

Convergencia de enlaces de fibra óptica monomodo en la RedUNAM

Información del reporte:

Licencia Creative Commons



El contenido de los textos es responsabilidad de los autores y no refleja forzosamente el punto de vista de los dictaminadores, o de los miembros del Comité Editorial, o la postura del editor y la editorial de la publicación.

Para citar este reporte técnico:

Piña Gorraez, L.A.G. (2024). Convergencia de enlaces de fibra óptica monomodo en la RedUNAM. Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC, 2 (3) páginas (16 - 31).

<https://doi.org/10.22201/dgtic.ctud.2024.2.3.46>

Luis Alberto Guillermo Piña Gorraez

Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de
Información y Comunicación

Universidad Nacional Autónoma de México

guillermo.pina@unam.mx

ORCID: 0009 -0006-7443 -7418

Resumen

A partir del año 2021, la Dirección General de Cómputo y de Tecnologías de Información y Comunicación retomó el proyecto de reubicación de fibras ópticas monomodo y remoción de las fibras ópticas multimodo dentro de los Puntos de Presencia de la RedUNAM en Ciudad Universitaria, lo cual permitió a los administradores de la RedUNAM tener una mejor gestión e identificación de los enlaces físicos de interconexión utilizables para crear enlaces redundantes, con una gran capacidad de transferencia de datos para satisfacer las necesidades de procesamiento y compartición de información de la comunidad universitaria, así como atender todas aquellas necesidades en proyectos con tecnologías emergentes en el área de las tecnologías de la información.

Palabras clave:

Atenuación, punto de presencia, OTDR, empalme.

1. INTRODUCCIÓN

Los centros de datos y los puntos de presencia (*PoP*, por sus siglas en inglés) que pertenecen a la infraestructura de telecomunicaciones de la RedUNAM requieren conexiones de red seguras y con alta disponibilidad, además de soportar la transmisión y recepción de una alta densidad de datos a través de su ancho de banda. Por tal motivo, el *Backbone* de la red de datos institucional ha sido construido con fibra óptica monomodo OS2 (*Optical simple 2*, debido a la nomenclatura adoptada por TIA de la norma internacional ISO/IEC 11801) en virtud de las características operativas de este medio.

Con la finalidad de mejorar la administración de los elementos pasivos al interior de los *PoP* de la infraestructura de telecomunicaciones que conforman el *Backbone* de la RedUNAM, así como de la liberación de espacio en la canalización de planta externa existente entre los 12 *PoP* de esta red en Ciudad Universitaria, se llevó a cabo el proyecto de reubicación de fibras ópticas monomodo y optimización de espacios destinados a las telecomunicaciones. Estos trabajos fueron realizados tomando como base lo recomendado en el estándar ANSI/TIA-568.3-D: *Optical Fiber Cabling Components*, ya que especifica los requisitos para componentes como: cables, conectores, hardware de conexión y cordones.

El objetivo es reorganizar las conexiones de fibra óptica monomodo existentes en los *PoP* de la RedUNAM, en Ciudad Universitaria, para la mejora de la administración en los distribuidores de fibra óptica, además de poder lograr la optimización de los recursos de conectividad físicos existentes sin la necesidad de invertir en la creación de nuevos enlaces de datos en el *Backbone* de la red de datos institucional; y prescindir del cableado de fibra óptica multimodo innecesario u obsoleto.

2. ANTECEDENTES

Durante el periodo comprendido entre los años 2013 a 2015 la RedUNAM fue sometida a un proceso de reingeniería en su *Backbone* de datos, ya que se requería incorporar un medio de transmisión que fuera capaz de soportar el intercambio de altos volúmenes de información a través del ancho de banda y con el que se pudieran interconectar los 12 *PoP* que conforman la infraestructura de telecomunicaciones en Ciudad Universitaria. De igual manera, se buscó la construcción de enlaces de datos capaces de alcanzar grandes distancias sin perder la integridad y comprometer la seguridad de la información.

Por tal motivo, el medio físico elegido para la construcción de este nuevo Sistema de Transporte de Información fue la fibra óptica monomodo OS2. Si bien se contaba con enlaces de interconexión con fibra óptica multimodo OM1 y OM2 (*Optical Mode 1* y *Optical Mode 2*, debido a la nomenclatura adoptada por TIA de la norma internacional ISO/IEC 11801), la fibra óptica monomodo OS2 supera técnicamente a las fibras multimodo OM1 y OM2, ya que la primera es capaz de cubrir distancias de 40 km y transmitir datos en un ancho de banda de los órdenes de 1Gbps, 10Gbps, 40Gbps y 100Gbps (Hosecom, 2024). Técnicamente, las fibras ópticas multimodo también son capaces de transmitir en anchos de banda de hasta 10Gbps pero en distancias máximas de hasta 33 metros en el caso de OM1 y 82 metros en el caso de OM2 (FS Norteamérica, 2021).

Por otro lado, la fibra óptica monomodo OS2 permite la implementación de tecnologías como la Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM, por su definición en inglés *Wavelength Division Multiplexing*) o Multiplexado Denso por División en Longitudes de Onda (DWDM, por su definición en inglés *Dense Wavelength Division Multiplexing*) permitiendo que varios canales ópticos ocupen un único

cable de fibra óptica, es decir, se pueden utilizar varias longitudes de onda de luz (o colores) para enviar datos a través de un mismo hilo de fibra.

