados a los distribuidores ópticos actualizados, esto con el fin de brindar mayor seguridad a la red evitando futuras rupturas de fibra o daños causados por factores externos.

- Encontrar y proponer soluciones y/o mejoras a los problemas y fallas detectadas durante el proceso de actualización de la red para poder así proporcionar al cliente una satisfacción total con los resultados del proyecto.
- Migrar los enlaces activos a la red actualizada donde se tienen como inicio 6 hilos de fibra óptica por enlace, totalmente actualizados y funcionales. Esto permite repetir los 3 pasos anteriores en los 6 hilos de fibra restantes para dar mantenimiento y soporte a la red completa. De esta manera se tendrán 12 hilos de fibra óptica por cada enlace con velocidades de hasta 10 Gbps.

1.3 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión de señales en forma de ondas de luz las cuales contienen información (voz, datos o vídeo). Un cable de fibra óptica consiste en hilos de fibras transparentes de vidrio o plástico [1].

La fibra óptica se compone básicamente de tres capas diferentes que se describen e ilustran a continuación (Figura 1.1.):

- **Núcleo (Core):** es el centro de la fibra por donde se transmite la luz.
- **Revestimiento (Cladding):** es la capa óptica exterior de la fibra que mantiene la luz en el núcleo y la conduce a través de él.
- **Recubrimiento (Coating):** es una capa exterior de plástico resistente que protege a la fibra de la humedad y de los daños físicos.

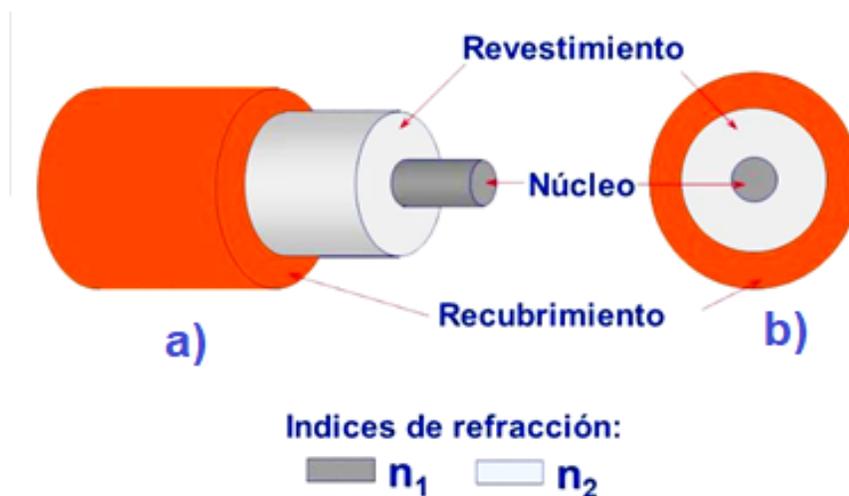


Figura 1.1. Estructura básica de la fibra óptica: (a) de perfil; (b) de frente. [2]

Como se hizo mención al inicio de este apartado, hay diferentes tipos de fibra óptica (vidrio o plástico); sin embargo, hay tres tipos de fibras que son actualmente comunes en el mercado:

1. Núcleo y revestimiento hechos de plástico.
2. Núcleo y revestimiento hechos de vidrio.
3. Núcleo de vidrio y revestimiento de plástico.

La fibra óptica se basa en principios ópticos clásicos para la transmisión de la luz, como lo son la reflexión, refracción y reflexión total interna. También existen algunos conceptos que nos pueden ayudar a entender de mejor manera estos principios ópticos y su relación con la transmisión de señales. A continuación se explicarán brevemente algunos de ellos.

Longitud de onda. Para una onda plana, se define como la distancia entre dos crestas o dos valles sucesivos en un instante de tiempo determinado. Esta se encuentra relacionada con la frecuencia a través de la velocidad de la luz en el vacío. La fibra óptica hace uso de la longitud de onda en el campo de los infrarrojos, normalmente de 850, 1310, 1490 y 1550 nanómetros. En la *Figura 1.2.* se observa su representación gráfica.

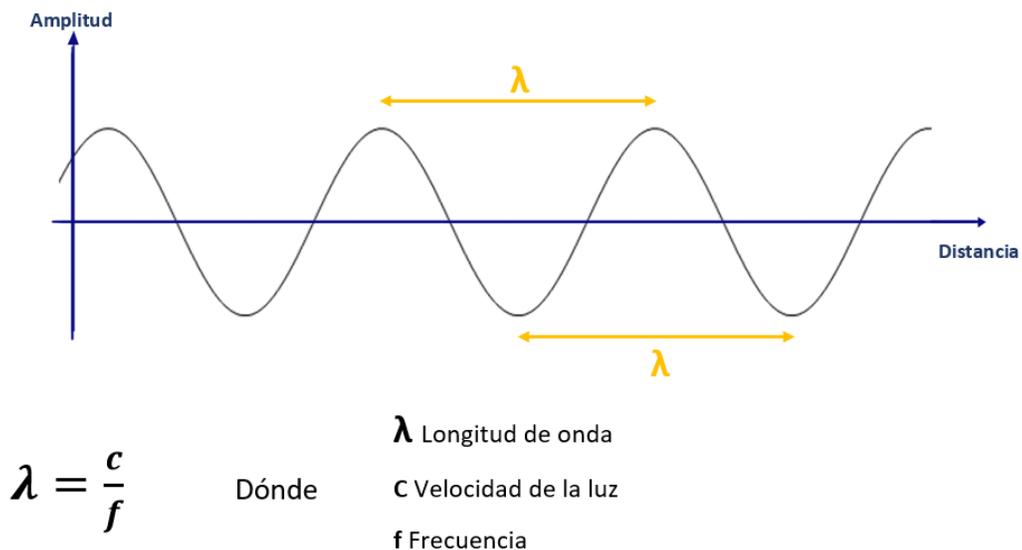


Figura 1.2. Representación gráfica de longitud de onda y su relación con la velocidad de la luz y la frecuencia.

Reflexión. Es el desvío de dirección de la luz regresando al mismo medio de donde salió, cuando ésta choca con una superficie y se refleja. Este desvío cumple con la condición:

Ángulo de incidencia = Ángulo reflejado

Esto significa que, existe una línea perpendicular a la superficie llamada *normal*, donde el haz incidente y el haz reflejado forman el mismo ángulo con respecto a esta línea. Por lo tanto, el ángulo formado por el haz incidente (ángulo de incidencia α) con la normal es igual al ángulo formado por el haz reflejado (ángulo reflejado β) con la normal [3]. En la *Figura 1.3.* se puede observar este fenómeno.

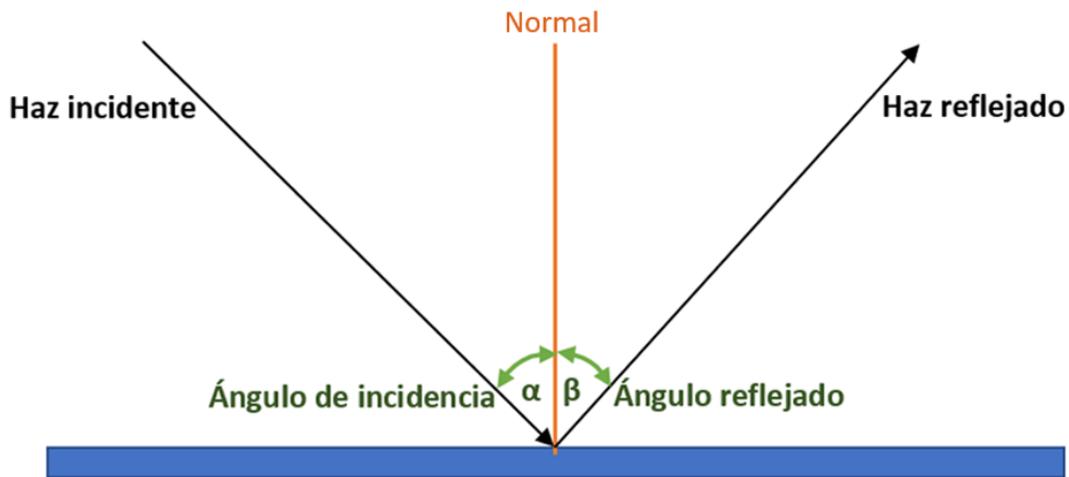


Figura 1.3. Reflexión.

Refracción. De acuerdo con la ley de Snell, la refracción es el cambio de dirección y velocidad que experimenta la luz cuando pasa de un medio de propagación que tiene un índice de refracción más bajo a otro medio con índice mayor. Esto se puede ver representado en la siguiente ecuación:

$$n_1 \text{ sen } \alpha = n_2 \text{ sen } \beta$$

Donde n_1 y n_2 representan los índices de refracción de los dos diferentes medios de propagación. Siendo el caso $n_1 < n_2$, entonces el haz refractado se acercará a la normal generando un ángulo β diferente al ángulo de incidencia α generado por el haz incidente [4]. En la *Figura 1.4.* se ilustra este fenómeno.

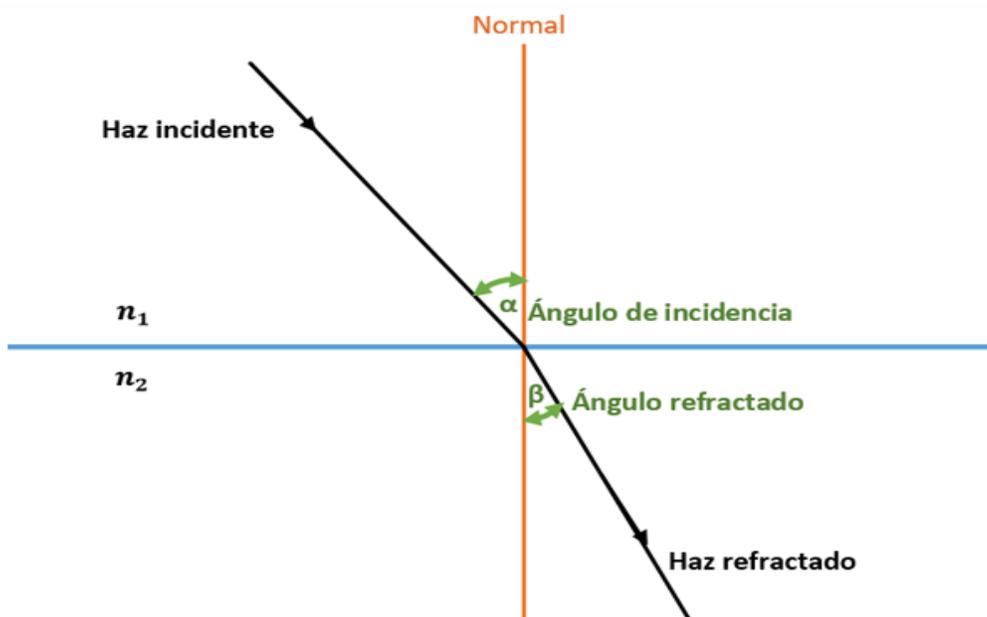


Figura 1.4. Refracción.

Índice de refracción. Indica que tanto se reduce la velocidad de la luz cuando pasa de un medio a otro, y cada material tiene un índice diferente. Se define como:

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

Donde c representa la velocidad de la luz en el vacío y v la velocidad de la transmisión de la luz en el medio utilizado.

Considerando que, en un medio determinado, la velocidad de propagación de la luz no es la misma para todas las radiaciones, se tiene que el índice de refracción para un mismo material será diferente dependiendo la longitud de onda utilizada [5].

Reflexión total interna. Se presenta cuando un rayo de luz que viaja por un medio con índice de refracción n_1 llega a un segundo medio que tiene un índice de refracción n_2 menor a n_1 , este cambio de índice de refracción no permite que la luz pase de un medio a otro por lo que la luz se refleja en su totalidad. Para que este fenómeno ocurra, la luz debe incidir sobre el primer medio en cierto ángulo conocido como ángulo crítico. En un caso ideal, la misma luz que entra será la misma que le llegará al receptor [4]. En la *Figura 1.5.* se puede observar como n_2 es

menor que n_1 , por lo que el haz incidente, tomando en cuenta que se considera el ángulo crítico, queda confinado dentro del núcleo de la fibra óptica.

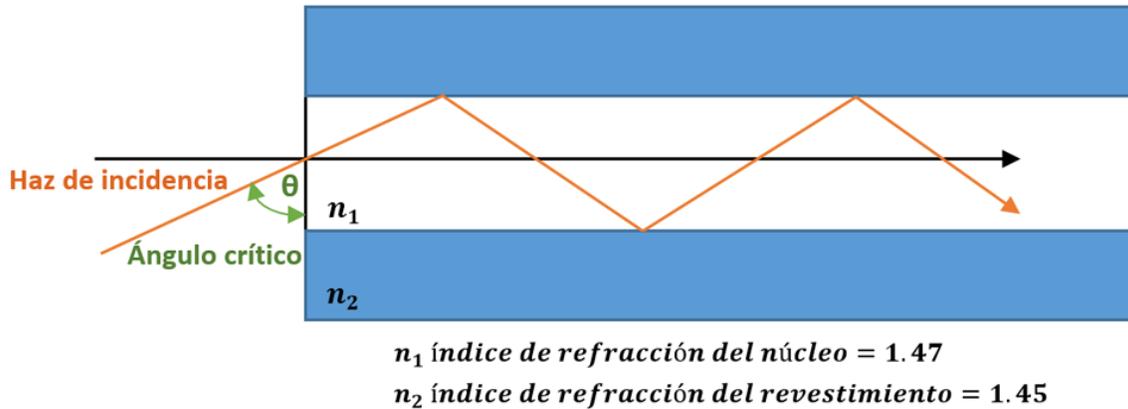


Figura 1.5. Reflexión total interna.

Existen dos tipos de fibras que son los más usados [6]:

- Fibra multimodo.** Se caracteriza por tener un núcleo de mayor diámetro que el de la fibra monomodo, por donde pueden viajar varios modos de propagación de la luz, tiene mayor atenuación por km comparada con la fibra óptica monomodo. Este tipo de fibra se usa en distancias menores a 2 km (redes locales y transmisión de datos); además de que su uso es muy común en interiores debido a que la electrónica del equipo terminal (switches y ruteadores ópticos) es más barata. Como se puede ver en la *Figura 1.6.* tiene un núcleo de 50 micrómetros y un revestimiento de 125 micrómetros aunque estas medidas corresponden a las fibras multimodo de tipo de índice escalonado, ya que las fibras de índice gradual tienen un núcleo de 62.5 micrómetros de diámetro.

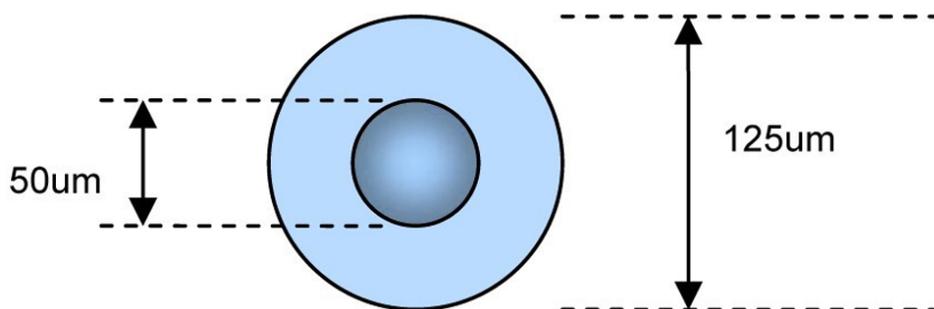


Figura 1.6. Fibra multimodo. [7]

- **Fibra monomodo.** Tiene un núcleo de diámetro mucho menor que la fibra óptica multimodo, por donde puede viajar un solo modo de propagación (de ahí el nombre “unimodal”) siguiendo el mismo eje del núcleo; tiene menor atenuación por km respecto a la fibra multimodo, ya que se utiliza con un rayo de luz láser muy estable. Esta se utiliza cuando se transmiten señales a larga distancia, se transmiten grandes cantidades de información (por ejemplo, 10Gb); y se utilizan principalmente en telefonía, televisión por cable y redes troncales de alta velocidad. Como se muestra en la *Figura 1.7.* cuenta con un núcleo más pequeño comparado con la fibra multimodo y por lo tanto, los modos de propagación de la luz en cada una es diferente (*Figura 1.8.*).

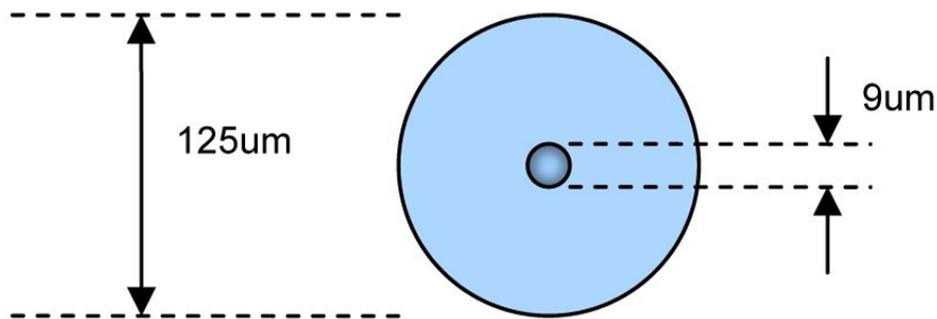


Figura 1.7. Fibra monomodo. [7]

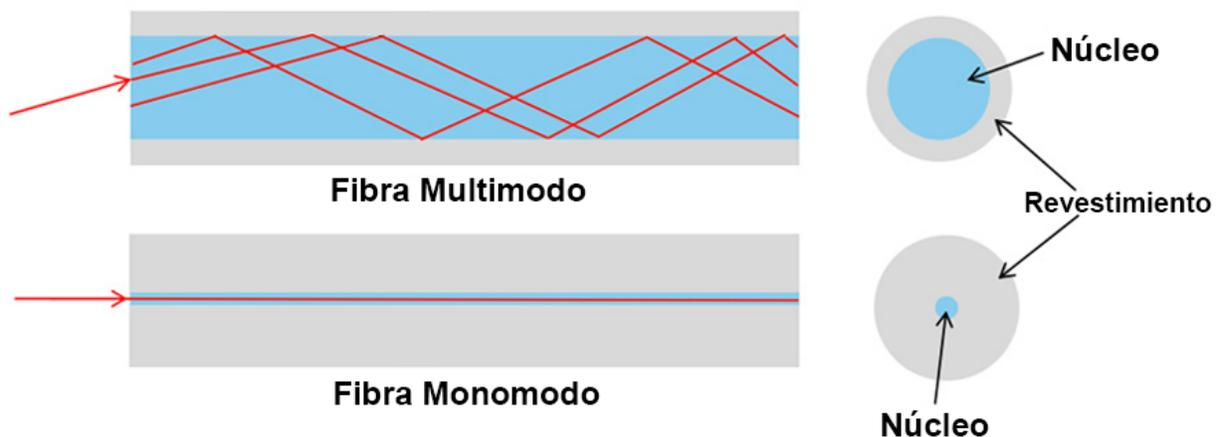


Figura 1.8. Modos de propagación: multimodo y monomodo. [8]

1.3.1 Características de la fibra óptica

Algunas de las características más relevantes de las fibras ópticas se muestran a continuación [9]:

1. **Mayor capacidad de información:** los sistemas de comunicaciones con fibra óptica tienen mayor capacidad de información que los cables metálicos, debido a los anchos de banda, inherentemente mayores con las frecuencias ópticas. Las fibras ópticas se consiguen con anchos de banda hasta de 10 GHz. Los sistemas modernos de comunicaciones con fibra óptica son capaces de transmitir varios gigabits por segundo a través de cientos de millas, permitiendo combinar y propagar literalmente millones de canales individuales de datos y de voz con un solo cable de fibra óptica.
2. **Inmunidad a la diafonía:** ya que la diafonía entre cables vecinos es provocada por la inducción magnética, los cables ópticos son inmunes a ésta debido a que las fibras están hechas de material dieléctrico (vidrio o plástico).
3. **Inmunidad a la interferencia por estática:** los cables ópticos son inmunes al ruido de estática que causa la interferencia electromagnética (*EMI*) debida a rayos, motores eléctricos, luces fluorescentes y otras fuentes de ruido eléctrico. Los cables de fibras tampoco irradian energía de RF y, en consecuencia, no pueden interferir con otros sistemas de comunicaciones.
4. **Inmunidad al ambiente:** los cables ópticos son más resistentes a los cambios extremos en el ambiente que los cables metálicos. Es por esta misma razón que tienen más duración frente a cambios en las condiciones ambientales.
5. **Seguridad:** los cables ópticos son más seguros y fáciles de instalar y mantener que los cables metálicos. Las fibras ópticas se pueden usar cerca de líquidos volátiles y de gases, sin preocuparse porque pueden causar explosiones o incendios. Las fibras ópticas al ser más pequeñas y mucho más ligeras que los cables metálicos, es más fácil trabajar con ellas. De igual manera, requieren menos espacio de almacenamiento y son más fáciles de transportar.
6. **Seguridad en información:** Debido a la inmunidad a interferencias electromagnéticas, es imposible acceder de manera ilegal a la información transmitida por este medio.
7. **Economía:** el costo de los cables de fibra óptica es, aproximadamente, igual al de los cables metálicos. Sin embargo, los cables de fibra tienen menores pérdidas y en consecuencia requieren menos repetidoras. Esto equivale a menores costos de instalación y del sistema en general, así como a mayor confiabilidad.

