



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA SERVICIO DE INTERNET EN ATOTONILCO

TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES

PRESENTA:

BRIAN MOLINA AGUIRRE

NOMBRE DEL ASESOR:

ELIUT FLORES JIMÉNEZ





Instituto Tecnológico de Apizaco
Subdirección de Planeación

Apizaco, Tlaxcala, 02/marzo/2026

Oficio No. S.C./OPV/0030/26

ASUNTO: Liberación de proyecto
para titulación integral

CECILIA YARELLY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

POR ESTE MEDIO LE INFORMO QUE HA SIDO LIBERADO EL SIGUIENTE PROYECTO PARA LA TITULACIÓN INTEGRAL.

NOMBRE DEL EGRESADO:	MOLINA AGUIRRE BRIAN
CARRERA:	INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES
NO. DE CONTROL:	20370962
NOMBRE DEL PROYECTO:	Diseño e implementación de Red de Fibra Óptica FTTH para Servicio de Internet en Atotonilco
PRODUCTO U OPCIÓN:	TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL

AGRADEZCO DE ANTEMANO SU VALIOSO APOYO EN ESTA IMPORTANTE ACTIVIDAD PARA LA FORMACIÓN PROFESIONAL DE NUESTROS EGRESADOS.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica.
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

MIQUELINA SÁNCHEZ PULIDO
JEFA DEL DEPTO. DE SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

ccp. Coordinación de carrera
Expediente
MSP/mrol*



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE APIZACO
DEPARTAMENTO DE
SISTEMAS Y COMPUTACIÓN

ELIUT FLORES JIMÉNEZ
ASESOR INTERNO



2026
año de
Margarita Maza





Educación
Secretaría de Educación Pública



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



Instituto Tecnológico de Apizaco
División de Estudios Profesionales

Tzompantepec, Tlaxcala, 29/abril/2026

BRIAN MOLINA AGUIRRE
EGRESADO(A) DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y COMUNICACIONES
CON NÚMERO DE CONTROL 20370962.
P R E S E N T E.

Por este medio, me permito informar a usted que por aprobación de la comisión revisora asignada para valorar el trabajo que mediante la opción **TITULACIÓN INTEGRAL INFORME DE RESIDENCIA PROFESIONAL** y cuyo tema es: **"DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA SERVICIO DE INTERNET EN ATOTONILCO"**, conforme a lo establecido en el procedimiento para la obtención del Título Profesional en el Instituto Tecnológico, la División de Estudios Profesionales a mi cargo le otorga la:

AUTORIZACIÓN DE IMPRESIÓN

Debiendo entregar **1 USB** del mismo, apropiadamente empastados, a la brevedad, para presentar su Acto de Recepción Profesional.

Sin otro particular por el momento me despido.

ATENTAMENTE

Excelencia en Educación Tecnológica®
Pensar para Servir, Servir para Triunfar®

CECILIA YARELY ARREGUÍN LARA
JEFA DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES



ccp. Archivo
CYAL/gvm*



2026
año de
Margarita
Maza



2. Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas las personas que hicieron posible la culminación de esta importante etapa en mi formación profesional, la cual representa no solo el término de mis residencias profesionales, sino también el logro de una de las metas más significativas de mi vida: el paso para convertirme en ingeniero.

En primer lugar, agradezco con todo mi corazón a mis padres, Pedro Molina Flores y Maricela Aguirre Valencia, quienes han sido el pilar fundamental de mi formación personal y académica. Gracias por su amor, apoyo incondicional y confianza en cada etapa de mi vida. Su esfuerzo, sus consejos y su respaldo tanto económico como emocional me permitieron continuar incluso en los momentos más difíciles. Este logro también es suyo, ya que sin su sacrificio, motivación y ejemplo de perseverancia no habría sido posible llegar hasta aquí.

Agradezco al Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Apizaco, por brindarme los conocimientos, valores y herramientas necesarias para desarrollarme como profesionista en el área de Tecnologías de la Información y Comunicaciones. De manera especial, agradezco a mi asesor académico interno, el Profesor Eliut Flores Jiménez, por su orientación, paciencia y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto, así como por compartir sus conocimientos y experiencia para la correcta elaboración y culminación del mismo.