Además, habría que discernir entre la fibra óptica monomodo OS1 y OS2. La principal diferencia entre la fibra OS1 y OS2 es el *coeficiente de atenuación* expresado en dB / km. La Asociación de Fibra Óptica (FOA, por sus siglas en inglés), define al coeficiente de atenuación como *la pérdida de potencia óptica*, es decir, es la pérdida de potencia del haz de luz a medida que viaja a través del medio. El coeficiente de atenuación para la fibra monomodo OS1 es de 1.0 dB/km mientras que para la monomodo OS2 es de 0.4 dB/km. Como dato, los coeficientes de atenuación para la fibra óptica multimodo OM1 y multimodo OM2 es de 3.5 dB/km.

Por ello resultó de gran importancia implementar un diseño con la correcta distribución para la mejoría en la administración e identificación de cada uno de los componentes ópticos del *Backbone* dentro de los *PoP* de la RedUNAM, ya que es en estos espacios donde conviven los componentes activos de la red de datos (conformados por: enrutadores, switches de datos, servidores y otros dispositivos de comunicación) y los elementos pasivos (todo el cableado de fibra óptica y cable par trenzado categoría 6A); y es la conjunción de estos elementos, pasivos y activos, la que permite a la comunidad universitaria tenga acceso a Internet y, con esto, contar con la posibilidad de acceder a datos relevantes de reciente creación, la interacción y compartición de información con otras entidades educativas y de investigación, nacionales e internacionales, además de poner en práctica algunos de los conocimientos y habilidades adquiridos en los diferentes espacios universitarios.

3. DESARROLLO TÉCNICO

Para facilitar la adopción e implementación del Sistema de Transporte de Información construido con fibra óptica monomodo OS2 se tomó en cuenta el estándar ANSI/TIA-568.3-D: *Optical Fiber Cabling Components*. TIA/EIA-568 (Telecommunications Industry Association, 2022), el cual está compuesto por un conjunto de recomendaciones de telecomunicaciones de la Asociación de la Industria de Telecomunicaciones (TIA, por sus siglas en inglés). Este estándar contiene requisitos que facilitan la planificación e instalación de un sistema de cableado estructurado. En concreto, los criterios técnicos y de rendimiento para los sistemas de cableado de fibra óptica se especifican en TIA-568.3-D (TIA FOTC, 2024).

La mayor parte de los estándares definen tipos de cableado, distancias, conectores, arquitecturas de sistemas de cables, estándares de terminación de cables y características de rendimiento, requisitos de instalación de cables y métodos de prueba de cables instalados.

TIA/EIA-568-D.1 define los requisitos generales,

TIA-568-D.2 se centra en componentes de sistemas de cables de par trenzado balanceados,

TIA-568-D.3 aborda componentes de sistemas de cable de fibra óptica, y

TIA-568-D.4 aborda los componentes del cableado coaxial.

La intención de estos estándares es proporcionar prácticas recomendadas para el diseño e instalación de sistemas de cableado que soportarán una amplia variedad de servicios existentes y futuros. Los desarrolladores esperan que los estándares proporcionen una vida útil para los sistemas de cableado comercial de más de diez años (TIA FOTC, 2024).

Por otra parte, se adoptó un modelo jerárquico de red (Odom, 2017), con el cual se pudo dividir la complejidad operativa de la RedUNAM en 3 capas: Acceso, Distribución y Core. De esta forma, resulta menos complicado para los administradores de la infraestructura de red institucional la gestión de los equipos activos, detección de fallas e incorporación de nuevas dependencias a la RedUNAM. Cada una de estas capas tiene una función específica en el diseño, las cuales se mencionan a continuación.

Capa de acceso: Brinda el acceso a la red de los usuarios finales. Es decir, aquí se encuentran los recursos a los que los usuarios finales requiere acceder con frecuencia y están disponibles a nivel local. Sin embargo, con el auge de los servicios en la nube, cada vez es más recurrente que los usuarios requieran acceder a repositorios de información que no se encuentran alojadas de manera local. Es aquí donde las peticiones de los usuarios se redirigen hacia la siguiente capa de este modelo.

Capa de distribución: Proporciona una conectividad basada en políticas y controla el límite entre las capas de acceso y de Core. Es decir, esta capa es la encargada de resolver el camino más rápido para que la petición de un usuario (como solicitar la visualización de un repositorio) pueda ser enviada al servidor. Una vez que en esta capa se haya decidido la mejor ruta para llegar a ese servicio, se envía la petición a la Capa de Core y es en esta última donde se traslada la solicitud al servidor apropiado.

Capa de Core: Suministra un transporte rápido entre los *switches* de distribución dentro del campus. Es decir, es la capa encargada de separar y dirigir las peticiones lo más rápidamente posible hacia los repositorios apropiados.

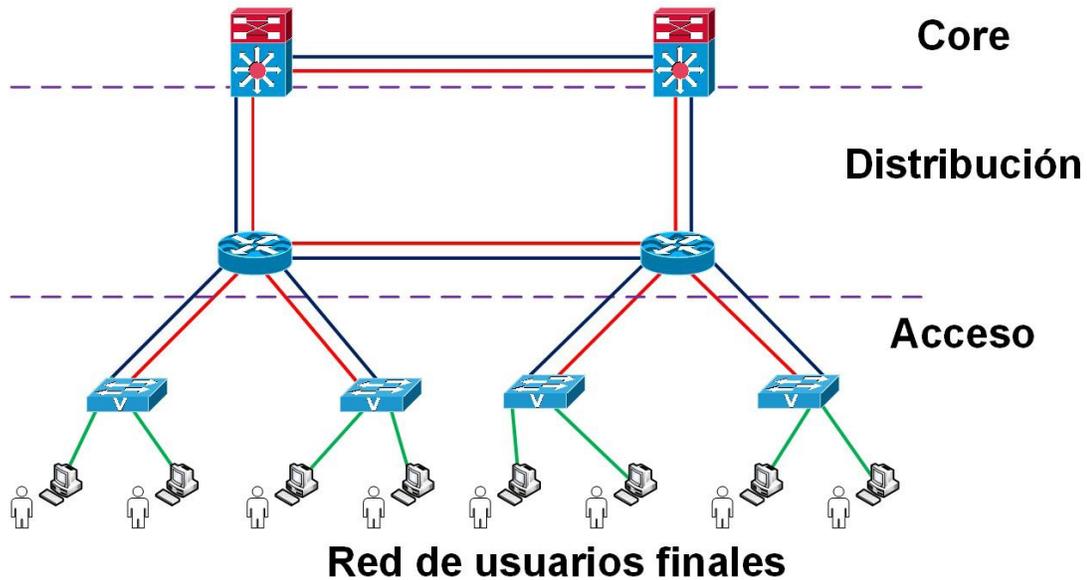
Esto es de gran ayuda para los administradores de la RedUNAM ya que les permite:

- Dividir problemas complejos en el diseño de red en áreas más pequeñas y más fáciles de administrar.
- Disponer de la infraestructura en condiciones normales (períodos de mantenimiento) como anormales (fallas de hardware o de software).
- Modificar o rediseñar partes de la red con la finalidad de agregar nuevos servicios o aumentar la capacidad sin necesidad de reemplazar los dispositivos principales de hardware.

En la figura 1 se muestra la distribución de capas en un modelo jerárquico de red.

Figura 1

Capas en un modelo jerárquico de red



SIMBOLOGÍA



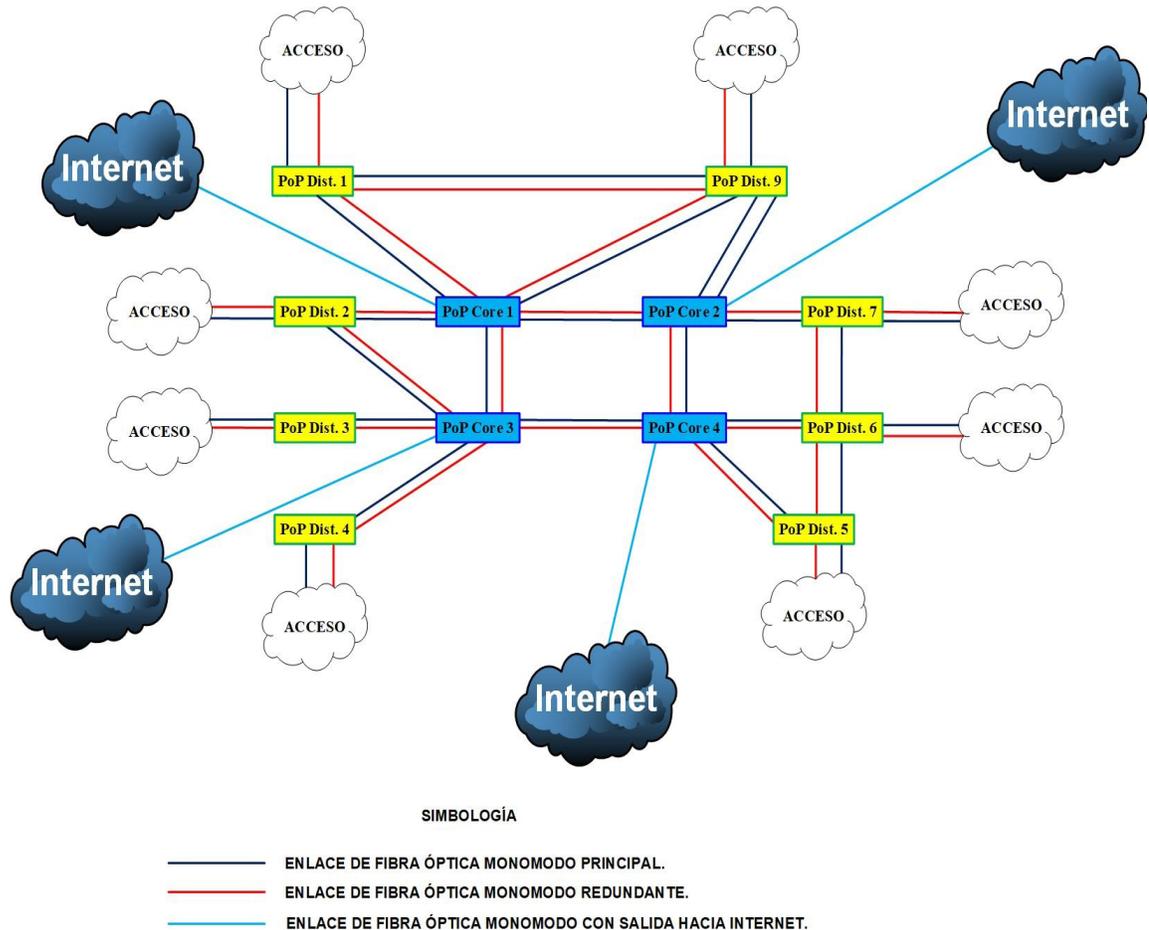
Al establecer este modelo para el equipo activo, se le brinda al Sistema de Transporte de Información que interconecta a la RedUNAM la capacidad de soportar la transmisión de grandes cantidades de información en un período de tiempo determinado, además de permitir la escalabilidad de la red conforme las necesidades de conectividad de la Universidad así lo requirieran, con el paso de tiempo.

Una vez construidos los enlaces de datos y realizada la interconexión de los Switches de Acceso y Distribución en conjunto con los enrutadores de Core, el modelo jerárquico de red con conexiones redundantes entraba en operación con: cuatro PoP de Core, ocho PoP de Acceso y cerca de 177 Switches en la capa de acceso. Cabe aclarar que la UNAM tiene cuatro salidas a Internet y estas se sitúan en los nodos de Core.