1.3.2 Redes de fibra óptica

Conforme a la Recomendación de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (*UIT*): “*UIT-R V.662-2*”, define una red de telecomunicaciones como [10]:

“Conjunto de medios para proporcionar servicios de telecomunicaciones entre cierto número de ubicaciones donde el equipo proporciona acceso a esos servicios”.

Dicho de otra manera, una red de telecomunicaciones es el conjunto de elementos que hace posible el establecimiento de comunicaciones entre usuarios distantes; y si lo queremos definir de una manera más sencilla aún, es la infraestructura encargada del transporte de la información.

Para que exista la comunicación en una red de telecomunicaciones es necesario contar con un transmisor, el cual es el que transmite la información; un medio por donde mandar la información, este puede ser par trenzado, fibra óptica o el aire (medio por donde se propagan las ondas de radio); y un receptor, que es el que recibe la información.

Dependiendo del tipo de red de telecomunicaciones es el tipo de transmisor, medio de transmisión, y receptor que se utilizarán. Para el caso de una red de fibra óptica, se usarán los siguientes dispositivos que se explicarán de forma general a continuación:

- **Transmisor:** son los encargados de generar la señal que lleva la información, esto lo hacen a través de una fuente de luz, que convierte las señales eléctricas en señales ópticas. Las fuentes más usadas son: Led (*Light-emitting diode*) y láser.
- **Medio de transmisión:** para nuestro caso puede ser cualquier cable de fibra óptica (monomodo o multimodo), el cual irá variando de acuerdo con la aplicación a tratar.
- **Receptor:** convierte las señales ópticas a señales eléctricas para recuperar la información que envió el transmisor. Esto lo hace con un fotodetector, que convierte la luz en energía eléctrica. Los tipos de fotodetectores que hay son: fotovoltaicos (generan un voltaje cuando incide luz), y fotoconductor (generan una corriente eléctrica cuando incide luz).

Redes ópticas de acceso y red óptica de transporte

Una red óptica de transporte (*OTN, Optical Transport Network*) son redes de tamaño considerable que son principalmente utilizadas por operadores de telecomunicaciones para interconectar un país mediante fibra óptica y permitir el transporte de grandes cantidades de información.

Una red OTN *“está compuesta por un conjunto de elementos de red óptica conectados por enlaces de fibra óptica, capaces de proporcionar funcionalidad de transporte, multiplexación, enrutamiento, gestión, supervisión y capacidad de supervivencia de canales ópticos que transportan las señales de los clientes”* [11].

Una red óptica de acceso identifica la parte física de la infraestructura de dicha red que se encuentra más próxima al usuario. En la actualidad, la red óptica de acceso se basa principalmente sobre la tecnología de redes ópticas pasivas (*PON, Passive Optical Network*), estructura de red en la que la terminal de línea óptica (*OLT*) y la unidad de red óptica (*ONU*) están conectadas a través de una red de distribución óptica (*ODN*). El ODN está compuesto por componentes pasivos como fibra óptica, y divisores [12]. En algunos casos también son definidas como redes de acceso FTTx (*Fiber To The x, fibra hasta la x*), La “x” indica que tan próxima está la fibra del usuario final.

Una red FTTx se compone de 3 elementos principales:

- **El nodo de acceso**, también denominado terminal de línea óptica (OLT, Optical Line Terminal), se ubica en la Oficina Central y define el punto central donde se inicia la red óptica pasiva. El OLT controla la transmisión de datos de subida y transmite los datos en sentido descendente.
- **La red de distribución de fibra** (ODN, Optical Distribution Network) se basa en el uso de divisores/acopladores, los cuales son elementos de ramificación de banda ancha bidireccionales que tienen un puerto de entrada y múltiples puertos de salida. La división se puede hacer de forma centralizada o en cascada, en varios lugares, de forma distribuida. Independientemente de la arquitectura, la relación de división se debe realizar en función del balance de potencias definido en la red teniendo en cuenta que las pérdidas por división dependen del número de puertos de salida del dispositivo.
- **Las unidades de red óptica** (ONU, Optical Network Unit) son la terminación de la red óptica y se ubican en el gabinete de la calle, edificio, local o casa del usuario final. Este dispositivo funciona como interfaz de los servicios de voz, datos y video.

Como se observa en la *Figura 1.9.*, si se realiza la analogía correspondiente con los elementos de red mencionados anteriormente, el transmisor es el OLT, el medio de transmisión el ODN, y el receptor la ONU.

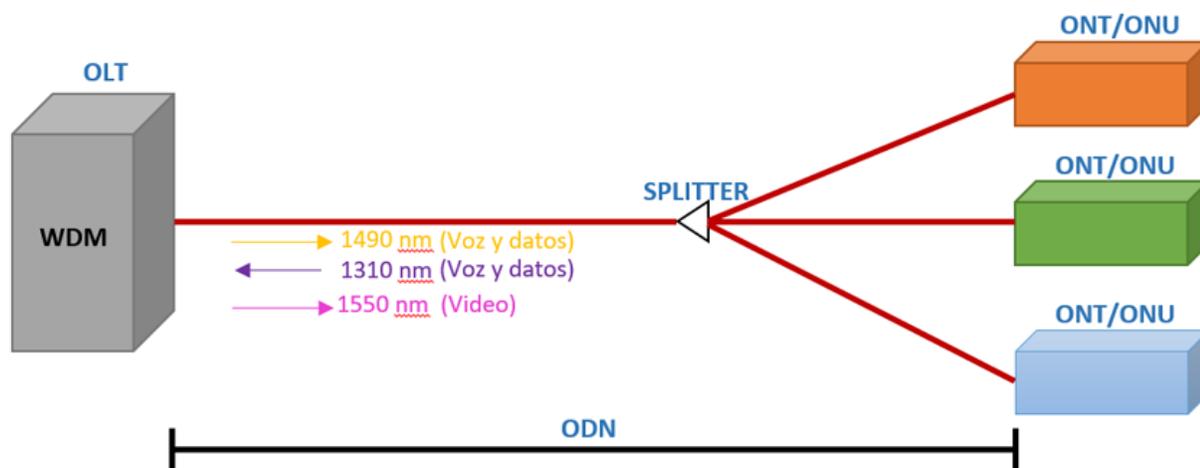


Figura 1.9. Red óptica de acceso y de transporte.

Arquitecturas FTTx

Dependiendo de la cercanía de la ONU con el usuario final, será el tipo de arquitectura que se esté empleando. A continuación se definen las arquitecturas más comunes [13]:

- **FTTB (Fiber To The Building).** Llamada “fibra hasta el edificio”, permite a la fibra llegar a un divisor óptico en el edificio (solamente se requiere una única ONU para todo el edificio), donde se distribuye por cable coaxial a los destinatarios.

- **FTTC (Fiber To The Cabinet).** Conocida como “fibra a la acera”, llega a una cabina de telecomunicaciones ubicada a no más de 300 m de los usuarios, para después llegar por medio de cable coaxial. En este caso se comparte la ONU y la fibra óptica entre varios usuarios ubicados en una manzana o área residencial de pequeña extensión.
- **FTTH (Fiber To The Home).** Conocida como “fibra al hogar”, puede llegar directo a la casa o a la oficina, es decir, la ONU se encuentra ubicada en el hogar u oficina del abonado.
- **FTTN (Fiber To The Node).** Llamada “fibra hasta el nodo”, es parecida al FTTC porque la fibra llega a la cabina de telecomunicaciones, pero la distancia entre ella y los usuarios supera los 300 m.

1.4 Equipos de medición y unión de enlaces de fibra óptica

1.4.1 Fuente de luz y medidor de potencia óptica

Las fuentes de luz son componentes activos dentro de un sistema de comunicaciones ópticas, las cuales se encargan de convertir la energía eléctrica en luz visible y confinar dicha luz dentro de la fibra óptica.

Existen dos tipos de fuentes ópticas que son las más usadas: Láser y LED .

El LED es un dispositivo semiconductor que emite luz cuando pasa corriente eléctrica a través de él. Algunas de sus características más importantes son:

- Poca potencia óptica.
- La luz sale en patrón divergente (de forma separada), por lo que es más difícil acoplarlo a las fibras, y se utilizan en las multimodo.
- Ancho de banda limitado.
- Provocan dispersión cromática en la fibra, es decir, los modos de propagación tienen diferente velocidad según la longitud de onda utilizada por lo que no llegan al mismo tiempo, lo que ocasiona que la señal se distorsione.

El láser (*Light Amplification by Stimulated Emission Radiation*) es un dispositivo que produce un haz luminoso muy intenso, coherente, direccional y monocromático al estimular los átomos, moléculas o iones de un material. Existen diferentes tipos de láser como los de gas, los sólidos, los químicos y los semiconductores, siendo este último los comúnmente utilizados para fines de comunicación [14].

Algunas características de láseres para comunicaciones son:

- La luz sale en forma estrecha ya que las ondas luminosas que conforman el haz de luz tienen la misma fase entre sí, por lo que se acopla fácilmente a fibras monomodo.
- Pueden producir luz visible e invisible, entre los cuales se encuentran los colores rojo (650 nm), azul (450 nm) y verde (520 - 571 nm) para la luz visible y el infrarrojo (800 -

850 nm) para la invisible. Al ser dispositivos monocromáticos provocan poca dispersión cromática. Normalmente, para fines de comunicaciones se utilizan las longitudes de onda 850 nm y 1310 nm para fibras multimodo y 1550 nm para monomodo. Esto se debe a que se tiene una atenuación mínima en estas longitudes de onda (0.2 dB/km).

- Proporciona una potencia óptica de entre 0.005 mW a 25 mW, por lo que son capaces de transmitir información a largas distancias de alrededor de 100 km sin necesidad de repetidores.
- Su ancho espectral es aproximadamente de 1 a 3 nm y transmiten información a velocidades altas, es decir, tienen un ancho de banda grande.

Los medidores de potencia óptica son equipos que miden el nivel de potencia de la señal que llega al punto de medición. De igual manera nos permite conocer las pérdidas en un cable o línea de fibra óptica.

Tanto las fuentes de luz como los medidores de potencia ópticos cuentan con longitudes de onda de trabajo comúnmente utilizadas en los sistemas de transmisión de fibra óptica (850, 1310 y 1550 nm).

El medidor de potencia óptica se debe utilizar en conjunto con la fuente de luz (*Figura 1.10.*), conectando ésta en un extremo del cable y el medidor al otro extremo. Antes de comenzar se debe asegurar que tanto el medidor como la fuente se encuentren configurados para la misma longitud de onda.



Figura 1.10. Medidor de potencia óptica y fuente de luz. [15]

1.4.2 Reflectómetro óptico

El Reflectómetro óptico (*Figura 1.11.*), comúnmente conocido como OTDR (*Optical Time Domain Reflectometer*), es un instrumento optoelectrónico utilizado para caracterizar la fibra óptica. Inyecta pulsos de luz en la fibra sometida a prueba en uno de sus extremos, y extrae, por el mismo extremo, la luz que se refleja desde ciertos puntos a lo largo de la longitud de la

fibra. Esta luz reflejada se utiliza para medir la atenuación de la fibra óptica, su longitud y, sobre todo, detectar eventos o fallas que se presentan a lo largo de un enlace [16].



Figura 1.11. Reflectómetro óptico. [17]

El principio de funcionamiento del OTDR consiste en emitir pulsos de luz que, al encontrarse con algún evento (curvaturas, roturas, microcurvaturas, empalmes mecánicos o por fusión, fin de fibra, entre otros) a lo largo del enlace, serán reflejados hacia el dispositivo pero con diferente índice de refracción. Esto permite que el OTDR detecte con gran exactitud la distancia en la que se encuentra la falla.

El OTDR cuenta con una pantalla integrada la cual se encarga de desplegar gráficamente el resultado del estado del enlace bajo prueba, esto usando un sistema de referencia con ejes X e Y; donde el eje X es la distancia en unidades de longitud y el eje Y es la atenuación en dB.

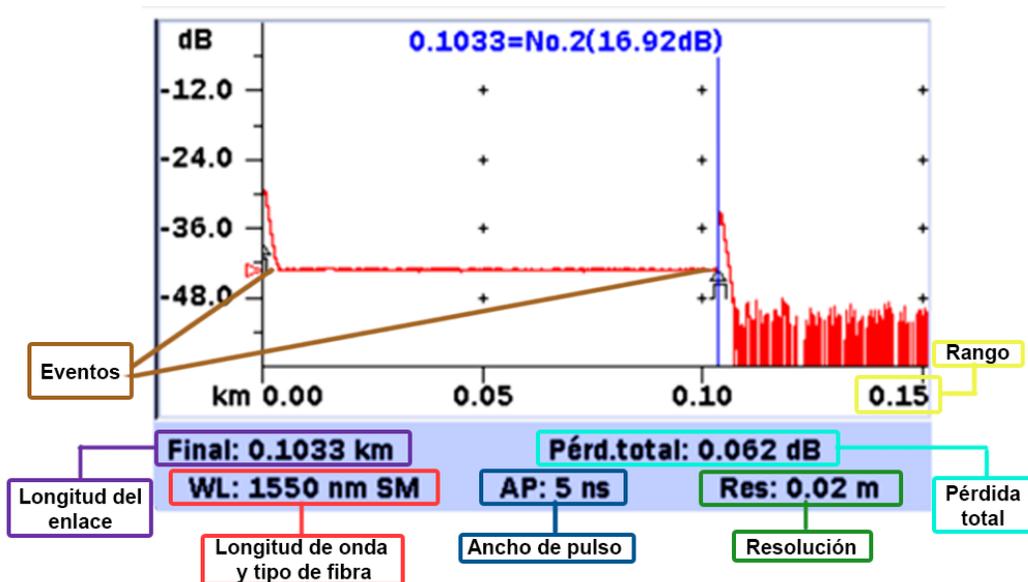


Figura 1.12. Resultado de una medición de un enlace de fibra óptica con un OTDR.

En la *Figura 1.12*. se ilustra una traza creada por un OTDR al medir un enlace. Los parámetros configurables y de rendimiento en este análisis son los siguientes [18]:

Configurables:

- **Longitud de onda y tipo de fibra:** Comúnmente se utiliza 1310 nm para analizar fibras multimodo y 1550 nm para analizar fibras monomodo, ya que es en estas longitudes de onda donde normalmente se transmite la información debido a la baja atenuación que llegan a tener. En este ejemplo se utilizó fibra monomodo y una longitud de onda de 1550 nm.
- **Ancho de pulso:** Es la duración que tendrá el pulso emitido al enlace de fibra óptica. Los anchos de pulso cortos serán de mayor utilidad si se requiere aumentar la resolución para poder observar todos los eventos existentes a lo largo del enlace. Si lo que se busca es analizar y observar un enlace más largo de principio a fin, entonces será conveniente utilizar un ancho de pulso largo, aunque se perderá resolución. En el ejemplo se utiliza un ancho de pulso corto de 5 ns, lo que permite ver con claridad cada evento (aunque es un ancho de pulso corto se puede observar el enlace en su totalidad debido a que es un enlace corto).
- **Rango:** Es el rango de visualización del enlace. Este debe ser superior a la longitud máxima del enlace en cuestión, por lo que se debe cerciorar cual es la longitud total del enlace. En este caso el rango es de 150 metros (0.15 km) ya que es toda la longitud del enlace que se podría observar en la pantalla, fue elegido porque se sabía que el enlace medía alrededor de 100 metros.
- **Resolución:** Es la distancia mínima entre dos puntos de muestreo consecutivos adquiridos por el OTDR. Este parámetro define la precisión de distancia última y la capacidad de localización de fallos del OTDR. Dependiendo del ancho de pulso seleccionado y del rango, este valor podría variar. En este ejemplo es de 0.02 m.
- **Tiempo promedio:** Permite asignar un rango de tiempo determinado para realizar la medición. Mientras más largo sea este periodo de revisión mayor precisión se tendrá por lo que se debe poner a consideración el objetivo principal, es decir, si se prefiere contar con precisión aunque el tiempo se extienda o se prefiere tener análisis rápidos sacrificando precisión. En las trazas no se observa este parámetro, por lo que no aparece en el ejemplo.

De rendimiento:

- **Longitud del enlace:** Indica cuánto mide el enlace en km. En el ejemplo se tienen 0.1033 km (103.3 m) que es donde se encuentra el final de la fibra.
- **Pérdida total:** Indica cuál es la atenuación total a lo largo de la fibra en dB. En este caso es de 0.062 dB (el valor máximo de atenuación es de 0.5 dB/km, por lo que se deduce que el enlace está teniendo pérdidas mayores, en ese caso se realizan otro tipo de pruebas para identificar las causas).
- **Eventos:** Son todas las perturbaciones encontradas a lo largo de la fibra. En el ejemplo solo se registran los conectores de inicio y fin de fibra.

Una de las principales ventajas de utilizar este dispositivo es que se puede determinar la localización casi exacta de las roturas de la fibra óptica en un enlace, así como los empalmes, conectores y anomalías que se puedan tener en la misma. Todo esto se puede saber al observar la gráfica de resultados y ver las pérdidas en dB que se tengan, ya que, dependiendo del evento, se tendrán determinados valores de dB diferentes para cada uno de ellos; Por

ejemplo, si en determinado evento se obtiene una pérdida de -30 dB, es posible que a esa distancia se tenga un conector FC.

Antes de hacer cualquier medición con un OTDR, se debe asegurar que el rango dinámico es el adecuado para el tipo de enlace que se va a analizar, en otras palabras, que tenga la suficiente capacidad (potencia óptica) de poder medir en su totalidad el enlace. Por ejemplo, supongamos que se tiene un OTDR con un rango dinámico de 25 dB y una fibra óptica con pérdidas de 0.5 dB/km, entonces el alcance que tendrá el Reflectómetro sería de 50 km de acuerdo con el siguiente cálculo:

$$\text{Distancia} = \text{Potencia OTDR} / \text{Pérdidas FO} = 25 \text{ [dB]} / 0.5 \text{ [dB/km]} = 50 \text{ km}$$

1.4.3 Empalmadora de fusión

El empalme de fibra óptica es la técnica que se utiliza para unir permanentemente dos fibras ópticas en una conexión de bajas pérdidas. Esta conexión se puede realizar usando uno de estos dos métodos: empalme por fusión o empalme mecánico.

El empalme mecánico es una solución rápida y económica para empalmar fibras ópticas, ya que no requiere el uso de una empalmadora de fusión, ya que la gran mayoría de ellas son de precio elevado; sin embargo produce atenuaciones altas (en general, una atenuación promedio de 0.5 dB).

El empalme de fusión es el más eficiente que hay actualmente, a pesar del costo mayor en comparación con un empalme mecánico, ya que el empalme de fusión inserta en el enlace una atenuación promedio menor a 0.1 dB. Esta requiere de una empalmadora de fusión y herramientas especiales para preparar y unir las fibras ópticas mediante la descarga de un arco eléctrico.

La empalmadora de fusión (*Figura 1.13.*) es el dispositivo que tiene la capacidad de alinear los núcleos de las fibras a empalmar y fusionarlas de forma eficiente y duradera.



Figura 1.13. Empalmadora de fusión con alineamiento por núcleo. [19]

Actualmente existen empalmadoras de bolsillo (*Figura 1.14.*), de forma que es más sencillo poder hacer empalmes de fibra óptica en cualquier lugar, desde postes en donde se localicen cierres de empalme, así como en terminaciones de instalaciones FTTH, por ejemplo, la casa del usuario final.



Figura 1.14. Empalmadora de fusión de bolsillo. [19]

En la pantalla de la empalmadora se muestra el proceso de fusión de las fibras, tanto en el eje X como en el eje Y. Inicialmente, se comprueba que la limpieza de las fibras es correcta, luego se produce el acercamiento y la alineación de los extremos y posteriormente se efectúa la fusión, calculando el nivel de pérdidas estimadas del empalme.

Los empalmes que se hagan mediante este método se necesitan proteger de alguna manera, es por eso que incluso antes de hacer el empalme se añade una manga termocontractil, ya que esta es la que nos protegerá de cualquier manipulación de nuestro empalme. Estas mangas se funden con calor para que se queden pegadas a ellas. Las mismas incluyen un hilo que abarca toda la longitud de la protección, que aporta rigidez a la unión para evitar que haya un doblez excesivo en su manipulación.

Para poder realizar el calentamiento de la manga termocontractil, existen hoy en día empalmadoras que cuentan hasta con dos hornos para ahorrar hasta en un 70% de tiempo cuando son empalmes con muchos hilos. El tiempo que tarda en fundirse puede ser de tan solo unos segundos, esto dependerá del tipo de empalmadora que se esté utilizando.

1.4.4 Punta de inspección de conectores (microscopio)

Los conectores de fibra contaminados son la principal causa de problemas en las redes ópticas. Para evitarlos, la Comisión Electrotécnica Internacional (*International Electrotechnical Commission, IEC*) ha desarrollado un estándar de calidad para las terminaciones de la fibra. A pesar de todo, certificar la conformidad con este estándar puede requerir cierto tiempo y resultar un procedimiento complejo y subjetivo.

Un microscopio digital óptico (*Figura 1.15.*) inspecciona y certifica automáticamente las terminaciones de los conectores de fibra de conformidad con los estándares y las

especificaciones del sector. Esta clase de microscopios digitales proporcionan al instante resultados de tipo pasa/falla con solo pulsar un botón, de modo que se evita la subjetividad de las conjeturas, que requieren además bastante tiempo.