Expreso también mi más sincero agradecimiento a la empresa INTERLIVE (Internet Residencial y Empresarial) por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de realizar mis residencias profesionales dentro de su equipo de trabajo. Agradezco profundamente al Ing. Marcelino González Munguía, Director General de la empresa y asesor externo, por la confianza depositada en mí, por su guía profesional y por permitirme aprender en un entorno real, fortaleciendo mis conocimientos técnicos y mi desarrollo profesional.

De igual manera, agradezco a todos los trabajadores de la empresa INTERLIVE, quienes me brindaron su apoyo, compañerismo y enseñanzas durante mi estancia. Cada experiencia compartida y cada consejo recibido contribuyeron significativamente a mi crecimiento personal y profesional.

Finalmente, agradezco a la vida por permitirme avanzar en este camino, enfrentando retos y aprendiendo de cada uno de ellos. Haber trabajado mientras estudiaba y haber superado diversos desafíos hace que este logro tenga un significado aún más especial. Hoy puedo ver reflejado el resultado de años de esfuerzo, dedicación y constancia, consolidándose como una meta importante y un paso firme hacia mi futuro profesional.

A todos aquellos que formaron parte de este proceso y creyeron en mí, muchas gracias.

Contenido

2. Agradecimientos	2
Resumen	3
5. Introducción	7
6. descripción de la empresa	7
Descripción del área de trabajo	8
Problemas a resolver y situaciones a enfrentar durante la estadía en la empresa.....	8
8. Objetivos Específicos.....	10
9. Justificación.....	11
10. Marco teórico	12
10.1 Telecomunicaciones	12
10.2 Fibra óptica.....	16
10.2.1 Concepto de fibra óptica	16
10.2.2 Tipos de fibra óptica.....	17
10.3 Redes de acceso	19
10.3.1 Tecnologías de acceso	19
Acceso mediante par de cobre (DSL)	19
Acceso mediante cable coaxial (HFC).....	19
Acceso inalámbrico	20
Acceso mediante fibra óptica (FTTH).....	20
10.3.2 Comparación entre tecnologías de acceso.....	21
10.4 Tecnología FTTH.....	22
10.4.1 Concepto de FTTH.....	22
10.4.2 Arquitecturas FTTH	23
Punto a Punto (P2P).....	23
Punto a Multipunto (P2MP o PON).....	24
10.4.3 Tecnología GPON y estándares	25
10.4.4 Componentes de una red FTTH	27
OLT (Optical Line Terminal).....	27
ODN (Optical Distribution Network).....	29
Splitters ópticos.....	32
ONT/ONU (Optical Network Terminal/Unit).....	35
10.5 Parámetros técnicos de la fibra óptica	36

10.5.1 Atenuación.....	37
Fórmula de atenuación:	37
10.5.2 Potencia óptica	40
Ejemplo de niveles típicos:.....	40
10.5.4 Longitud de onda.....	40
10.6 Normatividad y estándares en redes de fibra óptica y FTTH.....	43
10.6.1 Estándares internacionales de fibra óptica	44
10.6.2 Estándares de redes PON y GPON	45
10.6.3 Normas de instalación y buenas prácticas.....	46
10.6.4 Regulación de telecomunicaciones en México	46
10.6.5 Importancia del cumplimiento de normas y estándares	46
11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas	47
Número estimado de usuarios potenciales.....	48
Infraestructura existente	49
Problemas detectados.....	49
Herramientas utilizadas.....	50
Diseño de la topología de la red FTTH basada en arquitectura GPON P2MP.....	52
Niveles de la red FTTH.....	54
Cálculo de splitters ópticos	63
11.3 Selección de materiales y equipos.....	63
11.4 y 11.5 Implementación del servicio FTTH y pruebas de funcionamiento	75
Preparación para la instalación.....	75
Tendido del cable drop.....	76
Instalación de conectores y terminación	77
Instalación y configuración de la ONT	78
Registro de ONT en la OLT	79
Pruebas de potencia óptica	80
Pruebas de velocidad de Internet.....	81
12. Conclusiones	82
Conclusiones técnicas del proyecto.....	82
13 Competencias desarrolladas.....	83
Competencias técnicas	83
Competencias profesionales.....	83

Competencias personales	84
Síntesis de desarrollo profesional.....	84
Recomendaciones.....	84
Experiencia profesional adquirida.....	85
Fuentes de información	86

Resumen

El presente proyecto de residencias profesionales se centra en el diseño, planificación e implementación de una red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH, *Fiber To The Home*), con el propósito de proporcionar servicios de telecomunicaciones de alta velocidad, estabilidad y calidad a los usuarios finales. En la actualidad, el crecimiento de la demanda de internet y servicios digitales ha impulsado la necesidad de infraestructuras modernas capaces de soportar grandes volúmenes de datos, siendo la fibra óptica una de las tecnologías más eficientes y confiables para este fin.