En la Figura 2 se muestra la distribución de conexiones físicas, principales y redundantes, en la RedUNAM.

Figura 2

Distribución de conexiones físicas en la RedUNAM



De acuerdo con lo mostrado en la imagen anterior, podemos observar que la RedUNAM cuenta con enlaces redundantes en sus tres capas, es decir, se cuenta con un enlace de fibra óptica principal y otro redundante. Esto le provee a la red de datos mayor disponibilidad ya que si existiera alguna interrupción en el medio de transmisión físico en alguna zona de Ciudad Universitaria, los usuarios finales no lo percibirían, ya que la información tiene un camino alternativo por el cual encontrar su destino, fuera o dentro de la RedUNAM.

Por cuestiones contractuales y de presupuesto, fue necesario postergar actividades que serían contempladas en una segunda fase de este proyecto. Por tal motivo, a partir del segundo trimestre del 2021 comenzó la planeación para la reubicación y remoción de los elementos ópticos pasivos en los PoP de la RedUNAM. El primer paso fue identificar las fibras ópticas monomodo utilizables y las fibras ópticas multimodo OM1 y OM2 a remover de los espacios de Telecomunicaciones de la RedUNAM ya que estas últimas se consideran obsoletas debido a que sus características técnicas y operativas son limitadas.

Para dicho fin la planeación contempló realizar los trabajos en dos etapas y la intervención fue en seis de los 12 PoP de la RedUNAM: tres de Core y tres de Acceso.

En una primera instancia, se realizaron recorridos en estos seis nodos con la finalidad de:

1. Enumerar las fibras ópticas monomodo que sería necesario reubicar y el tipo de conector, o terminación, que utilizaban en el Distribuidor de Fibra Óptica (DFO). Con esta tarea se pudieron cuantificar las fibras ópticas monomodo y multimodo existentes.
2. Identificar si contaban con la fibra de reserva necesaria para realizar los movimientos requeridos entre *racks* de datos dentro del PoP. Se inspeccionaron las trayectorias de los enlaces monomodo desde el registro de planta externa que acometen a cada uno de los PoP hasta el rack de datos donde se encontraba la terminación en un DFO para verificar si contaba con la cantidad de fibra para realizar los movimientos necesarios hasta su nueva ubicación.
3. Verificar los espacios requeridos para la reconexión de las fibras ópticas monomodo. De acuerdo a la distribución existente dentro de los PoP, y que debió obedecer la disposición jerárquica del diseño de la RedUNAM, se contemplaron los espacios requeridos para el rematado y colocación de las fibras ópticas monomodo en una nueva ubicación.
4. Calcular el metraje de fibra óptica multimodo a retirar. Con la ayuda de un odómetro, se obtuvo la distancia, en metros, de la fibra óptica multimodo a retirar de los PoP, desde su ubicación dentro de las instalaciones hasta el registro de acometida de planta externa.

Con el conocimiento y experiencia adquiridos en los años previos durante la puesta en operación del modelo jerárquico de RedUNAM, se dio continuidad a la realización del diseño de la solución a partir de la información recopilada. Dicha solución consistió en un arreglo capaz de integrarse al ya existente para darle continuidad a los principios de operación y así permitir una alta densidad en la conectividad de enlaces dentro de los *racks* de datos, garantizando a largo plazo:

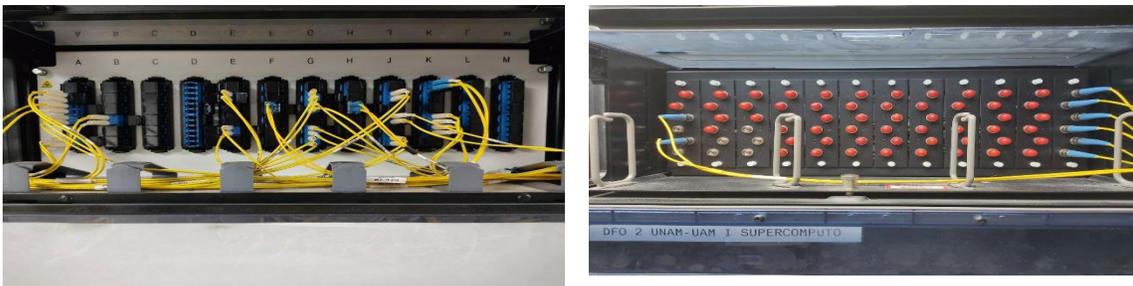
- Una mejor administración de los espacios destinados a los distribuidores de fibra óptica dentro de los PoP.
- Una reducción en los gastos de operación en la infraestructura de Telecomunicaciones, ya que se elude la construcción de nuevos enlaces entre los nodos de la RedUNAM.
- Liberación de espacio en la canalización de planta externa que, de igual manera, representa un ahorro para la Universidad, ya que no es necesaria la ampliación de vías subterráneas, o bien, la construcción de nueva canalización de planta externa.
- Se aprovechan los recursos existentes para la conectividad, con un medio capaz de transferir información con anchos de banda superiores a los 10GB.