Como principal característica de esta clase de microscopios ópticos encontraremos que cuentan con un foco automático que no solo facilita enormemente la inspección, sino que también permite el ajuste optimizado del foco para garantizar la detección de todos los defectos que podrían afectar al rendimiento de los conectores. El sistema ajusta automáticamente el centrado de imágenes de modo que todas las zonas de inspección sean visibles y luego ajusta automáticamente el foco hasta lograr la mejor resolución óptica, después se aplican normas IEC, IPC o personalizadas para ofrecer unos resultados de certificación precisos en un instante.

Estos tipos de sondas o microscopios utilizan puntas de inspección principalmente para ver el estado en el que se encuentran los acopladores instalados en los diversos distribuidores ópticos, pero también se encuentran disponibles puntas de cables de conexión para ciertos conectores FC, LC, SC, SMA, MU, MPO, Patch Cord, Ribbon, FTTx, Broadcast y Universal.

El resultado del análisis realizado por el microscopio óptico se ve reflejado mediante un software que, con base en la norma IEC 61300-3-35, puede determinar si la imagen que caracteriza al conector cumple con los estándares marcados para un buen funcionamiento de éste o no. En la *Figura 1.16*, se muestra la comparación de la inspección de dos conectores, uno cuenta con la aprobación “pass” y el segundo cuenta con daño, por lo que el resultado arrojado por el software es “fail”.



Figura 1.15. Punta de inspección. [20]

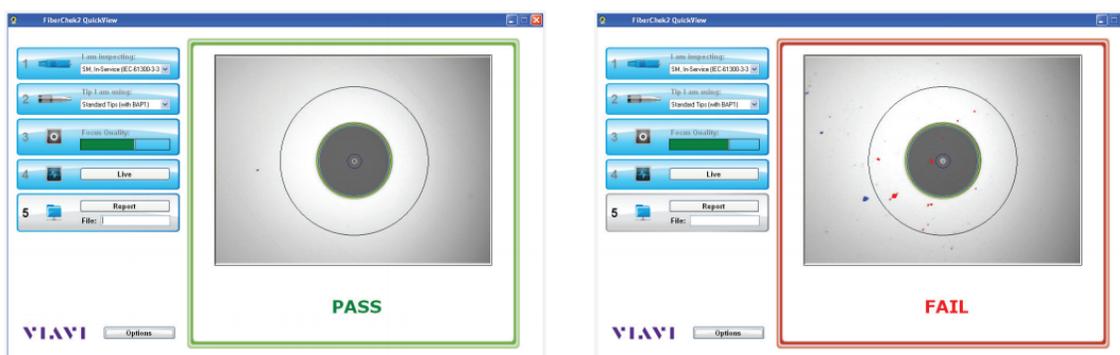


Figura 1.16. Software de inspección de conectores. [21]

1.5 Conectores ópticos

Los conectores ópticos son elementos pasivos que se encargan de conectar las líneas de fibra a un elemento, ya sea un transmisor o un receptor.

Los conectores son considerados el elemento más débil en un enlace de fibra óptica, ya que marcan un punto en el que puede ocurrir pérdida de señal. Por lo tanto, para que los cables de fibra óptica tengan un rendimiento excepcional, se necesitan conectores bien diseñados, buenas terminaciones y un instalador capacitado.

Hay diferentes tipos de conectores, pero todos están integrados por estos tres mecanismos:

- **Férula:** Es el componente más importante de los conectores de fibra óptica ya que es la encargada de sujetar, proteger y alinear la fibra de vidrio. Las férulas usualmente son hechas con cerámica y plástico o metal de alta calidad.
- **Mecanismo de acoplamiento:** Mantiene el conector en su lugar cuando está conectado a otro dispositivo.
- **Cuerpo:** Es la estructura que sostiene la férula, el mecanismo de acoplamiento y la bota. Está hecho de plástico o metal.

Pulido de la férula

El pulido de la férula determina la pérdida de retorno de un cable de fibra óptica. Esto es la cantidad de energía perdida que ocurre cuando la luz se devuelve de la fibra a la fuente de luz debido a la discontinuidad o espacio entre una férula y la otra. Está medida en decibeles.

Las férulas son pulidas de diferentes maneras:

- **PC (*Physical Contact*):** Son pulidos con una ligera curvatura, lo que elimina el espacio de aire entre las férulas. La pérdida de retorno de estos conectores está entre -30 dB y -40 dB.
- **UPC (*Ultra Physical Contact*):** También tienen una curvatura, pero ésta es mucho más pronunciada. Su pérdida de retorno va desde -40 dB a -55 dB, lo que los hace ideales para transmitir señales de TV y data.
- **APC (*Angled Physical Contact*):** Tienen un ángulo de 8° , que hace que las conexiones sean mucho más unidas. Los estándares de la industria dictan que deben tener una pérdida de retorno de -60 dB.

En la *Figura 1.17*, se muestran los tres diferentes tipos de pulido de la férula descritos anteriormente.

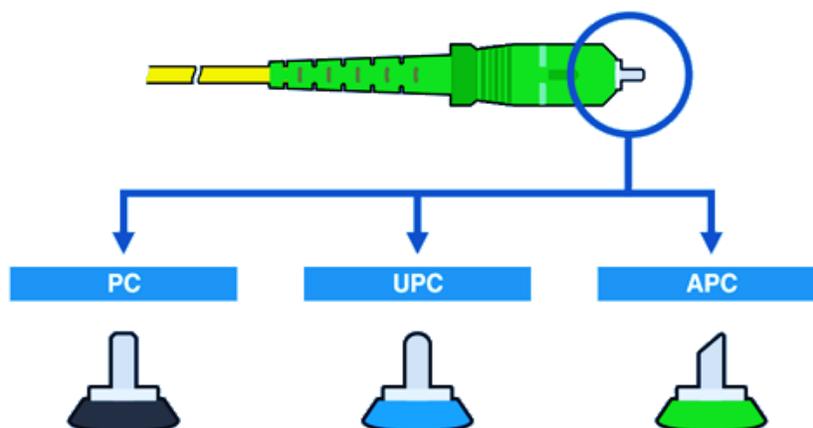


Figura 1.17. Diferentes tipos de pulido de la férula. [22]

1.5.1 Conectores opto-mecánicos

SC (Standard Connector). Tienen una pérdida de inserción promedio de 0.25 dB y están calificados para soportar 1000 ciclos de conexión y desconexión. Alinean las fibras con precisión debido a sus férulas de cerámica, que funcionan con un sistema push and pull. Fueron inicialmente utilizados en sistemas de Gigabit Ethernet, pero fueron reemplazados por conectores de menor tamaño. Actualmente son utilizados en versiones monomodo y multimodo en sistemas de TV por cable y telefonía.

ST (Straight Tip). Tienen una pérdida por inserción de 0.25 dB. Son utilizados en aplicaciones de larga y corta distancia como campus o redes corporativas y en aplicaciones militares. Puede ser conectado y desconectado de manera fácil debido a su flexibilidad y está calificado para soportar hasta 500 ciclos.

LC (Lucent Connector). Tienen una pérdida de inserción típica de 0.10dB. El tamaño pequeño de los conectores LC reduce la necesidad de espacio en un 50% en contraste con conectores SC y ST, por lo tanto, son utilizados en sistema de alta densidad como paneles y racks, Fibra hasta la Casa, distribución en edificios, Redes de Área Local, redes de procesamiento de data y sistemas de TV por cable. Pueden ser utilizados con cables monomodo y multimodo.

FC (Ferrule Connector). Es un conector con una férula de cerámica de 2.5mm que se mantiene en su lugar con un sistema de rosca. Los conectores FC están disponibles para fibra multimodo y monomodo, pero son mayormente utilizados en aplicaciones monomodo y en redes de alta velocidad. Su principal uso es en entornos de alta vibración debido a su sistema de rosca. Tiene una pérdida por inserción de 0.3dB.

En la *Figura 1.18*. se ilustran los conectores opto-mecánicos descritos anteriormente.

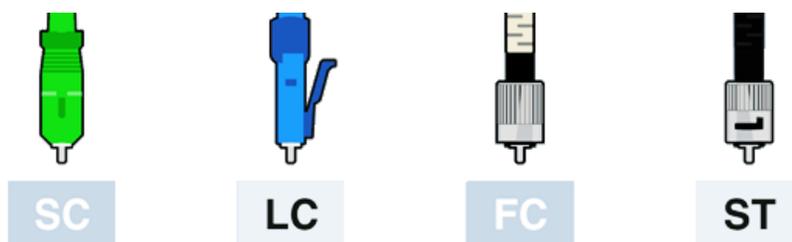


Figura 1.18. Conectores opto-mecánicos. [22]

MTRJ (Mechanical Transfer-Registered Jack). El MTRJ (Figura 1.19.) es un conector dúplex, lo que significa que sostiene dos fibras al mismo tiempo. Su cuerpo y férulas están hechos de polímero y tiene versiones hembra y macho. Son mayormente utilizados con fibra multimodo.



Figura 1.19. Conectores MTRJ. [23]

MPO (Multi-fiber Push-on). Es un conector multi-fibra que puede sostener desde 12 hasta 24 fibras en una sola férula rectangular. Los MPO (Figura 1.20.) son utilizados para construir redes de Ethernet de transmisión paralela de 40G y 100G. Están disponibles en versiones UPC y APC. Las férulas de los conectores MPO macho tienen dos pines, mientras que los conectores hembra tienen dos agujeros. La pérdida por inserción es de 0.25 dB.



Figura 1.20. Conectores MPO. [24]

1.5.2 Conectores basados en empalme de fusión

Conectores Lynx. Se consiguen longitudes exactas de cables ópticos en sitio, sin el riesgo de que no alcancen o se tengan sobrantes con los cables de distancias predeterminadas. Son de rápido y fácil armado, elimina retrasos por logística o pre-ingeniería de cables, son compatibles con conectores LC, FC, SC y ST, para fibras multimodo y monomodo. Cuentan con muy bajas pérdidas por inserción y por retorno óptico.

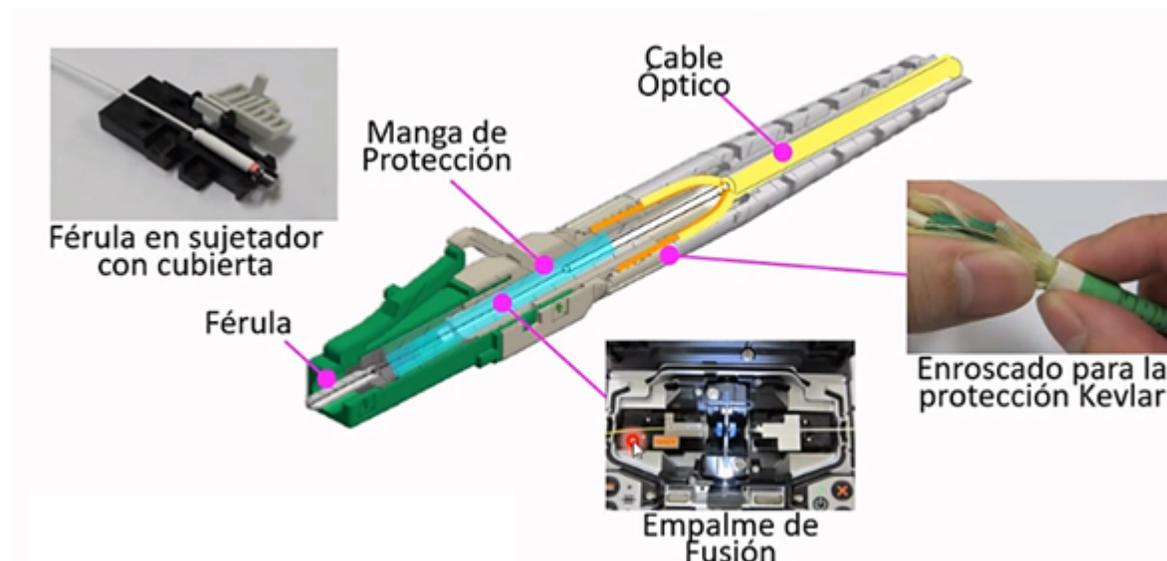


Figura 1.21. Conectores ópticos basados en empalme de fusión. [25]

En la *Figura 1.21*, se observan las características y los elementos de un conector basado en empalme por fusión.

2. MEDICIONES DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

En la *Figura 2.1.* se muestran los enlaces dentro del Campus Universitario. Como se puede observar se trata de 5 enlaces de corta distancia. En la instalación actual, son enlaces activos que necesitan ser reparados para dar un mejor servicio.

Cada enlace está conformado por una estructura inmersa que va de un sitio a otro. Por enlace, se trata de un cable de fibra óptica de 12 hilos, de los cuales se tienen activos alrededor de 3 a 6 hilos. Esto facilita el mantenimiento a la red, ya que en primer lugar se da mantenimiento a los hilos inactivos para que, al estar reparados y funcionando al 100%, se realice la migración de los servicios a dichos hilos y dar mantenimiento a los hilos restantes, de esta manera todo el enlace queda en condiciones óptimas para operar adecuadamente.

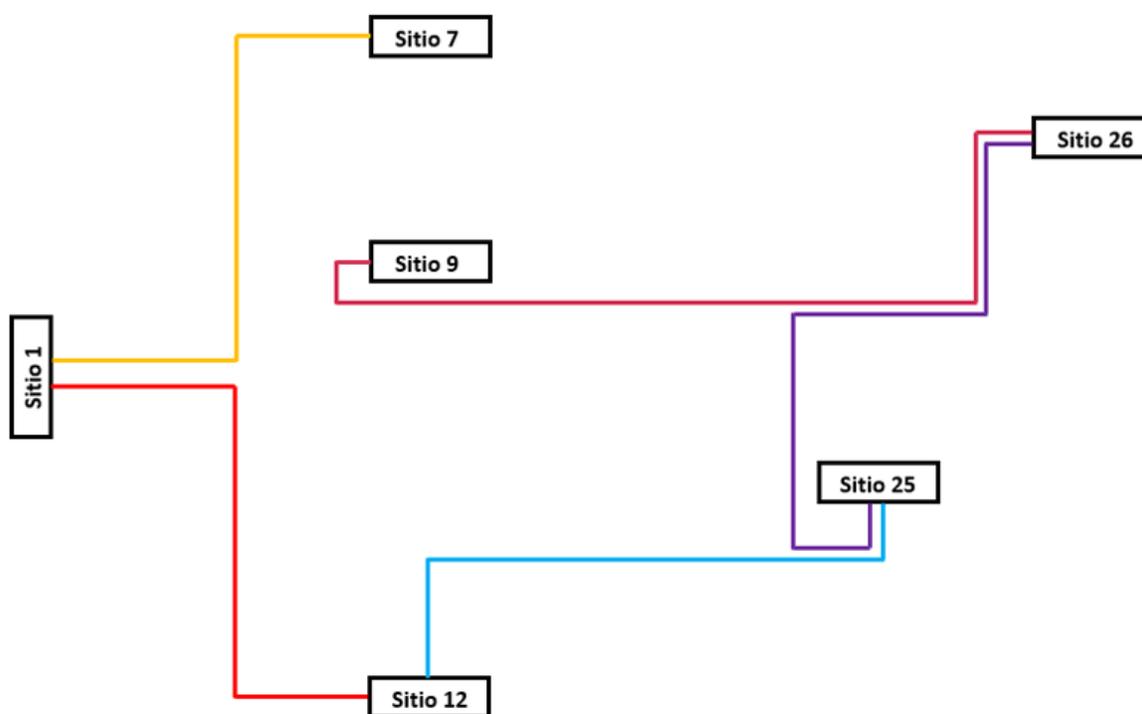


Figura 2.1. Topología de la red de fibra óptica.

De la *Figura 2.2.* a la *Figura 2.7.*, se muestran los mapas correspondientes tanto de la red completa de fibra óptica en el Campus Universitario, como de cada uno de los enlaces por separado utilizando tecnología satelital, donde se observa la distancia exacta de cada enlace.

Cabe mencionar que todos los enlaces cuentan con condiciones similares, es decir, todos utilizan fibra óptica monomodo, todos los cables cuentan con 12 hilos, sus terminaciones tienen conectores ST, ninguno cuenta con empalmes mecánicos ni por fusión. Las diferencias entre un enlace y otro son la longitud y el estándar en el código de colores utilizado (para el enlace Sitio 1 - Sitio 12 se utiliza código Telmex, en todos los demás se utiliza código internacional basado en la norma TIA/EIA 598).

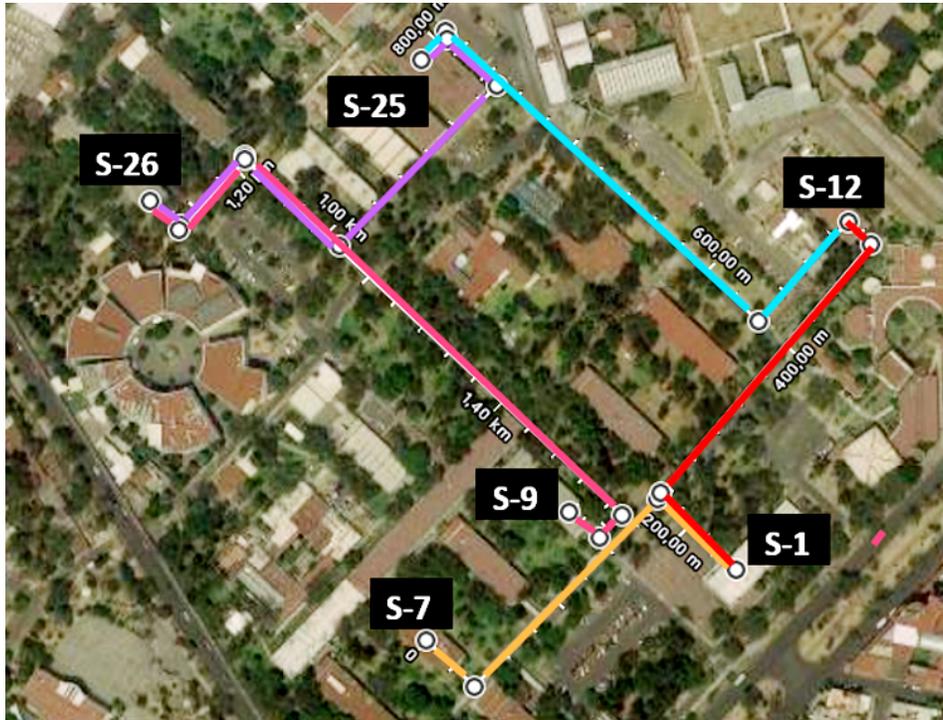


Figura 2.2. Imagen aérea de toda la red a analizar con longitud de 1.53 km. [26]

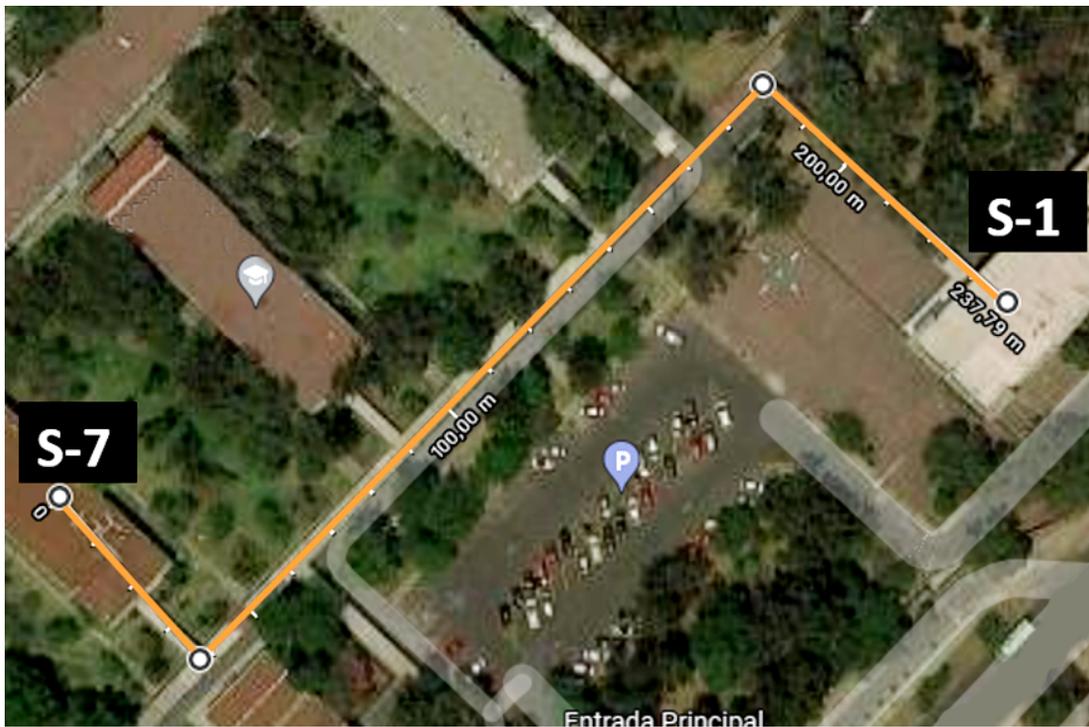


Figura 2.3. Imagen aérea del enlace que va del sitio 7 al 1, longitud de 237.79 m. [26]



Figura 2.4. Imagen aérea del enlace que va del sitio 1 al 12, longitud de 265.59. [26]



Figura 2.5. Imagen aérea del enlace que va del sitio 12 al 25, longitud de 323.34 m. [26]



Figura 2.6. Imagen aérea del enlace que va del sitio 25 al 26, longitud de 335.64 m. [26]



Figura 2.7. Imagen aérea del enlace que va del sitio 26 al 9, longitud de 399.42 m. [26]

2.1 Caracterización del enlace

Inicialmente se realizaron mediciones con equipo OTDR de un sitio a otro de forma bidireccional para poder hacer un diagnóstico del estado de los enlaces así como de la fibra.