Durante el desarrollo de este proyecto se llevaron a cabo diversas actividades técnicas que abarcan desde el diagnóstico del área de cobertura y análisis de la demanda, hasta el diseño de la topología de red, selección de materiales y equipos, así como la implementación y pruebas en campo. Estas acciones permitieron aplicar conocimientos adquiridos durante la formación académica, reforzando competencias en telecomunicaciones, redes de acceso y trabajo en equipo dentro de un entorno profesional real.

La finalidad principal de este proyecto es contribuir a la mejora de la infraestructura de telecomunicaciones mediante la instalación de una red FTTH eficiente y funcional, garantizando una correcta transmisión de datos y una adecuada atención a los usuarios. Asimismo, esta experiencia permitió fortalecer habilidades técnicas, analíticas y profesionales, consolidando la preparación del estudiante para su incorporación al ámbito laboral en el área de tecnologías de la información y comunicaciones.

5. Introducción

Diseño e Implementación de Red de Fibra Óptica FTTH para Servicio de Internet en Atotonilco

Desarrollar un proyecto integral que contemple el **diseño y la implementación de una red de fibra óptica bajo la arquitectura FTTH (Fiber to the Home)** en la localidad de Atotonilco, con el fin de proveer un servicio de internet de alta velocidad, estable y seguro a usuarios residenciales y comerciales. El proyecto incluirá el análisis del área de cobertura y demanda potencial, la selección de tecnologías, equipos y materiales apropiados, el diseño de la topología óptima conforme a normas y estándares técnicos vigentes, la ejecución de la instalación en campo y la realización de pruebas de rendimiento y calidad que garanticen la correcta operación y escalabilidad de la red para atender necesidades actuales y futuras.

6. descripción de la empresa

INTERLIVE es una empresa del sector de telecomunicaciones dedicada a brindar servicios de internet residencial y empresarial mediante el uso de tecnologías modernas de transmisión de datos, principalmente a través de redes de fibra óptica. Su objetivo principal es ofrecer soluciones de conectividad confiables, estables y de alta velocidad que satisfagan las necesidades de comunicación y acceso a la información de hogares, negocios y organizaciones.

La empresa se enfoca en el diseño, instalación, mantenimiento y expansión de infraestructura de red, permitiendo a sus usuarios contar con un servicio eficiente para actividades como navegación en internet, transmisión de datos, videoconferencias, plataformas digitales y otros servicios en línea. INTERLIVE busca mantenerse a la vanguardia tecnológica mediante la implementación de equipos y sistemas de última generación que garanticen un desempeño óptimo y una experiencia de calidad para el cliente.

Además de proporcionar servicios de conectividad, INTERLIVE se distingue por su compromiso con la atención al cliente, el soporte técnico y la mejora continua de sus procesos operativos. Esto permite ofrecer soluciones personalizadas tanto para el sector residencial como empresarial, contribuyendo al desarrollo tecnológico y digital de la comunidad donde opera. Asimismo, la empresa promueve el trabajo en equipo, la innovación y la capacitación constante de su personal, fortaleciendo el crecimiento profesional y técnico de quienes forman parte de su organización.

Descripción del área de trabajo

El estudiante **Brian Molina Aguirre** realizará sus residencias profesionales en la empresa INTERLIVE, específicamente en el área de Ingeniería y Proyectos de Fibra Óptica, la cual es responsable del diseño, planeación, implementación y supervisión de la infraestructura de telecomunicaciones basada en tecnología de fibra óptica. Esta área tiene como finalidad garantizar la correcta distribución de los servicios de internet residencial y empresarial que la empresa ofrece a sus usuarios, mediante el uso de redes modernas y eficientes.