Anteriormente, se encontraban conectores tipo *ST* (*Straight Tip*, por sus iniciales en inglés), *SC* (*Suscriptor Connector*, por sus iniciales en inglés) o *FC* (*Ferrule Connector*, por sus iniciales en inglés) en las terminaciones de los enlaces de fibra óptica (HTF, 2020), siendo el conector *SC* el más utilizado en las instalaciones, ya que una de sus principales ventajas sobre el *ST* era ofrecer una baja pérdida de señal durante la transmisión y una alta calidad en la entrega de datos. Sin embargo, y debido a la priorización en la optimización de los espacios dentro de los PoP, las soluciones que más son implementadas actualmente son las que utilizan el conector tipo *LC* (*Lucent Connector*, por sus iniciales en inglés) (HTF, 2020) ya que este tipo de

conector permite maximizar el espacio destinado a concentrar las conexiones de fibra óptica, además de que la mayoría de los equipos activos que ofrecen anchos de banda de un Gbps, y superiores, utilizan este tipo de conectores. Para ilustrar lo anterior, mencionaremos que un DFO de cuatro Unidades de Rack (UR) con conectores LC, es capaz de almacenar 144 fibras ópticas, mientras que un DFO de 4UR con conectores FC almacena un total de 72 fibras ópticas. En la Figura 3 se muestra la diferencia en la densidad de conexiones con conectores LC (izquierda) y con conectores FC (derecha).

Figura 3

Diferencia en la densidad de conexiones con conectores LC y con conectores FC



Dentro de los PoP podemos encontrar rack de datos de 45 UR (para tener una referencia, una UR equivale a 1.75 pulgadas o 4.45 centímetros, aproximadamente) por lo que resulta conveniente para nuestro diseño de alta densidad la elección de conectores LC para la terminación de las conexiones, ya que en un rack dedicado a concentrar enlaces de fibra óptica, podemos tener un total cercano a 1,548 enlaces utilizables. Esto varía dado que dependiendo de la capa en la que nos encontremos dentro del modelo jerárquico, es el DFO que podemos utilizar. Por ejemplo, si nos encontramos en la capa de acceso, podemos utilizar Distribuidores de cuatro UR con capacidad de alojar 144 conexiones en LC. Para la capa de Distribución se utiliza, regularmente, Distribuidores de dos UR capaces de almacenar 96 conexiones en LC y, por último, la capa de Core utiliza Distribuidores de un UR con capacidad de almacenar 48 enlaces con conectores LC. Los factores que influyen para la asignación de espacios son: el diseño de la solución a implementar, la criticidad en el manejo y acceso a la información, así como el nivel de redundancia entre nuestros equipos principales.

Definida la solución que permitía concentrar una alta densidad de terminaciones para la fibra óptica, el siguiente paso fue definir el método de conectorización entre el cable de fibra óptica y el DFO con conectores LC. Regularmente la unión entre el DFO y la fibra óptica se realiza a través de un empalme. La definición más simple de un empalme es el proceso mediante el cual se unen permanentemente dos fibras ópticas (Guía de referencia sobre fibra óptica de la FOA, 2024) y, además, que se cumpla con dos condiciones: 1) debe proporcionar un buen rendimiento óptico, el cual se indica por una reflectancia mínima de baja pérdida y, 2) contar con alta resistencia mecánica. Para esto, se analizaron las dos opciones disponibles en el mercado:

1. Empalme mecánico. Es un método de unión entre dos fibras ópticas utilizando un dispositivo mecánico que ayuda a alinear y fijar las fibras de manera precisa para permitir la transmisión eficiente de la luz; los componentes se unen utilizando pegamento epóxico y un *pulido anaeróbico*, el cual le

brinda a la terminación de fibra óptica un acabado liso. Sin embargo, los empalmes mecánicos suelen tener una mayor pérdida de inserción, que es cuando la señal transmitida a través de un cable se atenúa por las características físicas de los componentes de la solución o por el medio mismo.

2. Empalme por fusión. Los empalmes por fusión sueldan dos fibras utilizando un arco eléctrico a través de un equipo especializado llamado *Fusionadora* (conocida también como *Empalmadora*). Estos equipos son automatizados, por lo que es difícil que se realice un empalme malo si se sigue el proceso indicado de preparación y limpieza de las fibras, y se cuenta con la experiencia necesaria para manipular la fusionadora.

En la Tabla 1 se muestran las ventajas y desventajas de cada una de las soluciones:

Tabla 1

Ventajas y desventajas entre empalmes mecánicos y empalmes por fusión

EMPALMES MECÁNICOS	EMPALMES POR FUSIÓN
<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> No se requiere el manejo de un equipo especializado para realizar el empalme. Son adecuados para reanudar la interrupción física en un enlace que ha sufrido daño. 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Suelen tener un menor índice en la pérdida por inserción. El empalme por fusión es más resistente que el mecánico, por las cualidades de construir un enlace inherente entre las fibras.
<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se depende de la experiencia y habilidades manuales del técnico que realiza el empalme para que éste sea bien realizado. Suelen tener un mayor índice en la pérdida por inserción. 	<p>Desventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> Se requiere de un equipo especializado, así como la preparación técnica adecuada del personal que lo manipula.

Nota: Elaborada con información de (Guía de referencia sobre fibra óptica de la FOA, 2024)

Debido a que la unión de las fibras se realizó en los enlaces permanentes del *Backbone* de la RedUNAM, se decidió implementar empalmes por fusión, dado que por este método es posible terminar la unión de un cable de 12 hilos de fibra óptica en, aproximadamente, 90 minutos, mientras que realizando empalmes mecánicos la conectorización de un cable de 12 fibras ópticas tardaría alrededor de 270 minutos, además de que este último resulta más costoso por los materiales requeridos para su realización. También, se garantiza un bajo nivel de atenuación ya que todo se hace mediante equipo especializado.

Para llevar a cabo los empalmes por fusión se requería sólo de un elemento extra: el *pigtail*. Un *pigtail* no es más que es un cable de fibra óptica con un extremo terminado con un conector instalado de fábrica (The Fiber Optic Association, 2024); para nuestro caso, el conector utilizado fue tipo LC, y con el otro extremo sin terminar, es decir, en punta. Por lo tanto, el extremo del conector puede ser insertado al casete o panel del DFO, mientras que el otro extremo se puede integrar a los cables de fibra óptica de planta externa a través de un empalme por fusión.