Posterior a ello, se realizó una inspección de conectores conforme a la norma IEC 61300-3-35 mediante un microscopio óptico que permita una actuación rápida para proporcionar datos que, al margen de la habilidad valorativa del técnico, establezca criterios de “pasa” o “falla”, con el fin de saber si estos deben reemplazarse.

2.1.1. Mediciones de pérdida por inserción

Las pérdidas por inserción se refieren a la medida de la atenuación causada al introducir diferentes dispositivos dentro de la red de fibra óptica. La medición de éstas se realiza conforme al método reflectométrico, utilizando el equipo de medición OTDR. La causa más común que genera este tipo de pérdidas es la proveniente de los conectores, los cuales generan pérdidas máximas aproximadas de 0.5 dB en condiciones normales. Esto significa que si el conector no cuenta con una correcta instalación o está dañado, la pérdida puede ser mayor.

Para poder medir las pérdidas por inserción y obtener su localización exacta se utiliza un OTDR, esto para realizar un análisis en cada uno de los enlaces y poder conocer el estado general de los mismos. En la *Figura 2.8.* se ilustra la conexión realizada entre el OTDR y uno de los enlaces localizado en el sitio 1 y que va hacia el sitio 12, esta conexión se realiza en todos los enlaces a analizar.



Figura 2.8. Conexión del OTDR en un enlace que va del sitio 1 al sitio 12, aunque la conexión será la misma para cualquier enlace de fibra óptica.

2.1.2. Mediciones con OTDR

El mismo trazo de OTDR que indica la pérdida por inserción total, también indica la contribución de cada uno de los componentes del enlace. En la *Figura 2.9.* se observa el trazo con OTDR correspondiente al mismo enlace de la *Figura 2.8.* que va del sitio 1 al sitio 12, el cual nos muestra dos eventos que parecieran ser pulsos. El primer evento corresponde a la presencia del conector inicial y el segundo al fin de fibra.

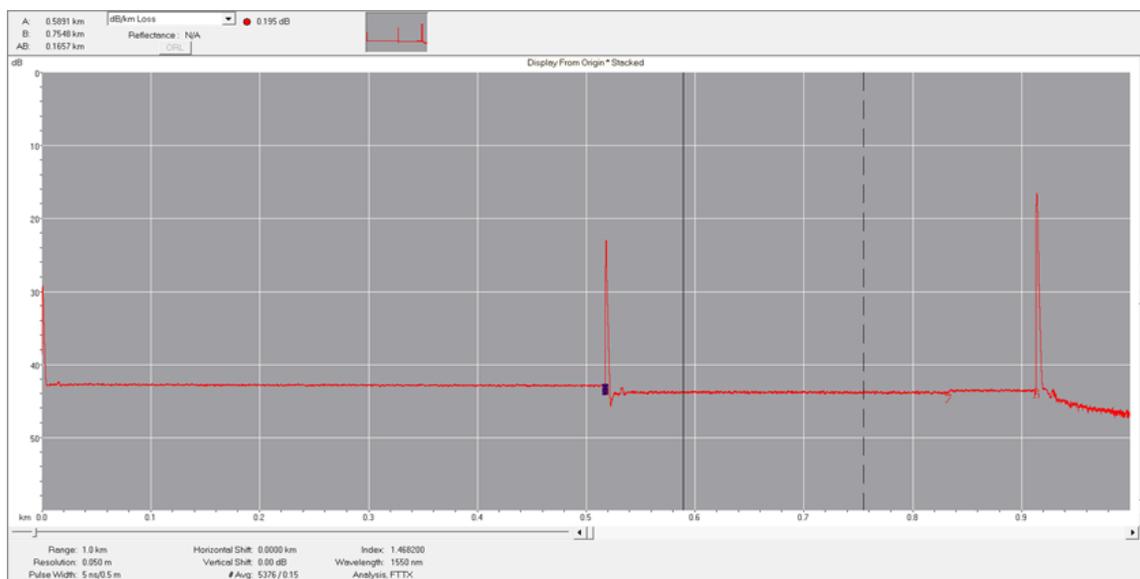


Figura 2.9. Trazo del enlace del sitio 1 al 12.

En la *Tabla 2.1.* se muestra el resultado de la medición del mismo enlace que la traza anterior.

Longitud de onda (nm)	Coefficiente de Atenuación Medido (dB/km)	Coefficiente de Atenuación Esperado (dB/km)	Coefficiente de Atenuación Rec. G.652 (dB/km)
1550	0.195	≤0.22	≤0.40

Tabla 2.1 Resultados del trazo del enlace del sitio 1 al 12.

2.2 Evaluación de conectores ópticos y elementos actualizados

Como se puede observar, en la traza anterior se localizó un evento reflectivo que es provocado por la existencia de un conector en mal estado, lo que indica que se debe hacer una inspección más exhaustiva de los mismos, para así poder saber si solo se requiere de limpieza o de un reemplazo. Para ello se hará uso de un microscopio óptico que con ayuda de un software mostrará el estado de los conectores. En la *Tabla 2.2.* se muestran los parámetros de transmisión de un conector óptico conforme la Recomendación *ITU-T G.671 (08/2019)*.

Cláusula	Parámetro	Max	Min	Método de prueba
	Pérdida por inserción (dB)			
5.6.1	Para fibra monomodo	0.5	na	[IEC 61300-3-4], [IEC 61300-3-7]
5.6.2	Para fibra multimodo	1.0	na	[IEC 61300-3-4], [IEC 61300-3-7]
5.6.3	Reflectancia (dB)	-35	na	[IEC 61300-3-6]
	Rango de longitud de onda de funcionamiento (nm)(Nota 1)			
5.6.4	Ventana 1300 nm	1360	1260	[IEC 61300-3-7]
5.6.5	Ventana 1550 nm	1580	1480	[IEC 61300-3-7]
5.6.6	Pérdida dependiente de la polarización (PDL) (dB)	0.1	na	[IEC 61300-3-2], [IEC 61300-3-2a]
5.6.7	Reflectancia dependiente de la polarización (dB)	pea	na	[IEC 61300-3-19]
5.6.8	Potencia de entrada permitida(dBm)	pea (Nota 2)	na	pea
5.6.9	Dispersión por modos de polarización (PMD)(ps)	pea	na	ITU-T G.650.2] (Note 3)
na = no aprobado. pea = para estudio adicional				

Tabla 2.2. Parámetros de transmisión de los conectores ópticos conforme ITU-T G.671 (08/2019). [27]

La recomendación *ITU-T G.671* considera y hace referencia a las definiciones y métodos de prueba descritos en las normas *CEI serie 61300*, la cual, en su sección *61300-3-35* describe el procedimiento para garantizar la calidad en la inspección visual de los conectores de fibra óptica. En la *Figura 2.10*. se observa dicho procedimiento.

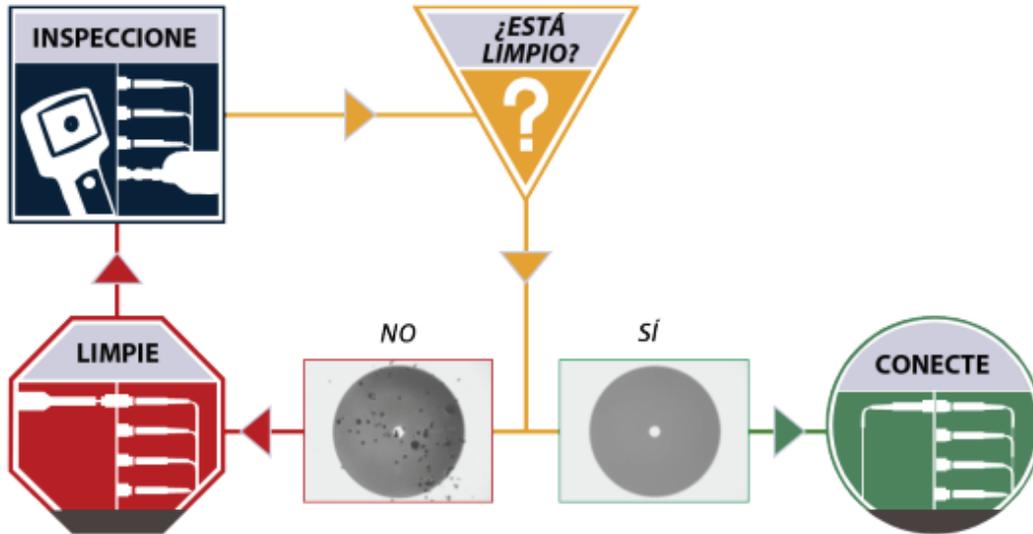


Figura 2.10. Procedimiento de Inspección de conectores ópticos conforme IEC 61300-3-35 (2015). [28]

Se procedió a inspeccionar los conectores en el sitio 1 y se tomaron capturas de pantalla de los resultados arrojados por el equipo. La *Figura 2.11*. representa el estado general en el cual se encontraban todos los conectores en el sitio 1.

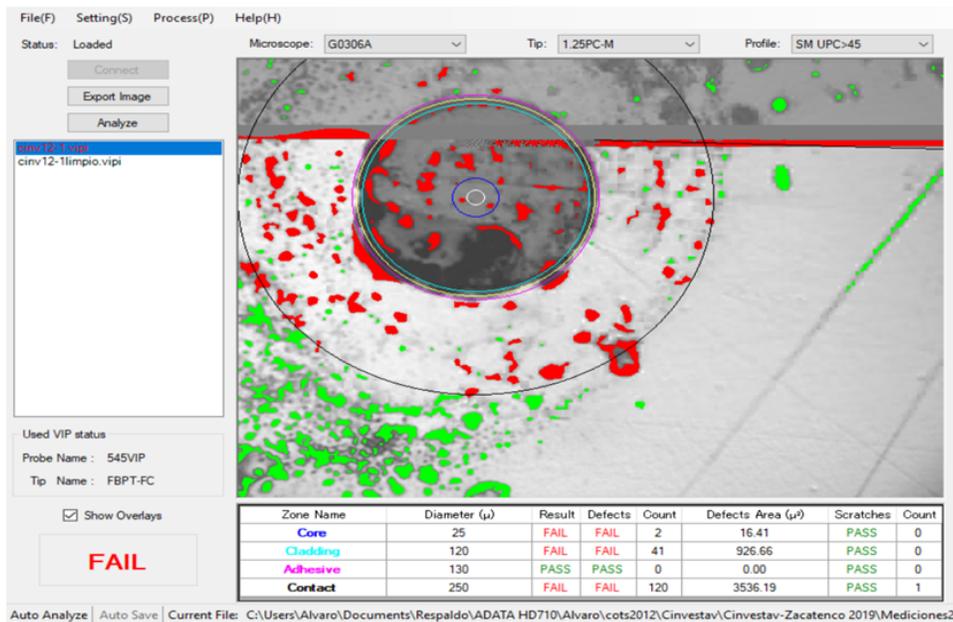


Figura 2.11. Inspección de conectores en Sitio 1.

Después de la inspección se observa que los conectores se encuentran muy contaminados, por lo que se realiza limpieza utilizando toallas que no dejan residuos y alcohol isopropílico. El resultado general observado después de la limpieza se presenta en la *Figura 2.12*.

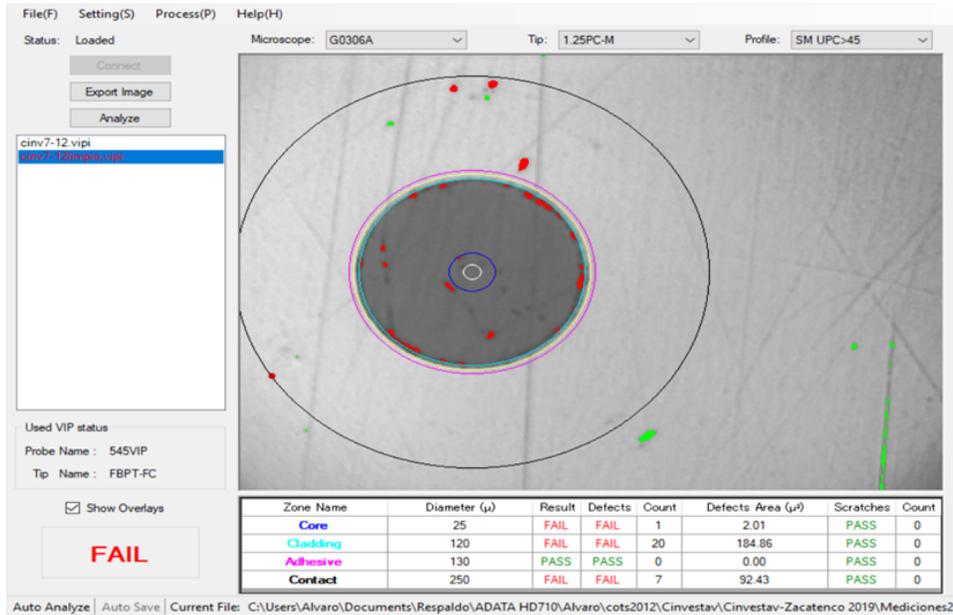


Figura 2.12. Inspección de conectores en Sitio 1 después de la limpieza.

Se realizó el mismo proceso de inspección de conectores en los demás sitios. La *Figura 2.13* representa de manera general el resultado arrojado por el equipo que muestra el estado en el que se encontraron los conectores del sitio 12.

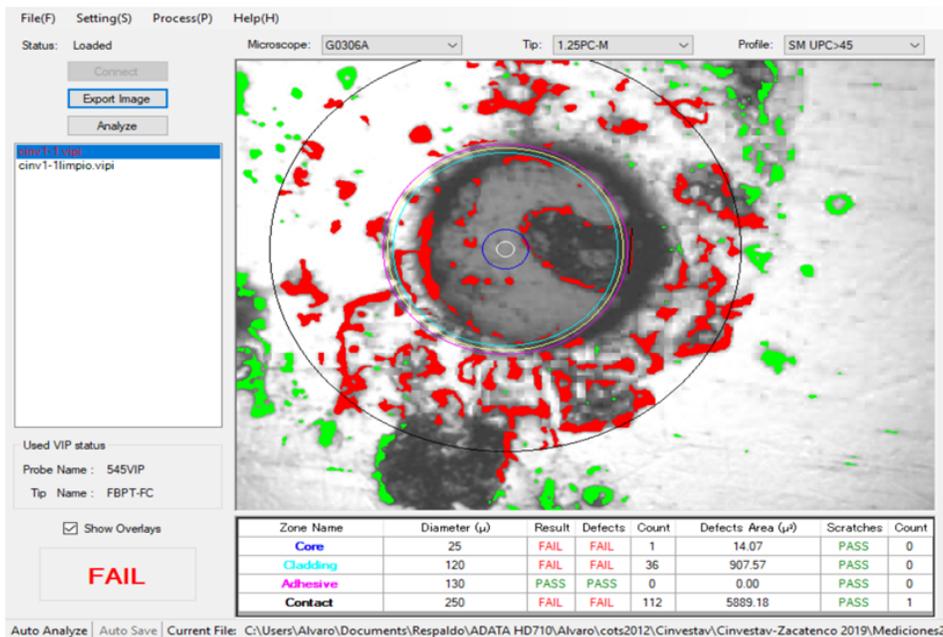


Figura 2.13. Inspección de conectores en Sitio 12.

Al igual que en el sitio 1, en el sitio 12 se observa la misma situación: conectores contaminados. Por esta razón se procedió de la misma manera que en el sitio 1, es decir, se realiza la limpieza de los conectores y se vuelven a analizar. El resultado observado después de la limpieza para cada conector se representa en la *Figura 2.14*.

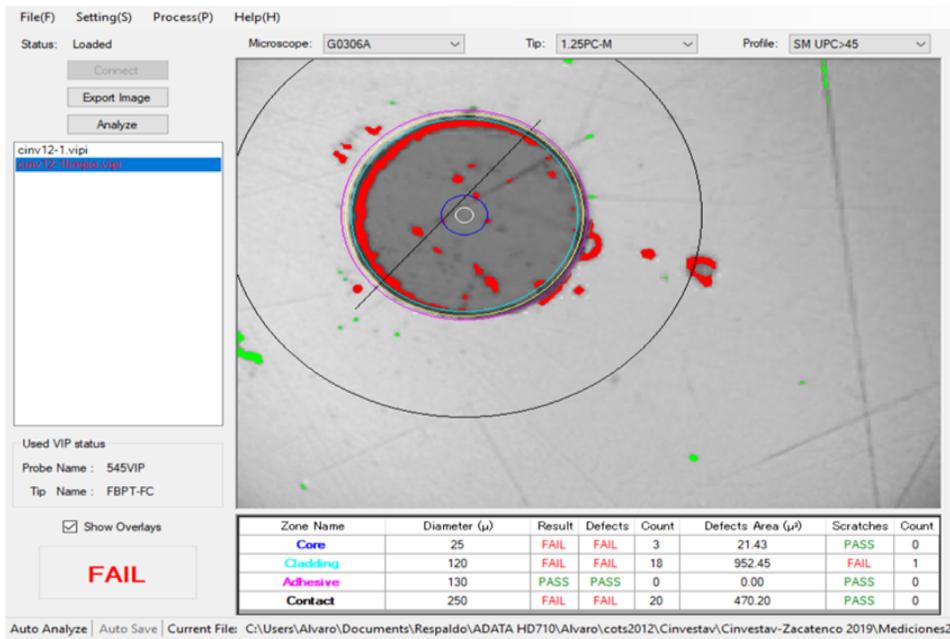


Figura 2.14. Inspección de conectores en Sitio 12 después de la limpieza.

A continuación, se realizó inspección de los conectores en el sitio 25. En la *Figura 2.15*, se muestra el estado general de todos los conectores en este sitio.

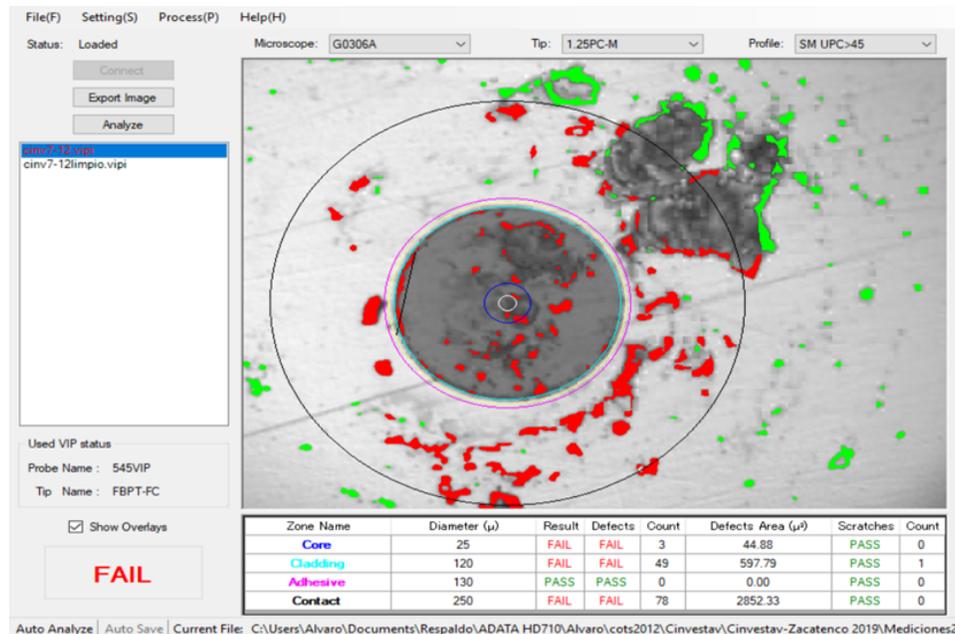


Figura 2.15. Inspección de conectores en Sitio 25.

Al igual que en los casos anteriores, los conectores se encontraban contaminados y se procedió a realizar limpieza de cada uno de ellos. Los resultados observados después de la limpieza se representan de manera general en la *Figura 2.16*.

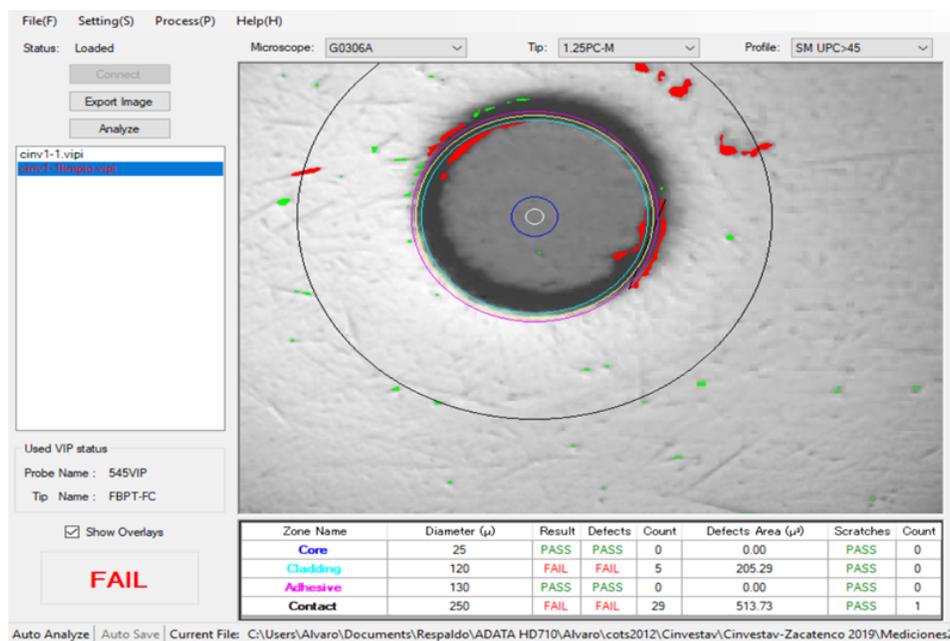


Figura 2.16. Inspección del conector del Sitio 25, después de la limpieza.