Dentro de este departamento se desarrollan actividades orientadas al análisis de cobertura de servicio, levantamientos en campo, diseño de topologías de red FTTH, elaboración de planos y diagramas técnicos, así como la selección de materiales y equipos necesarios para la instalación de la red. Asimismo, se supervisa la ejecución de los proyectos en campo, verificando que las instalaciones se realicen conforme a los estándares de calidad y normativas establecidas en el sector de telecomunicaciones.

Durante su estancia en esta área, el estudiante participará en procesos relacionados con el desarrollo de proyectos de fibra óptica, adquisición de experiencia en el uso de herramientas y equipos especializados, así como en la interpretación de planos, empalmes, pruebas y mantenimiento de la red. De igual manera, colaborará con el equipo de trabajo en la solución de problemáticas técnicas que puedan presentarse en la implementación o funcionamiento del servicio.

La integración del estudiante en el área de Ingeniería y Proyectos de Fibra Óptica permitirá fortalecer sus conocimientos teóricos y prácticos en el campo de las telecomunicaciones, además de desarrollar habilidades profesionales como el trabajo en equipo, la responsabilidad, la organización y la resolución de problemas en un entorno laboral real.

Problemas a resolver y situaciones a enfrentar durante la estadía en la empresa

Durante la realización de las residencias profesionales en el área de Ingeniería y Proyectos de Fibra Óptica de la empresa INTERLIVE, el estudiante podrá enfrentarse a diversas problemáticas y situaciones técnicas propias del sector de telecomunicaciones, las cuales contribuirán al desarrollo de habilidades profesionales y a la aplicación de conocimientos adquiridos durante su formación académica.

Problemas a resolver:

- Análisis de cobertura y detección de zonas con baja señal o sin servicio de internet.
- Diseño y optimización de rutas de fibra óptica para mejorar la distribución del servicio.
- Identificación y corrección de fallas en la red de fibra óptica, como atenuaciones o cortes.
- Apoyo en la elaboración e interpretación de planos y diagramas de red FTTH.
- Selección adecuada de materiales y equipos necesarios para instalaciones y expansiones de red.
- Verificación del correcto funcionamiento de equipos activos y pasivos de la red.
- Apoyo en pruebas de conectividad, medición de potencia óptica y certificación de enlaces.
- Organización y control de inventario de materiales de fibra óptica.
- Documentación técnica de instalaciones realizadas y mantenimiento de la red.
- Propuestas de mejora para optimizar el rendimiento y la calidad del servicio.

Situaciones a las que se podría enfrentar:

- Trabajo en campo para levantamientos, instalaciones o supervisión de proyectos.
- Coordinación con técnicos y personal operativo para la ejecución de instalaciones.
- Resolución de problemas técnicos en tiempo real durante la implementación de servicios.
- Adaptación a condiciones climáticas o de terreno durante trabajos en campo.
- Cumplimiento de normas de seguridad en el manejo de herramientas y equipos.
- Manejo de tiempos de entrega y presión por parte de proyectos o solicitudes de servicio.
- Comunicación con clientes o personal de la empresa para seguimiento de proyectos.
- Uso de herramientas especializadas para medición y mantenimiento de fibra óptica.
- Trabajo en equipo dentro de un entorno profesional y técnico.
- Aprendizaje continuo sobre nuevas tecnologías y procesos del área de telecomunicaciones.

La atención y resolución de estas problemáticas permitirá al estudiante adquirir experiencia práctica en el ámbito de las telecomunicaciones, fortaleciendo sus competencias técnicas y profesionales para su futura incorporación al sector laboral.

8. Objetivos Específicos

- Realizar un diagnóstico del área de cobertura en la localidad de Atotonilco para determinar la demanda actual y futura del servicio de internet.
- Diseñar la topología de la red FTTH considerando criterios técnicos, económicos y de expansión futura.
- Seleccionar y especificar los materiales y equipos necesarios para la implementación, incluyendo cables de fibra óptica, equipos de transmisión, divisores ópticos y terminales de usuario.
- Implementar la red de fibra óptica en campo conforme al diseño aprobado, cumpliendo con normas y estándares de calidad.
- Efectuar pruebas de rendimiento y certificación de la red instalada, asegurando la correcta operación y calidad del servicio.
- Elaborar la documentación técnica del diseño, implementación y pruebas realizadas para su uso en mantenimiento y futuras expansiones.