También se debió considerar el cambio de los *jumpers* de fibra óptica que se utilizaban para terminar el enlace que se conectaba en un DFO en un extremo y a un puerto del equipo de datos en el otro. Anterior a este proyecto, la RedUNAM contaba con jumpers de fibra óptica monomodo con terminaciones LC – SC o ST – LC, es decir, el extremo que contaba con una terminación SC o ST iba al DFO mientras que el extremo LC se conectaba al equipo de datos. Cabe mencionar que estos movimientos de fibra óptica permitieron estandarizar que las conexiones entre los DFO y el equipo activo, dentro de los PoP de la RedUNAM, fueran con jumper LC – LC. A continuación, en la figura 5 se muestran los diferentes conectores encontrados en la Backbone de la RedUNAM.

Figura 5

Conectores encontrados en la Backbone de la RedUNAM



Una vez definidos y cuantificados los insumos a utilizar en este proyecto, se continuó con la elaboración del catálogo de conceptos y el anexo técnico de requerimientos. La importancia de estos documentos es que: a partir de esta información las compañías dedicadas a la implementación de soluciones en telecomunicaciones y cableado estructurado interesadas en participar en la licitación correspondiente, pueden conocer la cantidad, volumetría y características técnicas específicas de la solución a implementar en el proyecto. Es en este punto donde se definen detalles como: el plan de trabajo con tareas delimitadas por tiempo de duración, y la organización de las cuadrillas de trabajo para la realización de las actividades, por mencionar algunos de los tópicos.

Siguiendo con la logística en la ejecución del proyecto, se retomó la cuantificación e identificación de la fibra, ya que fue necesario identificar a qué capa pertenecían cada una de ellas (Core, Distribución o Acceso) ya que de esto dependió la programación de la *ventana de mantenimiento* que es el procedimiento mediante el cual se da un aviso para informar acerca de la suspensión o intermitencia de los servicios de red durante un tiempo determinado.

Teniendo la autorización de los usuarios finales para la interrupción temporal del servicio y con la solución definida, se procedió a la ejecución de los trabajos, que contaron con las siguientes fases:

1.Desmantelamiento de componentes.

En esta fase se desconectorizaron tanto las fibras ópticas monomodo a reubicar como las multimodo a retirar. De igual manera, se retiraron los Distribuidores de Fibra Óptica obsoletos y los *racks* de datos que no se utilizarían más o serían reubicados en algunas otras dependencias o PoP de la RedUNAM.

2.Intervención en los registros de acometida a los PoP.

En este punto, se procedió a manipular la fibra óptica monomodo de reserva para poder realizar las maniobras requeridas para acomodar los cables hasta su nueva posición. También, se sustrajo la fibra óptica multimodo de los PoP para liberar la canalización de planta externa e interna.

3.Reubicación de las fibras ópticas monomodo.

Teniendo la nueva ubicación definida para los cables de fibra óptica monomodo, se colocaron y fijaron en la canalización de planta externa para evitar posibles daños a los empalmes en un futuro.

4.Preparación y empalme de las fibras ópticas.

Una vez que las fibras se encontraban en su nueva posición, los cables se prepararon para su intervención a través de las fusiones para la unión permanente con el *pigtail*.

5.Finalización de los trabajos.

Una vez que se terminaba con los empalmes por fusión de los cables de fibra óptica, se procedía al acomodo de los nuevos DFO, así como el etiquetado de enlaces y la reconectorización con los *jumpers* a los equipos activos.

Un concepto importante que se mencionó al principio de este reporte, es el de *coeficiente de atenuación*, que está relacionado con las pruebas finales de OTDR (por su nombre en inglés *Optical Time Domain Reflectometer*), ya que con este equipo es posible identificar: el número de empalmes que existen en la trayectoria del enlace que se está midiendo, distancia total del enlace (incluyendo los *jumpers* con los que se realiza la medida) y la atenuación total del enlace. La atenuación ya había sido definida como la pérdida de potencia del haz de luz a medida que viaja a través del medio. Por lo que resulta importante realizar un *Presupuesto de atenuación* ya que nos indica, de manera teórica, la atenuación total que podemos obtener al reunir todos los elementos pasivos que integran el enlace. Por tal motivo, es importante conocer los valores mínimos de pérdida establecidos en la norma ANSI/TIA-568.3-D. En la Figura 6 se muestran los coeficientes de atenuación / desempeño de transmisión (s.f. 2022), mientras que en la Figura 7 se muestran los valores mínimos de pérdida aceptable por: conectores, empalmes y kilómetros (s.f. 2022) de acuerdo con esta norma.

Figura 6

Coefficientes de atenuación / desempeño de transmisión

VALORES MÍNIMOS DE PÉRDIDA ACEPTABLE	COEFICIENTE DE ATENUACIÓN
MM 62.5/125	3,5 dB por kilómetro a 850
	1,5 dB por kilómetro a 1300 nm
MM 50/125	3,0 dB por kilómetro a 850 nm
	1,5 dB por kilómetro a 1300 nm
SM 9/125 (1310 y 1550 nm)	0,4 dB/km para cable exterior
	1,0 dB/km para cable interior
	0,5 dB/km para cable interior-exterior

Nota. Obtenido de (¿Cómo hacer un presupuesto óptico?, 2022)