Se analizaron 120 conectores en total, distribuidos en los 6 sitios diferentes, donde todos obtuvieron resultados similares, las imágenes mostradas anteriormente ejemplifican el comportamiento de los conectores en general.

2.3 Resultados de la inspección

Dado que los conectores están sujetos a daños invisibles para el ojo humano, la inspección con microscopio resulta imprescindible. En las imágenes anteriores se observa que inicialmente el software utilizado para la inspección de conectores indica “falla”, esto significa que estos se encuentran en mal estado. Al realizar la limpieza de los conectores los resultados fueron los mismos. Por lo tanto, se concluye que los conectores se encuentran dañados y es necesario reemplazarlos.

Los conectores son los elementos clave para la interconexión de una red. De ahí que el conservarlos en buen estado sea un factor crítico, ya que con ello se asegura un rendimiento máximo a toda la instalación y se evitan fallos que pueden resultar significativos.

Reemplazar conectores actuales tipo ST/UPC mecánicos encontrados en los distribuidores ópticos de diversos sitios por conectores LC/UPC por empalme de fusión mejor conocidos como LYNX, será la solución para actualizar los enlaces, ya que los conectores LC cuentan con menores pérdidas por inserción (0.10 dB) que los conectores ST (0.25 dB) y al ser basados en empalme se tiene menor riesgo de realizar mal la conectorización, por lo que se puede garantizar el aprovechamiento máximo de los beneficios de una conexión de fibra óptica.

3. ACTUALIZACIÓN DE LA RED DE FIBRA ÓPTICA

3.1 Estado de la red

Al llegar al área en la que se trabajaría se revisaron las condiciones en las que se encontraban los sitios y se muestran las evidencias en las *Figuras 3.1 a la 3.4*.

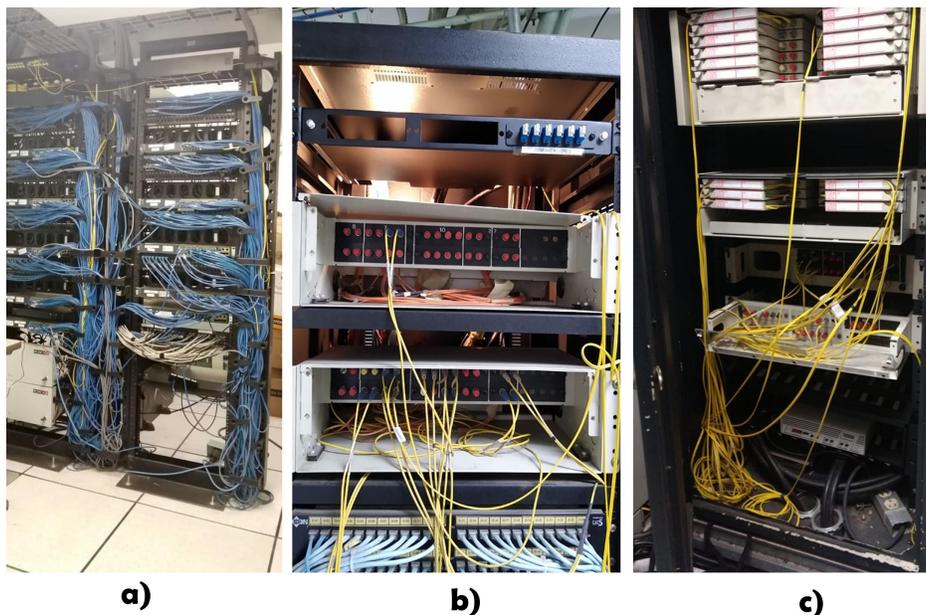


Figura 3.1. Condiciones de los Sitios a) Sitio 1, b) Sitio 9 y c) Sitio 25.

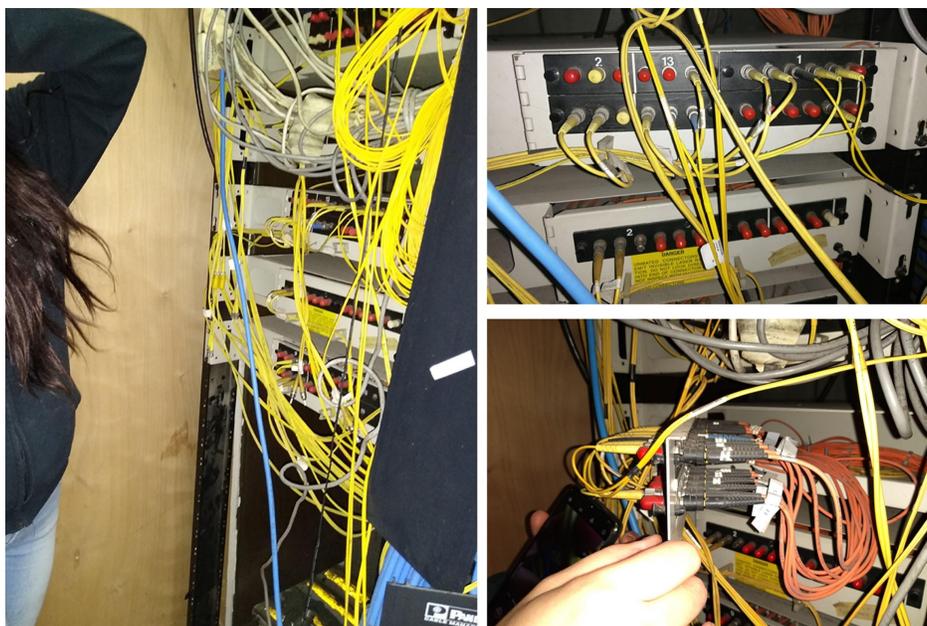


Figura 3.2. Condiciones del Sitio 7.

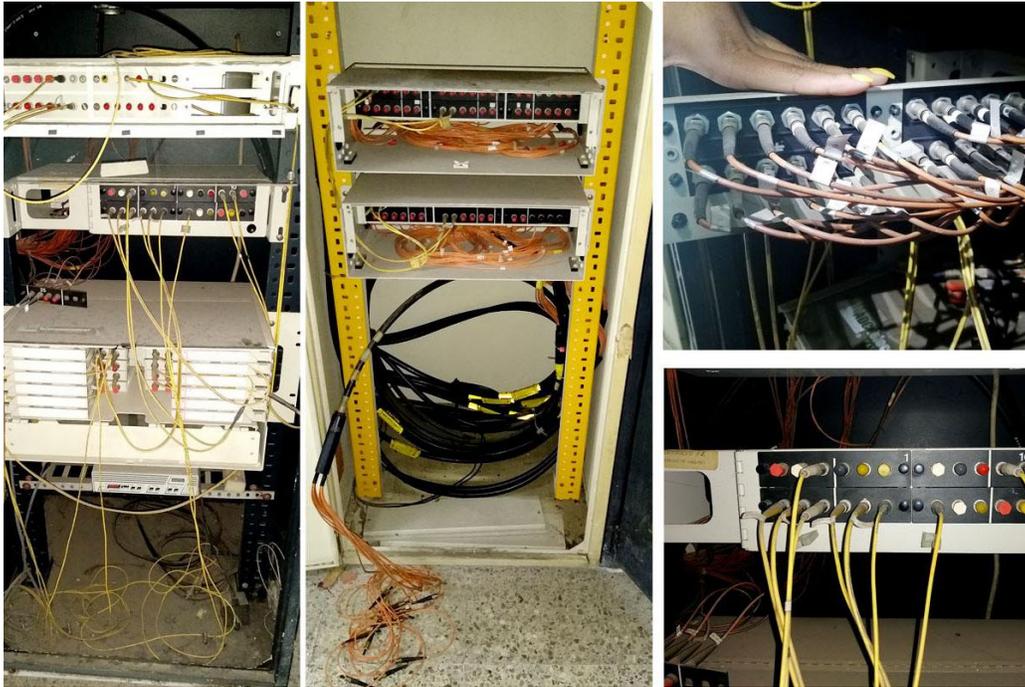


Figura. 3.3. Condiciones del Sitio 12.

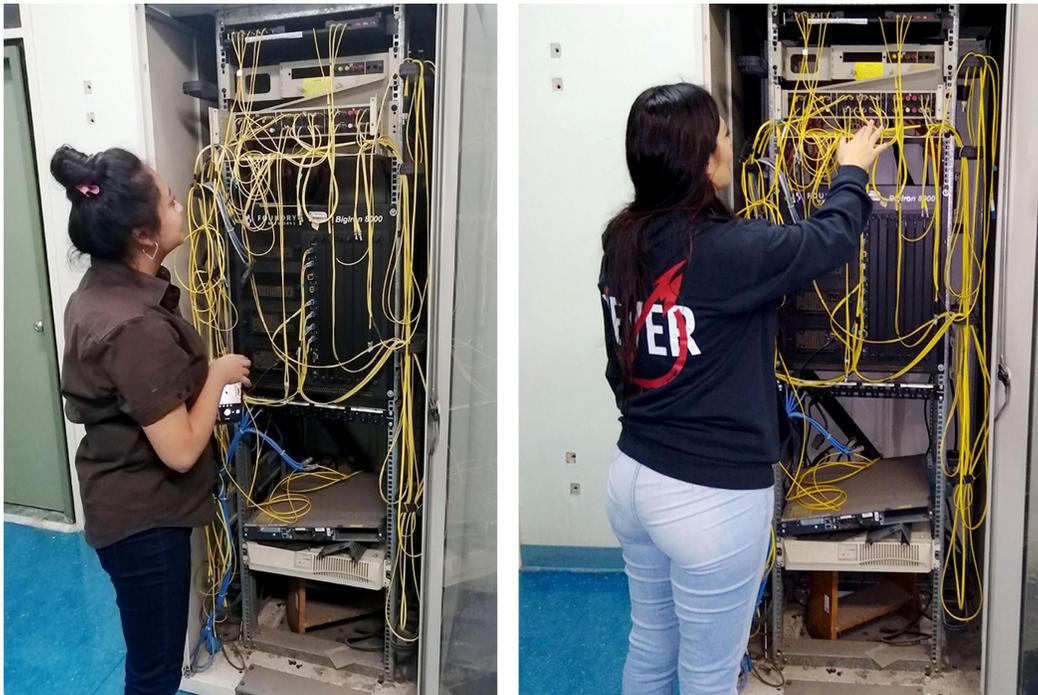


Figura 3.4. Condiciones del Sitio 26.

Como se puede observar en las imágenes anteriores, cada uno de los sitios se encontraba en condiciones poco óptimas para un buen funcionamiento de la red. Entre las principales anomalías que se encontraron al comenzar el proceso de actualización están:

- **Racks sucios.** Demasiado polvo, telarañas y basura en general.
- **Cableado en mal estado.** Se encontró que el cableado proveniente de los pozos era escaso o, por el contrario, era abundante pero contaba los tramos excedentes estaban enredados y cubiertos de grasa, lo cual dificultaba la manipulación de este.
- **Fibra deteriorada.** Al intervenir las cubiertas externas del cableado y llegar hasta la fibra óptica, se encontró que el gel de protección estaba seco o pegajoso, por lo tanto la fibra se vuelve quebradiza y débil. Como consecuencia de esto la manipulación de la fibra se complicó al momento de realizar los empalmes por fusión.
- **Mala distribución de los enlaces.** Mala organización en la conexión de los puertos ubicados en los distribuidores ópticos de cada extremo del enlace, por ejemplo:

Sitio 1 puerto 1-----Sitio 12 puerto 10

Esto significa que el número de puerto conectado en un extremo del enlace no coincide con el número de puerto conectado en el otro extremo. De igual forma, el código internacional de colores no era respetado ni seguía su secuencia, lo cual provocaba confusión de los enlaces activos e inactivos.

- **Conectores.** Se utilizaba tecnología obsoleta y al ser conectores con más de 10 años de operación se encontraban sucios y en mal estado. Por otro lado, los jumpers ubicados tanto en la parte trasera como delantera de los distribuidores ópticos se encontraban enredados y en mal estado, lo que dificultaba localizar hacia dónde se dirigía cada uno.

3.2 Solución original de actualización propuesta

Como primer paso, se realizó la limpieza de cada uno de los racks para poder trabajar en óptimas condiciones. Después, se intentó colocar tapas nuevas en los viejos distribuidores con adaptadores LC/UPC que se encuentran en cada sitio, pero estas no eran del mismo tamaño que las existentes en los distribuidores ópticos, entonces se tomó la decisión de instalar nuevos distribuidores debido a que en tres sitios serían necesarias 2 placas con 12 puertos cada uno.

Para la correcta instalación de los nuevos distribuidores ópticos, contamos con la ayuda de una cuadrilla especializada de técnicos, así como la autorización previa del personal encargado de la red de fibra óptica del Centro de Investigaciones.

En la *Figura 3.5.* se muestra la diferencia de tamaño entre las nuevas tapas y el espacio en los viejos distribuidores ópticos, así como la ayuda brindada por la cuadrilla especializada para la colocación de los nuevos distribuidores. En la *Figura 3.6.* se pueden ver los distribuidores ya instalados en algunos sitios.

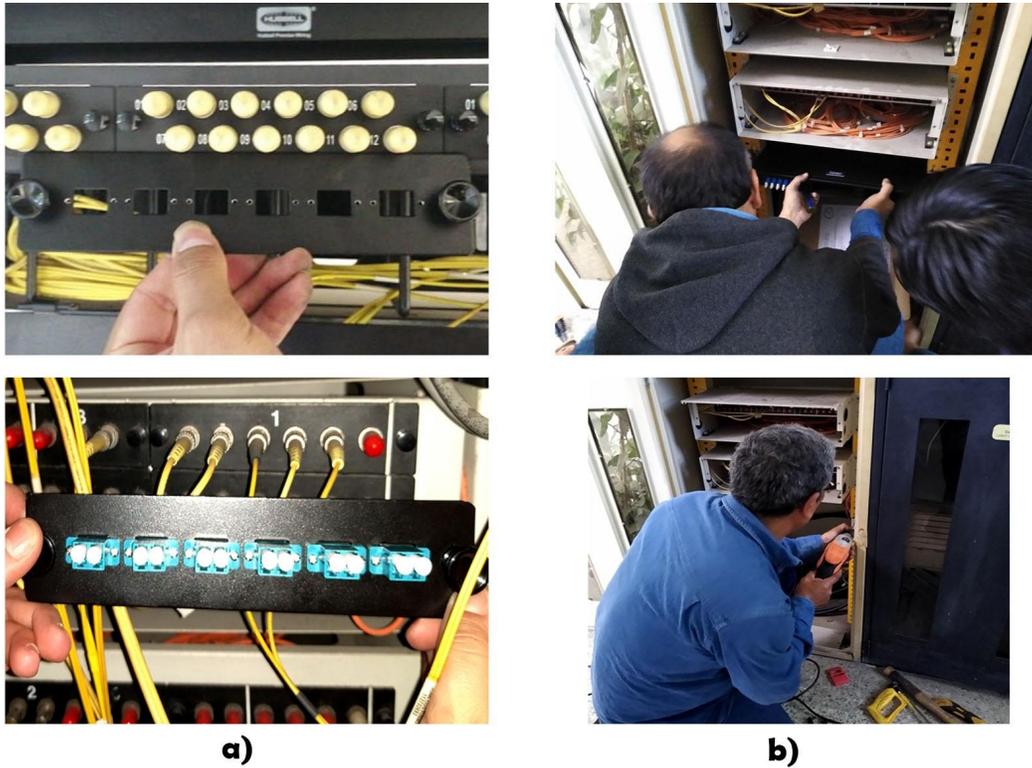


Figura 3.5. a) Tapa propuesta inicialmente, b) Instalación de distribuidor óptico nuevo.

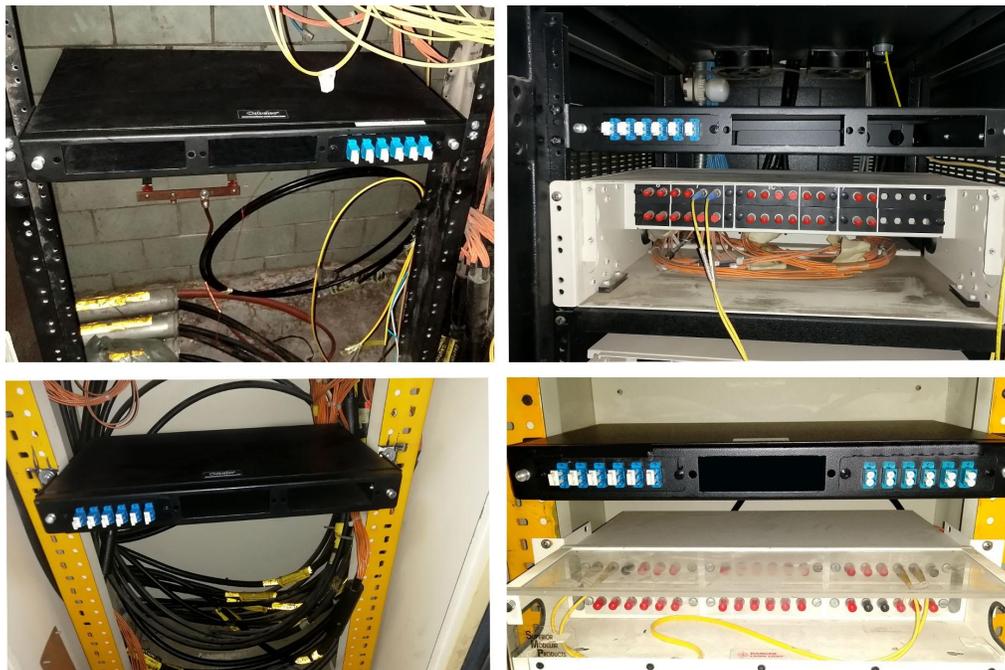


Figura 3.6. Distribuidores nuevos colocados en diferentes sitios.

Posteriormente, se planteó realizar un corte transversal en el cable de fibra óptica existente que va al distribuidor en cada sitio y de ahí redireccionar 6 cables de dicha fibra con conectores LYNX hacia tapas nuevas colocadas en dichos distribuidores. Esto se ilustra en la *Figura 3.7*.

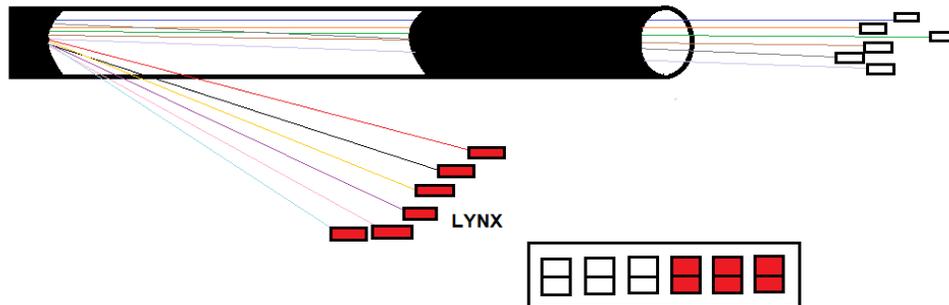


Figura 3.7. Intervención de la fibra con corte transversal y extracción de 6 hilos para su actualización.

Al comenzar el proyecto, se decidió comenzar la actualización por el enlace que va del sitio 1 al sitio 12. *La Figura 3.8*. muestra los cortes transversales realizados a las cubiertas externas del cable de fibra óptica.

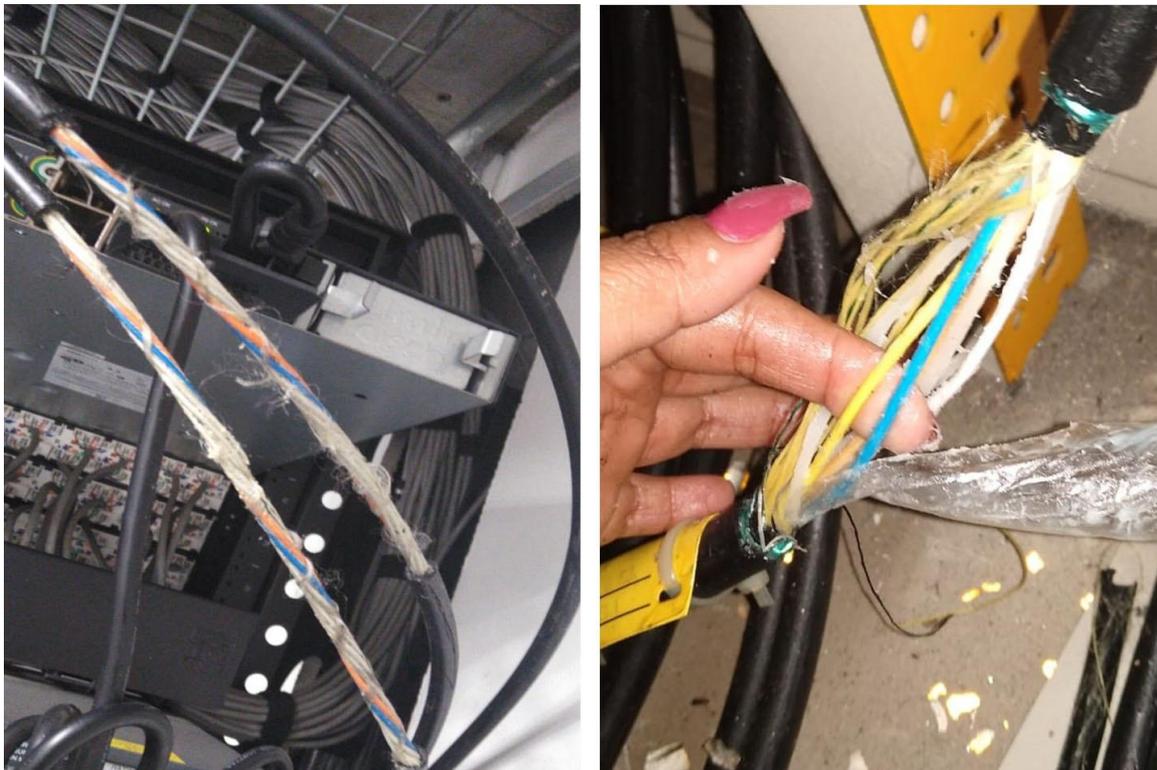


Figura 3.8. Corte transversal realizado en los cables de fibra óptica del sitio 1 y 12.

Al realizar este proceso de corte, se encontraron tres de las anomalías mencionadas anteriormente, las cuales son:

- **Cableado en mal estado.** La armadura de la fibra estaba adherida tanto al jacket interno como al externo, esto como consecuencia del estado pegajoso del gel protector, lo que hizo imposible no dañar la fibra al momento de realizar el corte.
- **Fibra deteriorada.** Al manipular cada buffer el gel los hacía resbaladizos cada uno de ellos, provocando problemas al momento de querer extraer los hilos.
- **Mala distribución de los enlaces.** Con ayuda del VFL, se trató de localizar enlaces activos e inactivos para que en estos últimos se procediera a la actualización de la red. Sin embargo, se observó que los hilos activos estaban distribuidos al azar sin seguir un código de colores en los hilos, en el buffer, ni en la numeración de los puertos, por esto llegamos a la conclusión de que intervenir los buffer de esta manera causaría muchos problemas como la interrupción de los servicios en los enlaces activos, además de rupturas no deseadas en la fibra. Adicional a esto, el código de colores del cable en unos sitios estaba regido por el Código Telmex y en otros por el código internacional.

Al observar lo anterior, se tomó la decisión de revisar cada uno de los sitios encontrando que presentaban las mismas anomalías. Por esta razón, se tuvo la necesidad de implementar otra solución.

3.3 Solución final de actualización propuesta

Una vez instalados los nuevos distribuidores ópticos, se decidió replantear la solución para la actualización de la red:

- Solicitar ventanas de mantenimiento a los responsables de cada sitio en el centro de investigaciones para poder manipular de manera más fácil los enlaces.
- Entrar a los pozos donde se encuentran los tramos excedentes de fibra óptica y soltar las vueltas necesarias que pudieran permitir tener una mayor cantidad de cable. Esto con el fin de evitar limitaciones al empalmar, ya que teniendo solo unos cuantos centímetros de fibra se dificulta esta acción.
- Agregar de 3 a 4 metros de fibra nueva por enlace a la cual irían empalmados los conectores LYNX, los cuales sustituirán a los conectores ST/UPC.
- Agregar cajas de empalme que permitan tener una mejor organización de los empalmes y con ello una mayor protección a los mismos.

Solicitud de ventanas de mantenimiento.

Para comenzar, se observó que era complicado realizar la manipulación de la fibra en general, desde el proceso de pelado, corte y empalme de la fibra. Esto como consecuencia de las condiciones de los sitios, es decir, tamaño y posición de los racks, espacios reducidos, poca cantidad de fibra proveniente del pozo en cada enlace, mala distribución de los enlaces y la falta de iluminación de los sitios.

En la *Figura 3.9.* se observa el tamaño del cable de fibra óptica proveniente del pozo y que iría al distribuidor, al ser tan corto impide que los empalmes se realicen correctamente y la fibra se troce dejando aún más cortos los hilos y retrasando más el trabajo. En la *Figura 3.10.* se puede observar que dicho tamaño tan pequeño del cable complica el trabajo de empalme.

Por todo lo anterior, como primer paso se solicitó la apertura de ventanas de mantenimiento, ya que al manipular con dificultades la fibra como lo fue, en primera instancia, los tramos cortos de fibra, la falta de iluminación, los racks pequeños y lo pegajoso del jacket, era imposible causar interrupciones en la operación del Centro de Investigación. Dichas ventanas fueron autorizadas por el personal responsable de cada sitio, lo cual proporcionó mejores condiciones para trabajar.



3.9. Fibra escasa proveniente del pozo.

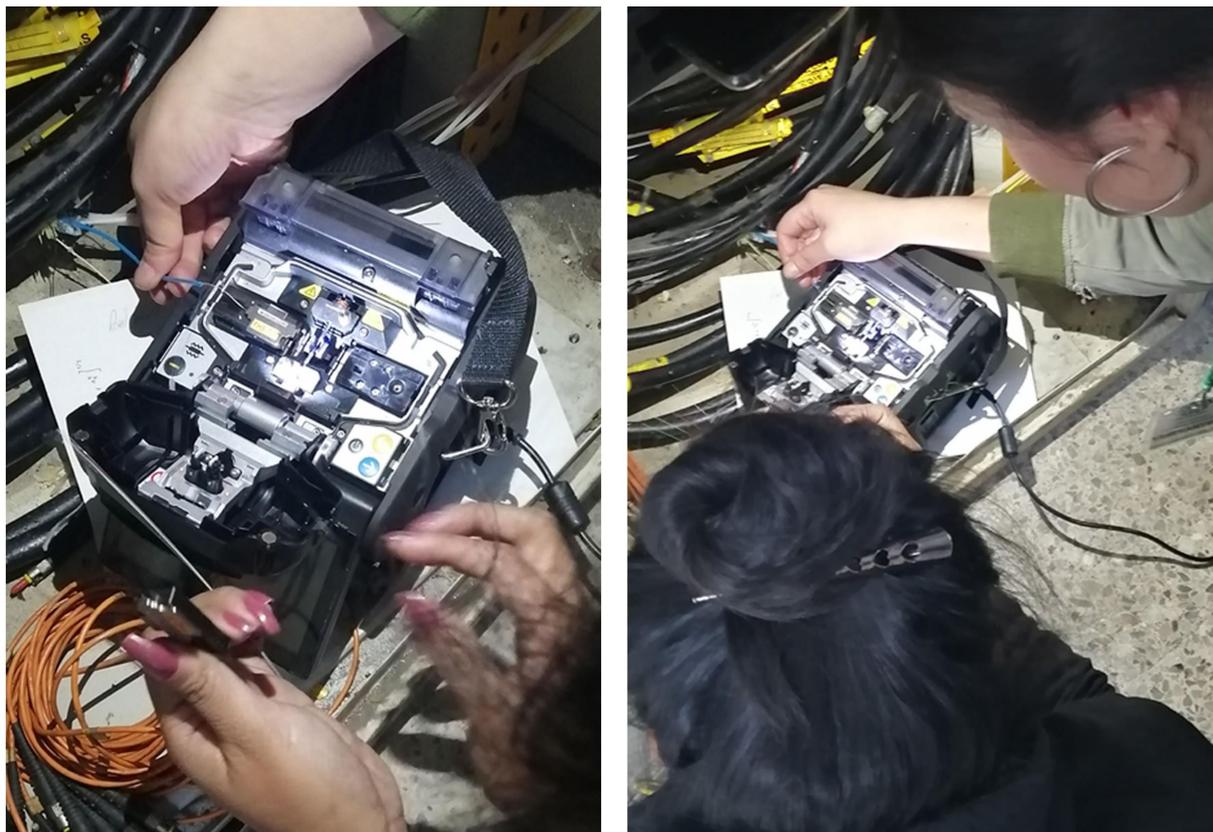


Figura 3.10. Dificultad para empalmar con fibra escasa y racks reducidos.

Inserción a registros de cada sitio.

Una vez teniendo libertad de manipular los enlaces a conveniencia y tomando en cuenta las dificultades para empalmar la fibra proveniente del pozo dado que ésta estaba muy corta, el segundo paso fue abrir los pozos que contienen los tramos excedentes de fibra y entre todos ellos buscar el enlace de interés. Ya localizado el cable, de ser posible, se soltaban las vueltas necesarias o las vueltas que permitiera el excedente para poder tener mayor longitud en el cable de fibra inmersa a empalmar.

En este punto fue de suma importancia obtener nuevamente la ayuda de una cuadrilla técnica especializada, ya que al contar con técnicos especialistas en planta externa los tiempos en los procesos se ven reducidos notablemente y se logra evitar daños a terceros. Este proceso no fue necesario en todos los sitios, ya que en algunos casos los tramos excedentes de fibra se encontraban dentro del mismo rack y no dentro de los registros. En la *Figura 3.11. a)* se muestra a uno de los integrantes de la cuadrilla técnica dentro del pozo para realizar la búsqueda del enlace a trabajar, así como para desenrollar una vuelta del tramo excedente de fibra en el mismo enlace.

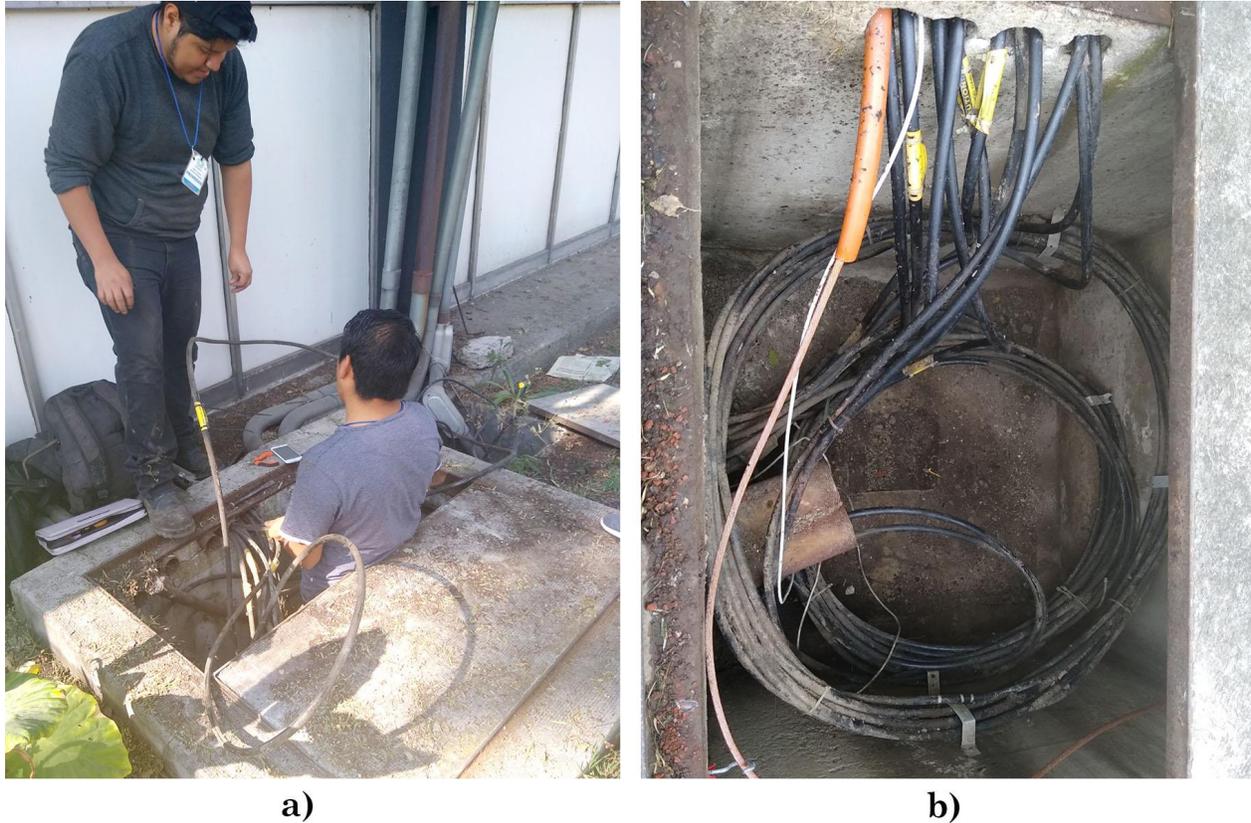


Figura 3.11. a) Equipo de trabajo dentro del pozo del sitio 12 y b) Pozo en sitio 7.

Como se observa en la *Figura 3.11. b)*, los registros contaban con al menos 12 cables provenientes de diferentes sitios, por lo que se tenía que localizar el cable de interés para así lograr soltar algunas vueltas del tramo excedente y poder trabajar sobre un cable de mayor longitud proveniente del pozo. Sin embargo, esto no fue posible en todos los sitios, ya que algunos no contaban con este tramo excedente, en este caso la solución solo fue estirar un poco más el cable para así ganar de 20 a 30 cm aproximadamente. Afortunadamente este caso solo se dio en un extremo de un solo enlace (Sitio 12, enlace 1-12).

Adición de tramos de cable de fibra nueva.

Como tercer paso, se procedió a añadir aproximadamente 1 metro de fibra óptica de 12 hilos por cada uno de los enlaces que se tienen en el proyecto. La finalidad de realizar este paso es contar con una extensión de la fibra inmersa, ya que, aún cuando se soltaron algunas vueltas de los tramos excedentes, la fibra seguía siendo escasa. Se comenzó el proceso de empalme en el enlace que va del sitio 1 al sitio 12. Dichos empalmes se realizaron como se muestra en la *Figura 3.12.*

Fibra inmersa - aproximadamente 1 metro de fibra adicional - LYNX

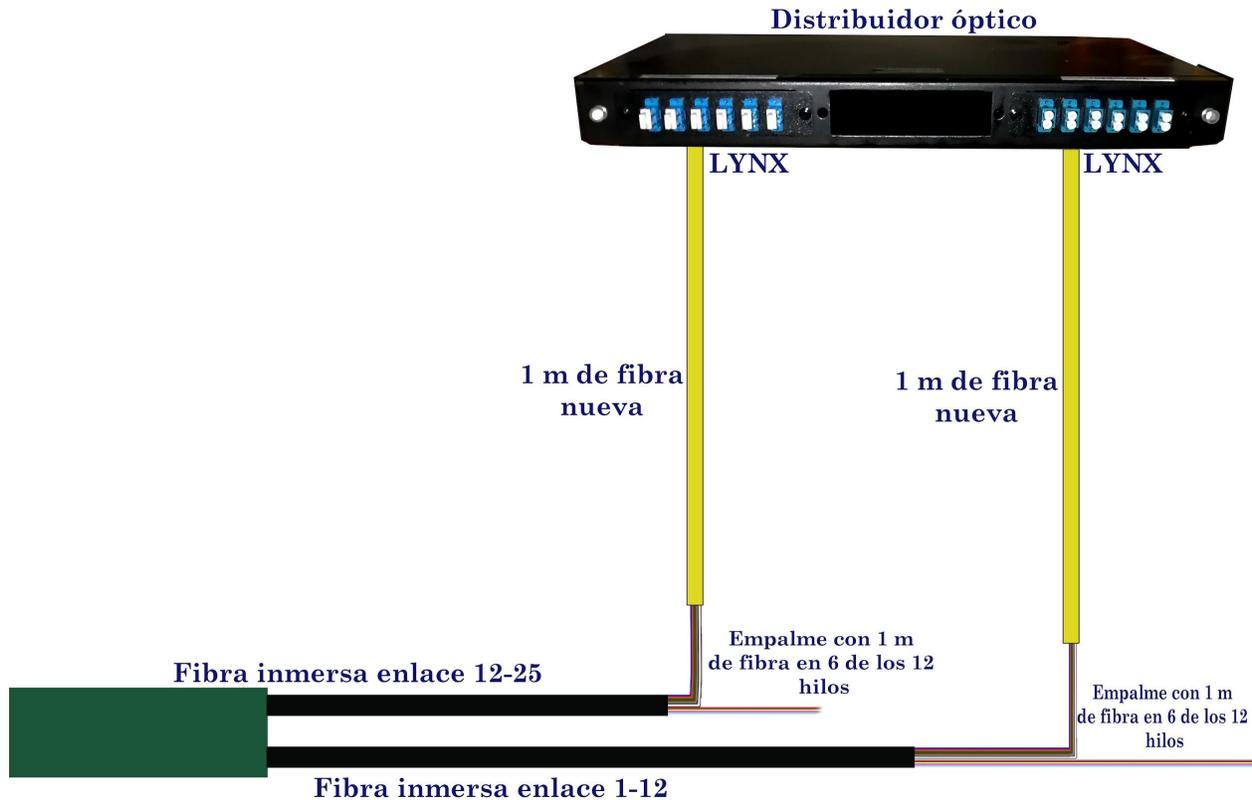


Figura 3.12. Adición de 1 m de cable de fibra óptica.

El agregar 1 metro de fibra permitió hacer llegar la fibra proveniente del pozo hasta el distribuidor. Esto se realizó en 6 de los 12 hilos del enlace, pero nuevamente se encontraron desventajas en el proceso realizado:

- Los tramos de fibra adicional eran muy cortos por lo que estos se tensaban, ocasionando ruptura y que los conectores LYNX se desperdiciaran, pues al ser conectores basados en empalme por fusión, no hay forma de reutilizarlos.
- Los empalmes que conectaban la fibra inmersa con la fibra adicional quedaban expuestos, pues a pesar de contar con la manga termocontráctil de protección, la fibra fuera de ella tendía a romperse. En la *Figura 3.13.* se muestra dicha problemática.

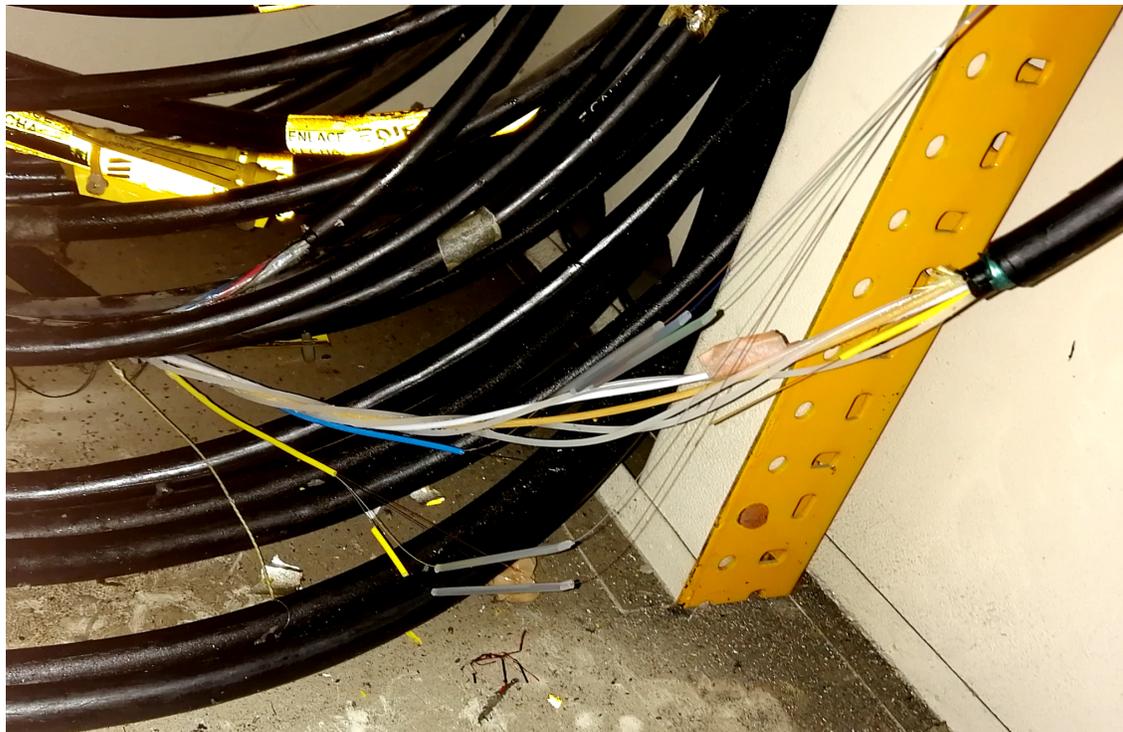


Figura 3.13. Empalmes expuestos.

Por estas razones, hubo una modificación en la solución. Esta solución consistía en aumentar la longitud de fibra adicional, llevándola de 1 metro a 4 metros, lo que proporcionó mayor libertad al momento de empalmar tanto los conectores LYNX como la fibra inmersa. Se procedió a conseguir los 4 metros de fibra óptica de 12 hilos por cada uno de los enlaces que se tienen en el proyecto. Al ser 5 enlaces en total, se requirieron aproximadamente 20 metros de fibra óptica totalmente nueva.

Colocación de cajas de empalme.

Para solucionar el problema de fibra y empalmes expuestos, se decidió colocar cajas de empalme que darían mejor distribución y apariencia física a los enlaces, así como mayor protección y confiabilidad a los mismos.

Las cajas de empalme utilizadas cuentan con 2 charolas con capacidad de 12 empalmes cada una, por lo tanto, la capacidad total de las cajas es de 24 empalmes. Esto resulta benéfico para su implementación ya que en cada sitio contamos con máximo 2 enlaces de 12 hilos cada uno, con esto se podía utilizar una charola por enlace y de esta forma solo fue necesario utilizar una caja de empalme por sitio. De la *Figura 3.14.* a la *Figura 3.16.* se muestra el proceso de instalación de dichas cajas de empalme en algunos de los sitios.