Figura 7

Valores mínimos de pérdida aceptable por conectores, empalmes y kilómetros

ELEMENTO	VALORES MÁXIMOS DE ATENUACIÓN ACEPTABLE
Conector	0.3 dB
Par de conectores acoplados	0.75 dB
Empalme	0.3 dB
Fibra multimodo (MM)	3.5 dB por kilómetro a 850 nm
	1.5 dB por kilómetro a 1300 nm
Fibra monomodo (SM)	1.0 dB por kilómetro a 1310 nm
	1.0 dB por kilómetro a 1550 nm
Planta exterior (TIA solamente)	0.5 dB por kilómetro a 1310 nm
	0.5 dB por kilómetro a 1550 nm

Nota. Obtenido de (¿Cómo hacer un presupuesto óptico?, 2022)

Ahora bien, teniendo los datos fue posible realizar el presupuesto de atenuación para los cables de fibra óptica monomodo a migrar. Para ello se emplearon las siguientes fórmulas:

- **Atenuación del cable óptico (DB)** = coeficiente máximo de atenuación de la fibra óptica (dB/km) × Longitud (km)
- **Atenuación del conector (DB)** = número de conectores × Pérdida del conector (DB)
- **Atenuación de fusión (DB)** = número de empalmes de fusión × Pérdida de empalme de fusión (DB)

Si se considera que cuando se habla de 1,310 nanómetros (nm) y 1,550 nanómetros (nm), se refiere a las bandas que se utilizan principalmente para transmisión de media y larga distancia, de las cuales la de 1,310 nm generalmente es utilizada para transmisión dentro de 40 km, y la de 1,550 nm generalmente es utilizada para transmisiones de larga distancia por encima de 40 km; el más lejano puede transmitir directamente 120 km.

Para obtener el *presupuesto de atenuación* (CISCO, 2024) se aplicó la siguiente fórmula:

$$PA = n \times C + c \times J + L \times a + M$$

Donde:

n: cantidad de conectores

C: atenuación de un conector óptico (dB)

c: cantidad de empalmes en sección de cable básica

J: atenuación de un empalme (dB)

M: el margen del sistema (cables de conexión, plegado de cables, eventos de atenuación óptica impredecibles, etc.) que se puede considerar en torno a 3 dB.

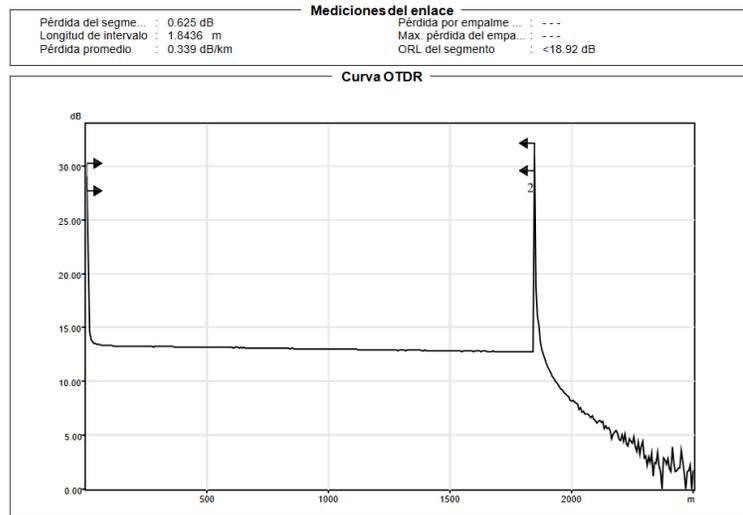
α : atenuación de cable óptico (dB/km)

L: longitud total del cable óptico

En la figura 8 se muestra se muestra la gráfica obtenida durante la medición realizada con un OTDR a uno de los hilos de las fibras reconectorizadas.

Figura 8

Gráfica obtenida al realizar la medición con un OTDR a uno de los hilos de las fibras reconectorizadas



De la figura anterior es posible observar lo siguiente: 1) la distancia total del enlace es de uno, 900 metros (redondeando valores), 2) los únicos empalmes existentes a lo largo del enlace son los correspondientes a las fusiones de los conectores en ambas puntas del enlace (son los dos picos). Por lo tanto, al sustituir valores en la fórmula, se tiene lo siguiente:

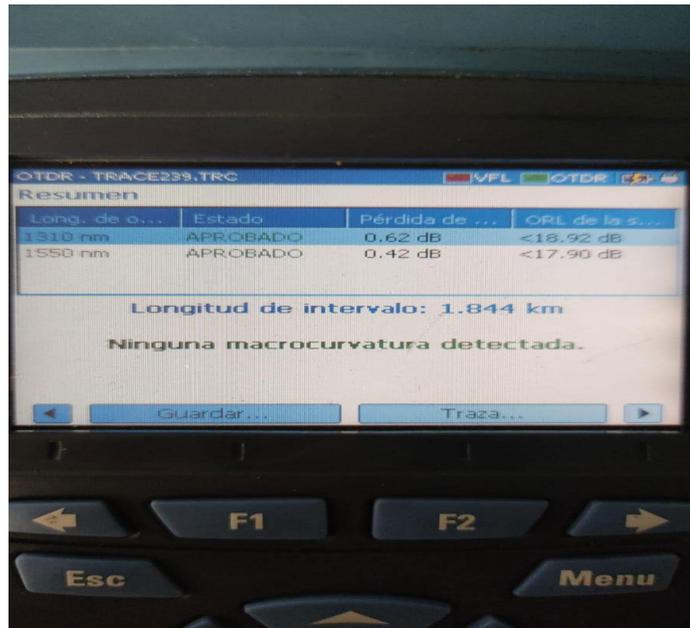
$$PA = (2*0.3dB) + (2*0.3dB) + (1.9 \text{ km}*0.4dB) + 3dB = 4.96dB$$

De tal manera que para este enlace se tiene un valor máximo de 4.96dB de atenuación en una ventana de operación de 1,310nm.