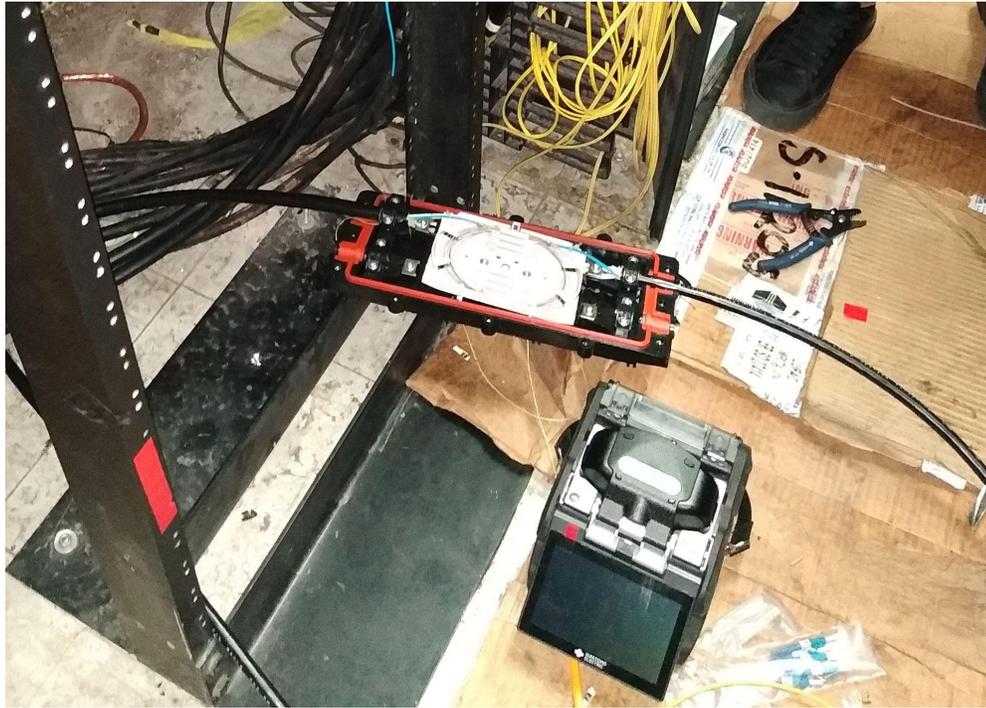


Figura 3.14. Instalación de caja de empalme sitio 7.



Figura 3.15. Instalación de caja de empalme sitio 12.



Figura 3.16. Instalación de caja de empalme sitio 25.

La colocación de cajas de empalme fue de gran ayuda para que posteriormente se pudieran colocar los conectores LYNX en las cajas de distribución, ya que nuestros tramos de fibra provenientes del pozo se encontraban seguros y estables, lo cual facilita su manipulación y permite contar con mayor movilidad y confiabilidad a la hora de realizar la parte final del proyecto.

3.4 Armado de conectores ópticos y elementos actualizados

Para instalar los conectores Lynx es necesario primero hacer el armado de los mismos, después empalmarlos al cable de fibra adicional y finalmente colocarlos en los distribuidores siguiendo el código internacional de colores.

Para mayor seguridad y confiabilidad en los enlaces, se llevó un orden correcto en la numeración de los puertos de cada distribuidor, así como la correcta señalización de cada tapa conectorizada con su enlace correspondiente.

3.4.1 Armado de Lynx2

A continuación, se describe el procedimiento que se utilizó para el armado de los conectores Lynx2. En la *Figura 3.17.* se muestran los componentes que conforman el paquete del conector Lynx2, mientras que en la *Figura 3.18.* se muestra una parte del proceso de armado.

Nota 1: Los elementos o piezas mencionados en este procedimiento viene en el paquete del Lynx CustomFit™ Splice-On Connector. [29]

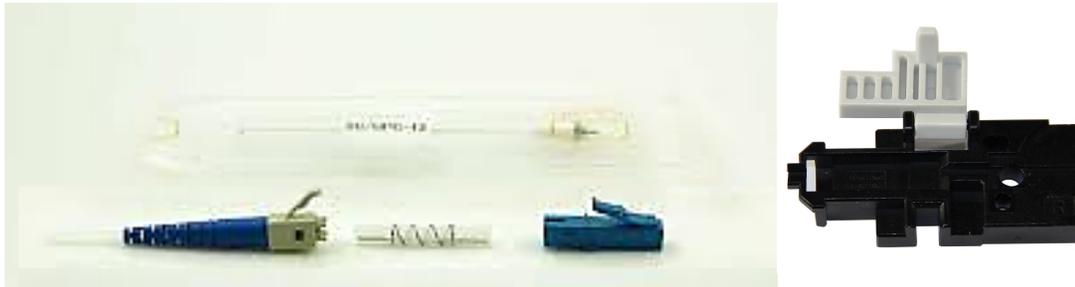


Figura 3.17. (izquierda) Componentes del conector basado en empalme de fusión. [30]

(derecha) Soporte Lynx para empalmadora. [31]

Nota 2: Realizar prueba de arco en la empalmadora de fusión antes de comenzar a armar los conectores ópticos basados en fusión.

Insertar la bota y después la manga en el cable de fibra adicional.

1. Desnudar la fibra utilizando la pinza “stripper” retirando el coating y dejando expuesta sólo la fibra, limpiarla con toallitas especiales humedecidas con alcohol isopropílico para retirar los restos de coating que pudieron haber quedado.
2. Una vez lista la fibra, colocarla en un sujetador FSH-025 para poder realizar el corte, teniendo en cuenta que el coating debe de quedar al borde de dicho sujetador para poder cortarla adecuadamente.
3. Insertar el sujetador en la cortadora de un solo paso, es necesario asegurarse que este haga un pequeño “clic” al momento de colocarlo, después se debe recorrer la navaja y cerrar la cortadora.
4. Una vez realizado el corte, sacar el sujetador con todo y fibra de la cortadora y ponerlo en la empalmadora cuidando no golpear la fibra previamente cortada, hasta este paso se tiene completada solo una parte de nuestro conector.

Nota 3: Configurar la empalmadora en modo Lynx que permitirá empalmar las fibras y hornear las mangas con ciertas características.

5. Para la siguiente parte del armado del conector se hará uso del sujetador que viene incluido en el paquete de los conectores Lynx, en él se colocará la férula que se deberá sacar de su empaque con mucho cuidado, poniendo especial atención de que esta no choque con su empaque, es por ello que se debe sujetar la parte más ancha e ir desprendiendo la cubierta plástica lentamente.

6. Una vez fuera de su empaque, colocar la férula en el sujetador y bajar la tapa esperando escuchar un pequeño “clic”, seguido de esto se colocará en el otro extremo de la empalmadora y se deberá cerrar la tapa para comenzar el proceso de empalme.
7. Realizado el empalme, verificar en la pantalla de la empalmadora que las pérdidas obtenidas estén dentro de los estándares para así proceder a realizar la prueba de resistencia de tracción que realiza la empalmadora. Finalmente, liberamos nuestro empalme de los sujetadores con mucho cuidado.
8. Ahora, deslizar la manga de protección previamente colocada hasta que entre y toque con la parte metálica de la férula, cuidando que esta no se mueva se colocará en el horno y se dará inicio al proceso de horneado. Esperar hasta que la empalmadora, mediante un sonido, avise que la manga está lista.
9. Para terminar el armado del conector, retirar del horno el empalme y recorrer la bota haciendo que la manga quede dentro de ella. Por el otro extremo de la férula, introducir la cubierta plástica exterior, cuya muesca debe coincidir con la de la bota y estas deben de hacer “clic” para saber que el conector está listo. Finalmente, retirar el sobrante plástico de la férula el cual proporcionará una tapa que protege el conector.

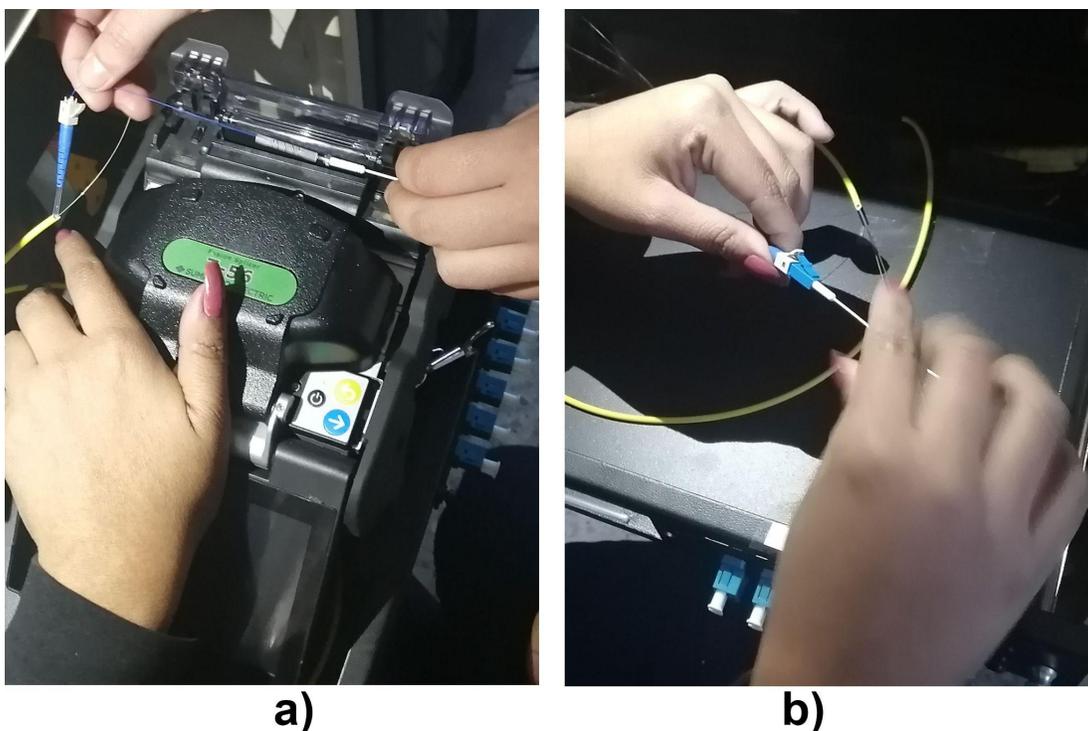


Figura 3.18. Armado de conectores Lynx. a) Horneado de manga termocontráctil.

b) Colocación de férula.

3.4.2 Organización de distribuidores

El agregar los metros de fibra nueva y de fibra establecida en cada sitio permitió hacer los empalmes de una manera más rápida y con un rango de error más accesible ya que es incierto si ésta pueda llegar a romperse. Con esta solución se lograron instalar en todos los sitios los conectores Lynx necesarios.

Al migrar los enlaces a las tapas conectorizadas de otros sitios se ahorró tiempo ya que no se tenía que estar evitando no romper aquellos que tenían datos. Por lo tanto, al finalizar el proyecto y gracias a la solución implementada, ya se cuenta con enlaces que alcanzan velocidades de 10 Gbps, sin dejar de lado la seguridad que se brinda en todos los enlaces al haber colocado cajas de empalme y adicional, la estética y buena imagen en cada uno de los racks .

De la *Figura 3.19.* a la *Figura 3.23.* se observa el trabajo terminado en cada sitio, exceptuando solamente el sitio 26, en el cual se restringió el acceso por motivo de vacaciones del personal responsable del área. En la mayoría de casos, en los incisos a) de cada Figura se observa el rack con su respectiva caja de empalme y distribuidor óptico, mientras que en los incisos b) se puede observar el interior de cada distribuidor con los conectores Lynx.

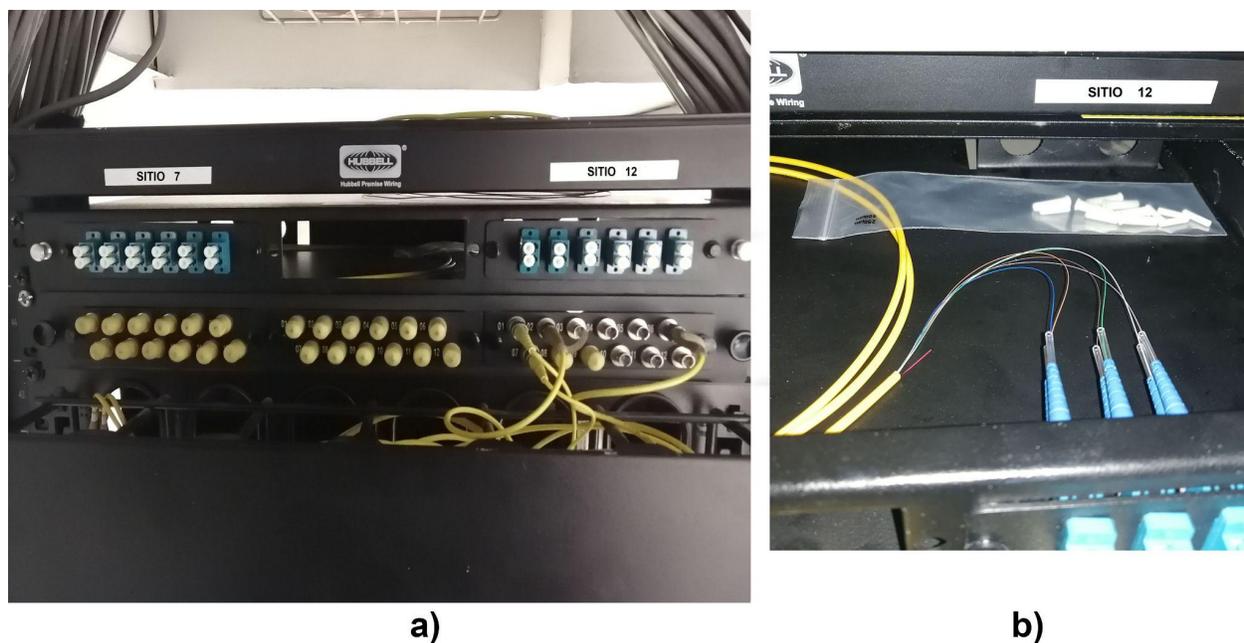
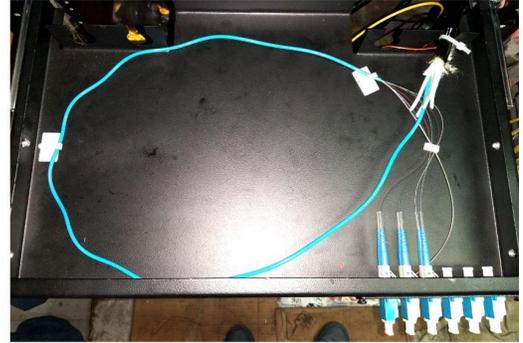


Figura 3.19. Sitio 1 terminado. a) Distribuidor óptico conectorizado.

b) Interior de distribuidor óptico.



a)

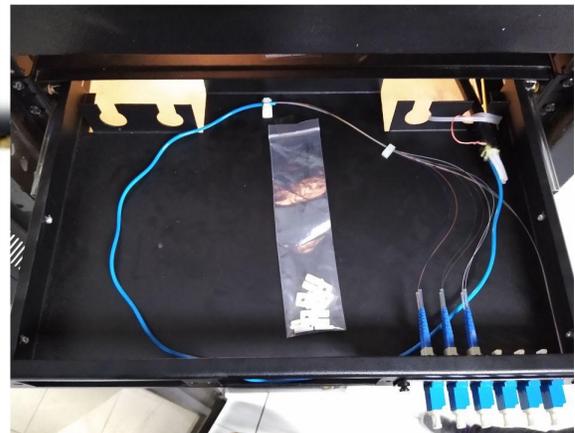


b)

Figura 3.20. Sitio 7 terminado. a) Rack con distribuidor óptico conectorizado y caja de empalme. b) Interior de distribuidor óptico conectorizado.



a)



b)

Figura 3.21. Sitio 9 terminado. a) Rack con distribuidor óptico conectorizado. b) Interior de distribuidor óptico conectorizado.

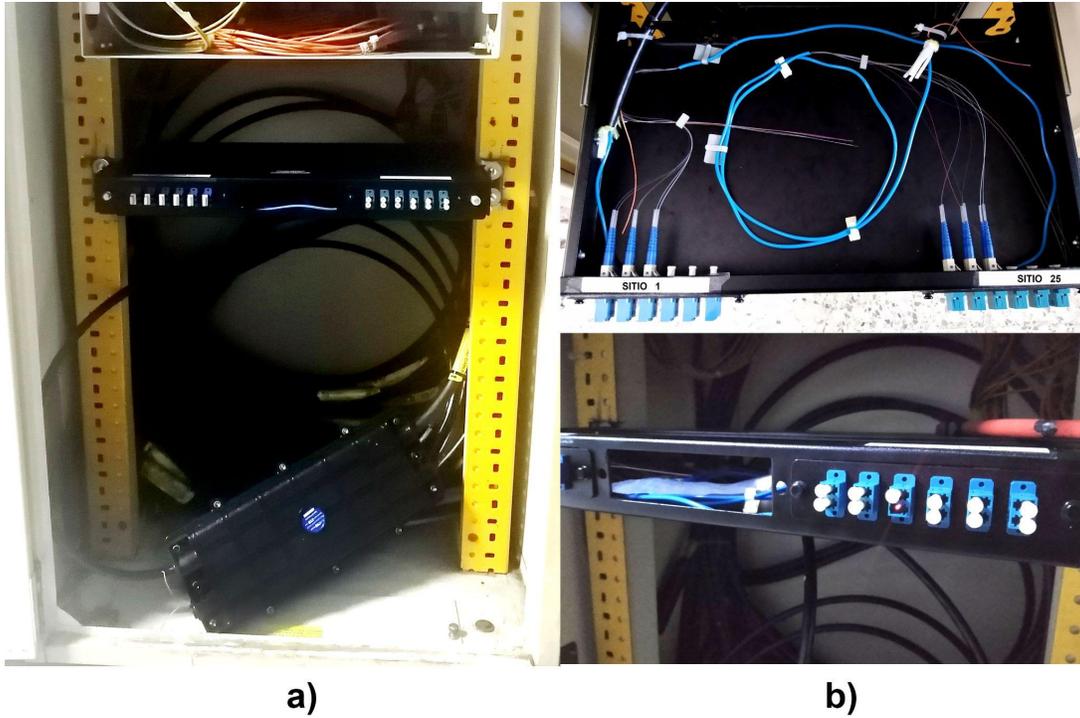


Figura 3.22. Sitio 12 terminado. a) Rack con distribuidor óptico conectorizado y caja de empalme. b) Interior de distribuidor óptico conectorizado.

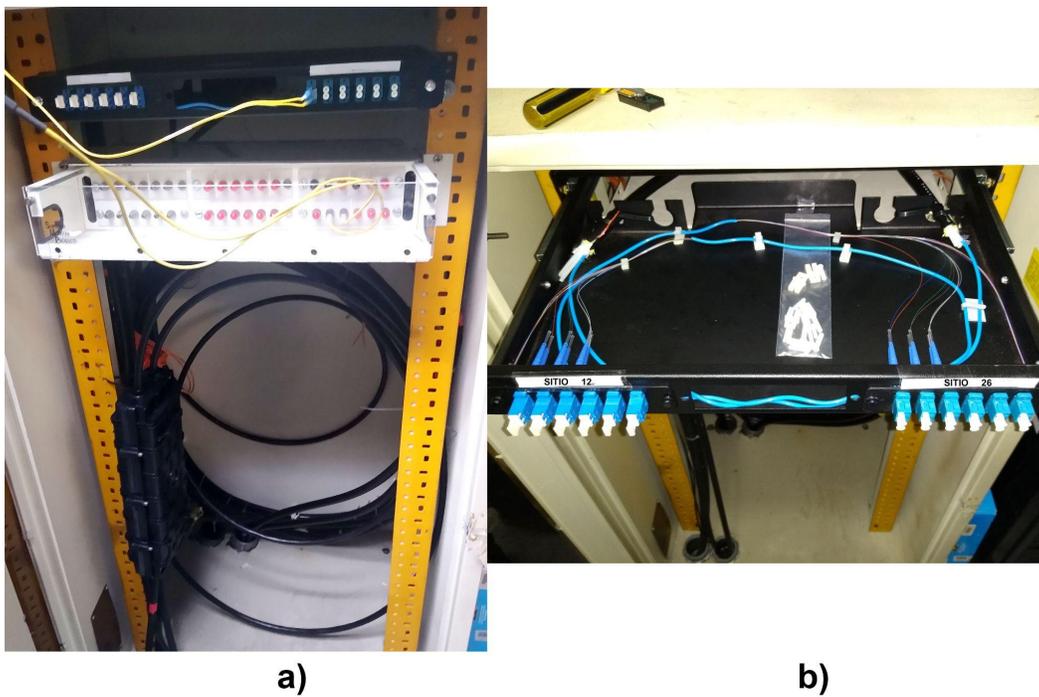


Figura 3.23. Sitio 25 terminado. a) Rack con distribuidor óptico conectorizado y caja de empalme. b) Interior de distribuidor óptico conectorizado.

En la *Figura 3.24.* se muestra un comparativo del antes y el después del sitio 12. Al haber sido este el primer sitio en el que se trabajó fue también el más difícil a falta de experiencia. Cabe mencionar que, en este sitio se encontró el mayor número de fallas mencionadas a lo largo del presente trabajo, por lo cual fue el sitio que sirvió como prueba y error para las soluciones propuestas que durante el proceso de mantenimiento, fueron cambiando a medida de los requerimientos y necesidades del sitio 12.

A pesar de todas las dificultades presentadas en este sitio, al final se obtuvieron los resultados esperados ya que los 2 enlaces en dicho sitio (hacia sitio 1 y hacia sitio 25) actualmente cuentan con velocidades de 10 Gbps.

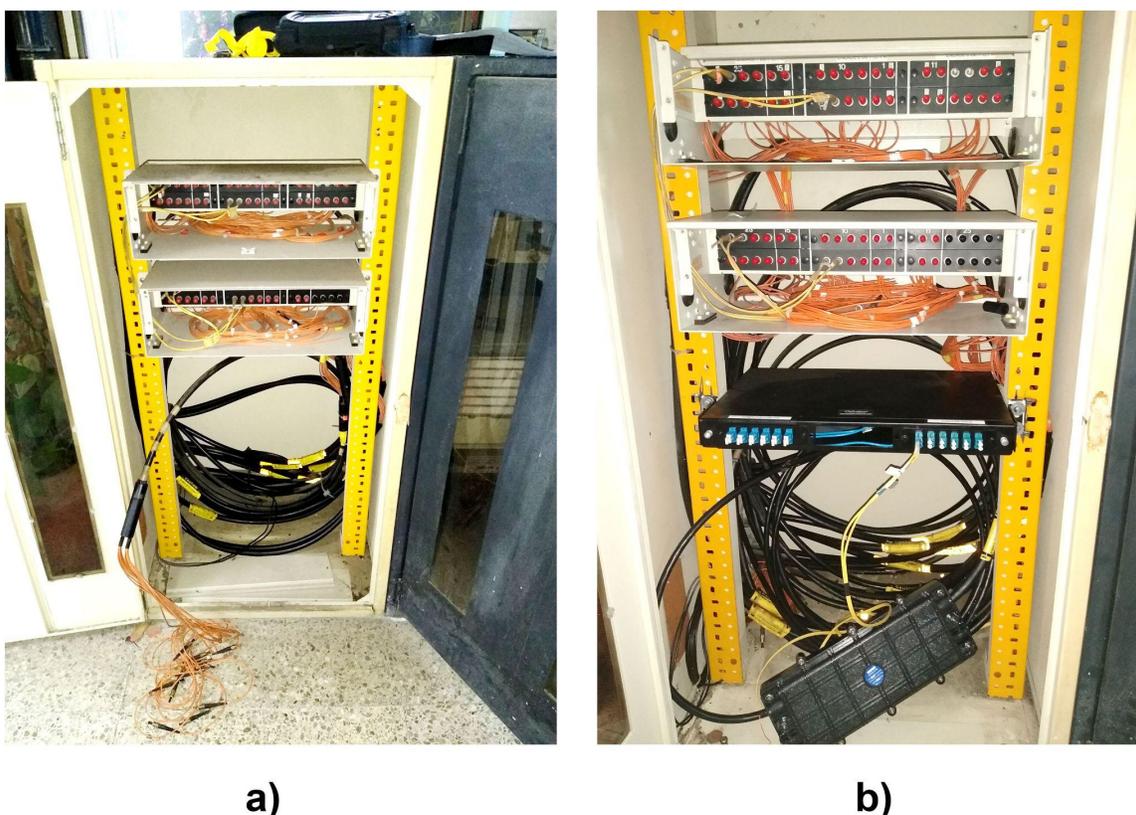


Figura 3.24. Comparativo sitio 12. a) Antes b) Después.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, se utilizó el código Internacional de colores conforme a la norma *TIA/EIA-598* [32] en todos los enlaces, tanto para la parte de las cajas de empalme como para la organización de los conectores en los distribuidores ópticos. Esto pudo ser posible gracias a que se tenían 12 fibras por enlace, que es la misma cantidad de colores que integran el código, la misma cantidad de espacios disponibles en las charolas de las cajas de empalme y la misma cantidad en los espacios disponibles para conectorización en las tapas de los distribuidores. En la *Figura 3.25.* se ilustra dicho código.

Posición	Color
1	Azul
2	Naranja
3	Verde
4	Café
5	Gris
6	Blanco
7	Rojo
8	Negro
9	Amarillo
10	Morado
11	Rosa
12	Aqua

Figura 3.25 Código de colores conforme la norma TIA/EIA-598.

Dado el orden del código de color, el acomodo de fibras en las charolas de las cajas de empalme fue el mostrado en la Figura 3.26.

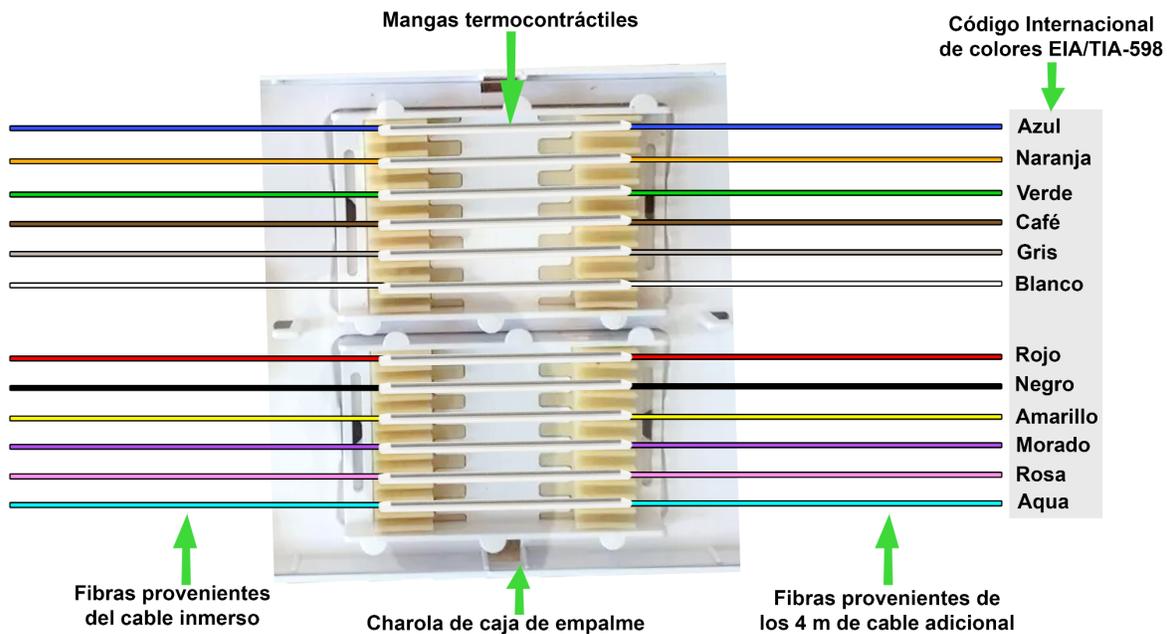


Figura 3.26. Acomodo de fibras en charola de caja de empalme conforme a código de color.

Al igual que en el caso de las charolas en las cajas de empalme utilizadas para este proyecto, el código de color fue de gran ayuda para la organización de los conectores en los espacios asignados para la conectorización en las tapas de los distribuidores ópticos. En la *Figura 3.27*. se ilustra dicha organización.

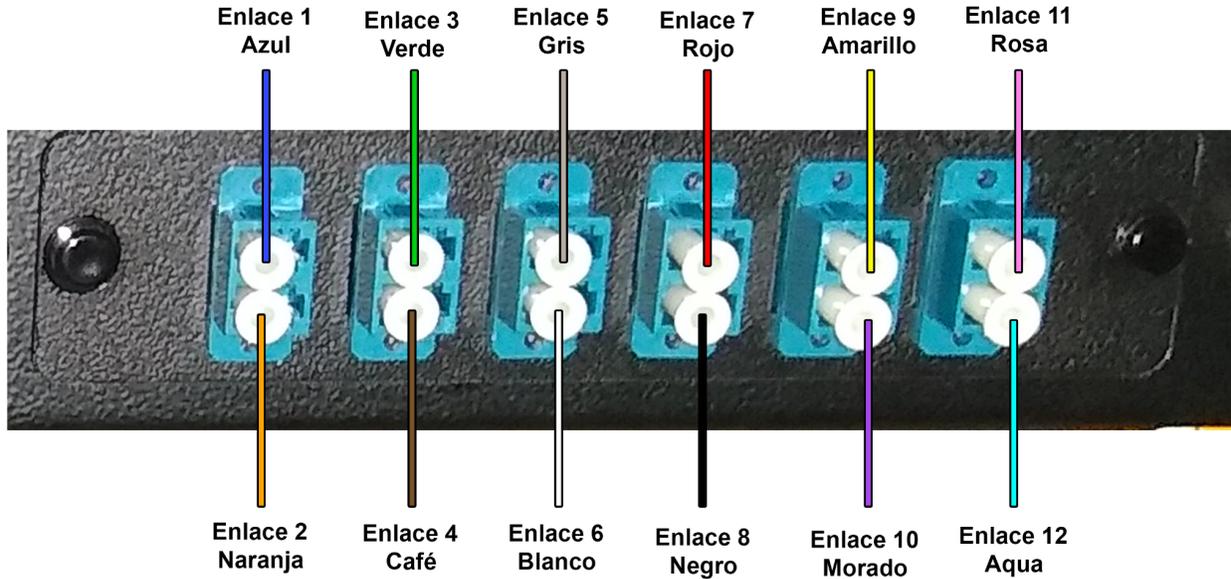


Figura 3.27. Organización de conectores en tapas del distribuidor conforme a código de color.

Al utilizar el mismo orden en todos los enlaces de todos los sitios a los cuales se les dio mantenimiento, se asegura un mejor manejo de la red ya que, al contar con fallas en futuros casos se puede acceder directamente al enlace de interés lo cual facilita de sobremana la labor para su mantenimiento o reparación sin sacrificar tener que sacrificar tiempo de servicio en los demás enlaces.

4. CONCLUSIONES

Las mediciones que se realizaron en los enlaces son el punto de partida para la toma de decisiones, por lo que es muy importante que estas mediciones sean confiables. Para garantizar esta confiabilidad se requieren varios aspectos, entre los más importantes:

- 1) que los equipos de medición utilizados sean los adecuados en cuanto a método de medición, alcance e incertidumbre.
- 2) que los equipos de medición estén calibrados y sus mediciones sean trazables a patrones nacionales mantenidos por CENAM.
- 3) que los operadores de los equipos de medición tengan la capacitación adecuada en tecnología y mediciones.
- 4) que los procedimientos de medición sean estandarizados o sean validados sus resultados.
- 5) que se considere el aspecto ambiental de temperatura y humedad para la contribución de errores de medición que pudieran afectar la estimación de incertidumbre.

La calidad de los empalmes de fusión en los enlaces de fibra óptica es parte muy importante para la buena operación de las comunicaciones. Así como la nueva tecnología de conectores ópticos basados en empalme de fusión. Por tales razones la empalmadora de fusión es una herramienta primordial para garantizar la calidad de los servicios que estará suministrando este operador de comunicaciones.

Cabe mencionar que el apoyo técnico local del fabricante es clave para que los usuarios de estos equipos tengan apoyo en caso de algún problema, ya sea de operación o de falla de los equipos. Es importante que los equipos elegidos para los trabajos cuenten con Centro de Servicio en México y un grupo de ingenieros de soporte técnico que ofrezcan ayuda a sus clientes.

Más del 90% de la causa de fallas en las redes se encuentran en la capa física, ya sea en la calidad de la fibra, la incorrecta manipulación o instalación de la fibra, la calidad de los conectores o incluso la falta de limpieza en dichos conectores.

Conocer el funcionamiento a fondo del equipo con el que se trabajó es primordial, ya que en el caso de la empalmadora es notorio el hecho de que tan solo hacer pruebas de arco cada cierto tiempo, la configuración y hasta la limpieza del equipo mismo, es esencial para poder brindar empalmes y conexiones de alta calidad al cliente, en este caso al trabajar en una red que ya está en funcionamiento, permitió ofrecer una reducción considerable de fallas y una mayor velocidad de transmisión en los enlaces intervenidos. También es importante tomar en cuenta que las buenas prácticas al momento de preparar la fibra para empalmar, una correcta instalación y limpieza de los conectores, resultan pieza clave para ofrecer buenos resultados al momento de hablar de actualización de una red de fibra óptica.

Con base en los objetivos planteados al inicio del presente trabajo se puede afirmar haberlos cumplido satisfactoriamente, ya que se lograron identificar las fallas en la red y con base en ellas se pudo plantear una solución, aunque esta no fue la definitiva, se comenzaron a tomar en cuenta todos aquellos detalles negativos que no logran verse a la hora de realizar la caracterización de la red y gracias a ello se pudo plantear una solución final. Realizar la instalación de nuevas tecnologías también es uno de los objetivos logrados, ya que con esto se buscó mejor la transmisión y evitar los cortes de servicio en la red y al realizar la migración a los enlaces ya actualizados estos funcionaron de manera correcta, lo cual se comprobó realizando mediciones con equipo Medidor de Potencia, lo cual también permitió conocer cuáles nodos

eran de transmisión y cuáles de recepción para volver a conectar adecuadamente los enlaces. Sin duda alguna este proyecto es la base para que esta red pueda crecer en un futuro cercano mediante la implementación de nuevas tecnologías que permitan transportar información con mayor capacidad de transporte a velocidades más altas.

Realizar este proyecto fue el primer paso para enfrentarse a un problema de la vida real y mostró cómo se comporta la industria de la fibra óptica en Centros de Datos (Data Centers). Con esto se pudo notar la gran importancia de la vinculación entre la universidad y la industria, porque la falta de práctica hizo más complicado proponer soluciones para resolver los problemas, y que la capacitación laboral y actualización de conocimiento por parte de nosotros mismos como ingenieros es esencial para poder desempeñarse de mejor forma profesionalmente.

Entre todas las capacidades y aptitudes que nos ayuda a forjar la facultad y que se pusieron en práctica, se puede destacar la capacidad para brindar soluciones a problemas de manera rápida y saber explicarlas, manejo del estrés, hablar en público, trabajar en equipo y sobre todo los conocimientos teóricos sobre el funcionamiento y comportamiento de la fibra óptica en enlaces, fueron muy importantes ya que la comunicación entre los integrantes del grupo de trabajo es elemental para dar buenos resultados y disminuir el tiempo de trabajo.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Fernández García, C., & Barbado Santana, J. A. (2008). Instalaciones de telefonía. Prácticas. Madrid, España: Paraninfo S.A.
- [2] Solis Odalis . (s.f.). Fibra Óptica. Consultado [18 de Junio de 2020], de EducaPlay Sitio web: https://es.educaplay.com/recursos-educativos/3424564-fibra_optica.html
- [3] Domínguez, Héctor. (2002). Nuestra amiga la luz. Consultado [22 de Junio de 2020], de google books Sitio web: <https://books.google.com.mx/books?id=ko0w756CUPMC&pg=PA20&dq=reflexi%C3%B3n+de+la+luz&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwivjvX7psrzAhUwImoFHWQvCUEQ6AF6BAgDEAI#v=onepage&q=reflexi%C3%B3n%20de%20la%20luz&f=false>
- [4] Millán, M.S., Escofet, J. & Pérez, E. (2003). Óptica geométrica. Consultado [22 de Junio de 2020], de google books Sitio web: <https://books.google.com.mx/books?id=SmMDI8kcMusC&pg=PA29&dq=ley+de+snell&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiDxOO2sMrzAhWtlGoFHxGAIQ6AF6BAgIEAI#v=onepage&q=ley%20de%20snell&f=false>
- [5] Annequin, R. & Boutigny, J. [2004]. Curso de ciencias físicas. Óptica. Consultado [30 de Junio de 2020], de google books Sitio web: <https://books.google.com.mx/books?id=uogI0nlwhLIC&pg=PA12&dq=indice+de+refraccion+optica&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjE4Kqo6crzAhVlkGoFHScqDGcQ6AF6BAgEEAI#v=onepage&q=indice%20de%20refraccion%20optica&f=false>
- [6] Neri Vela, R. (1999). Líneas de transmisión. México: McGraw-Hill/Interamericana de México.
- [7] N.M. (2016). Comparación entre cables de fibra monomodo y multimodo. Consultado [20 de Enero de 2021], de Medium.com Sitio web: <https://medium.com/@teresahuangting/comparison-between-single-mode-and-multimode-fiber-cables-11e57f131af>
- [8] S Sheldon. (2016) ¿Cómo realizar la conversión de fibra multimodo a monomodo?. Consultado [18 de Junio de 2020], de FS.COM Inc Sitio web: <https://community.fs.com/blog/how-to-realize-multimode-to-single-mode-fiber-conversion.html>
- [9] Tomasi, W.(2003).Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: Pearson Educación de México, S.A. de C.V.
- [10] Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT. (1993). RECOMENDACIÓN UIT-R V.662-2. Disponible en Sitio web: https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/v/r-rec-v.662-2-199304-s!!pdf-s.pdf
- [11] Unión Internacional de Telecomunicaciones, UIT. (1993).RECOMENDACIÓN UIT-T G.872. Disponible en Sitio web: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=e&id=T-REC-G.872-201210-S!!PDF-S&type=items
- [12] Zehao, Z. (2020). An investigation on large capacity optical access network. Hefei, China: Second International Conference on Optoelectronic Science and Materials.
- [13] Espinoza Briggs, C.E. & Baque Choez, J.R. (2009-2010). Estudio, análisis y propuesta de la implementación de una red GPON para la UCSG. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio UCSG Sitio web: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/8545/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-213.pdf>

- [14] García Miranda, A.S., Reyes Ramírez, I. & Salgado Ortiz, D.A. (2011). Sistema de comunicación con tecnología láser. [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional] Sitio web: <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/10789/1/42.pdf>
- [15] EXFO Inc.. (2020). FiberBasix 50 - Comprobadores portátiles. 20/01/2021. Disponible en Sitio web: <https://www.exfo.com/es/productos/pruebas-de-redes-de-campo/medidores-de-potencia/fiberbasix-50/>
- [16] Merayo, N., Aguado, J.C., de Miguel, I., Durán, R.J., Fernández, P., Lorenzo, R.M. & Abril, E.J. (2021). A testbed and a simulation laboratory for training engineering students in optical access network technologies. Valladolid, España: Universidad de Valladolid.
- [17] Alma Laboratorios, S.A. de C.V. <http://almalaboratorios.com/>
- [18] VIAVI Solutions. Principio de funcionamiento y características del OTDR. Sitio web: <https://www.viavisolutions.com/es-es/principio-de-funcionamiento-y-caracteristicas-de-los-otdr>
- [19] Sumitomo Electric Lightwave, Inc. <https://www.sumitomoelectriclightwave.com/>
- [20] VIAV Soluciones. Microscopio de fibra inteligente. Sitio web: <https://www.viavisolutions.com/es-es/productos/p5000i-microscopio-de-fibra>
- [21] Matt Brown. (2015). Cumplimiento de la Norma IEC sobre la calidad de conectores ópticos a través de la automatización del proceso de inspección proactiva sistemática de terminaciones de conectores. 18 de Junio de 2020, de Viavi Solutions, Inc Sitio web: <https://www.viavisolutions.com/es-es/literature/cumplimiento-de-la-norma-iec-sobre-la-calidad-de-conectores-opticos-es-informe-tecnico-es.pdf>
- [22] PROMAX. (2019). Tipos de conectores de fibra óptica: Guía sencilla. 18 de Junio de 2020, de PROMAX ELECTRONICA S.L Sitio web: <https://www.promax.es/esp/noticias/578/tipos-de-conectores-de-fibra-optica-guia-sencilla/>
- [23] CY COM, FTTX Solution, [En Línea]. Disponible: <http://spanish.fiber-patch-cord.com/sale-1864455-mtrj-sx-simplex-fiber-optics-connector-for-sc-and-lc.html>
- [24] Furukawa LATAM, [En Línea]. Disponible: <https://www.furukawalatam.com/es/catalogo-de-productos-detalles/cable-troncal-conectorizado-premium-ub>
- [25] Alma Laboratorios, S.A. de C.V. "Curso Empalmes de Fusión", con fecha 3 de agosto del 2020: <https://almalaboratorios.com/cursos/>
- [26] Google. (s.f.). [Mapa Ciudad de México, Av Instituto Politécnico Nacional en Google maps]. Recuperado el 18 de Junio 2020, 2020, de: <https://cutt.ly/ygc21Tl>
- [27] Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2012). Recomendación G.671. 29/01/2021, de UIT Sitio web: https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.671-201202-S!!PDF-E&type=items
- [28] Grupo COFITEL S.L. (2016). La norma IEC 61300 3-35. Sitio web: <https://www.c3comunicaciones.es/la-norma-iec-61300-3-35/>
- [29] Megladon. (s.f.). HLC® Splice-On Connector. 18 de junio de 2020, de Manufacturing Group LDT Sitio web: <https://megladonmfg.com/wp-content/uploads/megladon-hlc-splice-on-connector-spec-sheet.pdf>
- [30] Fibre Holders (FHS series). (2015). 18 de Junio de 2020, de Sumitomo Electric Sitio web: <https://cutt.ly/xgckBXL>

[31] Fosco Connect. (2020). Soporte De Conector De Empalme LYNX-CustomFit. 18 de Junio de 2020, de Fosco Connect Company Sitio web: <https://www.fiberoptics4sale.com/products/lynx-holder-c>

[32] Optronics, [En Línea]. Disponible:
<http://optronics.com.mx/conectividad/views/blog/detalle/116-codigo-de-colores-fibra-optica>