Junto con el Presupuesto de atenuación, una parte importante en la finalización de los trabajos, fueron los resultados obtenidos en campo haciendo las mediciones correspondientes a los enlaces de fibra óptica monomodo con el OTDR. De esta manera, fue posible comprobar el presupuesto de atenuación. En la Figura 9, se muestra el resultado de la medición hecha con el OTDR al mismo hilo con el que se calculó nuestro presupuesto de atenuación.

Figura 9

Resultado de la medición hecha con el OTDR



Estas pruebas resultaron de gran importancia, ya que indicaron que los empalmes por fusión habían sido realizados correctamente, al marcar una continuidad en el medio de punta a punta. En caso de haber arrojado error en algunos de los enlaces reubicados, se hubiese tenido que romper los empalmes por fusión, volver a preparar la fibra, realizar nuevamente el empalme y volver a medir.

Como actividad final, personal de los departamentos de Operación de la RedUNAM y de Conmutación verificaron que los servicios de datos y de voz se habían reestablecido exitosamente.

Todo este trabajo se tradujo en un total de 864 fibras ópticas monomodo reubicadas en seis PoP de la RedUNAM y un total de 4,222 metros de canalizaciones de planta externa liberados, gracias a la remoción de los cables de fibra óptica multimodo que resultaba obsoleta para la infraestructura de Telecomunicaciones de la Universidad.

4. CONCLUSIONES

La migración y posterior incorporación de los enlaces de fibra óptica monomodo al Sistema de Transporte de Información del Backbone de la RedUNAM trajo varias mejoras en diferentes niveles.

A nivel operativo, permite a los administradores de la infraestructura de telecomunicaciones institucional ubicar de una manera más fácil las fibras ópticas monomodo utilizables, e identificar a qué capa del modelo jerárquico de red pertenece, ya que se encuentran unificados en un solo rack (datos) y ubicados en el DFO correspondiente. Anteriormente, se tenían que identificar entre varios racks y varios DFO para poder reconocer las fibras disponibles, el destino de la otra punta del enlace y los hilos disponibles del mismos. También, al saber que las reconexiones de las fibras se encuentran por debajo de los niveles

mínimos de atenuación y que esta no es una condicionante para comprometer el rendimiento de la propagación del haz de luz a través del medio por problemas de pérdida de potencia de la señal. Esto se refleja en la actualidad ya que la RedUNAM cuenta con enlaces activos en las capas de Distribución y Core a 40 Gbps.

Además, estos nuevos enlaces sirvieron para la construcción de enlaces redundantes para la interconexión de la GRID UNAM, que es la encargada de *agrupar a distintas entidades de esta casa de estudios para lograr el aprovechamiento eficiente de la infraestructura y personal académico en cómputo de alto rendimiento, a través de una red que permite compartir recursos humanos y computacionales*. También han sido utilizados en las pruebas de concepto para la implementación de servicios de telefonía IP a través de la tecnología GPON (Redes Ópticas Pasivas con capacidad de transmitir a 1 Gbps).

Por otro lado, la liberación de aproximadamente el 25% del espacio en las canalizaciones de planta externa permite la conservación de los cables de enlaces de producción, ya que no se encuentran oprimidos dentro de las tuberías.

Este proyecto le permitió ahorros a la Universidad al solo invertir en los componentes finales para la construcción de los enlaces y no en la construcción de una nueva infraestructura pasiva para interconectar los servicios emergentes de las tecnologías de información que la comunidad universitaria demanda en la actualidad.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a la M. en C. Ana Cecilia Pérez Arteaga, Secretaria Técnica del Instituto de Investigaciones en Matemáticas Aplicadas y en Sistemas, por reconocer, valorar e impulsar el trabajo de los técnicos académicos de la Universidad.

Al MSI Alfredo Hernández Mendoza, Jefe del Departamento de Operación de RedUNAM, por el apoyo técnico brindado durante la realización de los trabajos anteriormente descritos y que, gracias a estos, tengo la oportunidad de colaborar en los Cuadernos Técnicos Universitarios de la DGTIC.

REFERENCIAS

- CISCO. (2024). *Calcule la atenuación máxima para los enlaces de fibra óptica*. Consultado el 5 de junio de 2024, de Notas técnicas de Troubleshooting: <https://n9.cl/53un>
- Hosecom. (2024). *Effective transmission distance of network cables and optical fibers*. Consultado el 3 de junio de 2024, de <https://lc.cx/ChDLQR>
- HTF. (2020). *¿Qué son los conectores de fibra SC, ST, FC, LC?* Consultado el junio de 2024, de Conocimiento: <https://goo.su/f7AgpIV>
- Odom, W. (2017). *CCNA Routing and Switching 200-125 official Guide Library 1st edition*. Cisco Press PTG.
- (s.f.) (2022) *¿Cómo hacer un presupuesto óptico?*. Consultado el 5 de junio de 2024, de <https://onx.la/efb0>
- (s.f.) (2024) *Guía de referencia sobre fibra óptica de la FOA. Conectores y Empalmes*. Consultado el 14 de mar-

zo de 2024, de <https://goo.su/mzBudb>

Telecommunications Industry Association. (2022). *Optical Fiber Cabling and Components Standar.*

The Fiber Optic Association. (2024). *Guía de estudio para la certificación de la FOA.* Consultado el 14 de marzo de 2024, de Jerga de la Fibra Óptica: <https://goo.su/qQAF>

TIA FOTC. (2024). *TIA/EIA-568.* Consultado el 13 de marzo de 2024, de TIA FOTC: <https://acortar.link/nKt7p>