9. Justificación

En la actualidad, el acceso a internet de alta velocidad se ha convertido en un recurso esencial para el desarrollo económico, social y educativo de las comunidades. La localidad de Atotonilco presenta una creciente demanda de servicios de telecomunicaciones que satisfagan las necesidades de hogares, negocios y dependencias gubernamentales, sin embargo, la infraestructura existente resulta insuficiente para ofrecer conexiones estables y con la capacidad requerida.

El presente proyecto tiene como finalidad **diseñar e implementar una red de fibra óptica bajo la arquitectura FTTH**, la cual permitirá proporcionar un servicio de internet confiable, seguro y de gran capacidad directamente a los usuarios finales. La implementación de esta tecnología beneficiará a la población al mejorar la conectividad, facilitar la adopción de servicios digitales y fomentar el desarrollo económico y educativo de la zona.

Además, al realizar el proyecto bajo normas y estándares técnicos vigentes, se asegurará que la red sea escalable y sostenible en el tiempo, sentando las bases para futuras expansiones y fortaleciendo la competitividad de la empresa proveedora del servicio. Por lo tanto, este proyecto no sólo atenderá la demanda actual, sino que también contribuirá al crecimiento tecnológico y a la mejora de la calidad de vida de los habitantes de Atotonilco.

10. Marco teórico

10.1 Telecomunicaciones

Las telecomunicaciones son el conjunto de técnicas y sistemas que permiten la transmisión de información a distancia mediante señales eléctricas, ópticas o electromagnéticas. Estas señales pueden transportar voz, datos, video e información multimedia, siendo fundamentales para el desarrollo social, económico y tecnológico de las sociedades modernas.

En la actualidad, las telecomunicaciones constituyen la base de servicios como telefonía, internet, televisión digital, videoconferencias y sistemas de control remoto. La evolución de estas tecnologías ha permitido incrementar la velocidad de transmisión, la confiabilidad de los enlaces y la cobertura de los servicios de comunicación.

Dentro de las telecomunicaciones, las redes de acceso representan el último tramo de conexión entre el proveedor de servicios y el usuario final, siendo un elemento crítico para garantizar la calidad del servicio de internet.

Historia de las telecomunicaciones

1. Siglo XIX: El Telégrafo y el Teléfono

La historia de las telecomunicaciones se remonta al siglo XIX con la invención del telégrafo eléctrico, un hito que marcó el inicio de una nueva era en la forma en que nos comunicamos. Desarrollado por Samuel Morse en 1837, el telégrafo permitió la transmisión de mensajes a largas distancias mediante impulsos eléctricos a través de cables, revolucionando la velocidad y la eficiencia de la comunicación a nivel mundial. El famoso Código Morse se convirtió en el lenguaje universal para estos mensajes, facilitando la comunicación entre personas y países de una manera nunca antes vista.

Pero el avance no se detuvo ahí, ya que el siguiente gran hito en las telecomunicaciones fue la invención del teléfono por Alexander Graham Bell en 1876. Este dispositivo icónico cambió para siempre la forma en que nos conectamos, permitiendo conversaciones en tiempo real entre personas a distancia. Las primeras redes telefónicas se establecieron rápidamente en los años siguientes, y a finales del siglo XIX, las llamadas interurbanas se habían convertido en una parte integral de la vida cotidiana en Europa y América del Norte, facilitando la comunicación y acercando a las personas como nunca antes.

2. Siglo XX: Radio, Televisión y Satélites

La invención de la radio por Guglielmo Marconi en 1895 marcó el comienzo de una revolución en las comunicaciones del siglo XX. Con la capacidad de transmitir ondas de radio a larga distancia, la radio se convirtió rápidamente en un medio poderoso para la difusión de información y entretenimiento a nivel mundial. La primera transmisión de radio comercial en 1920 abrió las puertas a una nueva era de comunicación inalámbrica, conectando a las personas a través de las ondas del aire y permitiendo que la voz y la música viajaran más allá de las fronteras físicas.

La radio no solo se convirtió en una herramienta esencial para la transmisión de noticias y programas de entretenimiento, sino que también desempeñó un papel importante en la creación de una cultura global compartida. Desde transmisiones en directo de eventos históricos hasta programas de música que unían a las audiencias de diferentes países, la radio se convirtió en un medio de comunicación que trascendía las barreras geográficas y culturales. Con la expansión de la radio a lo largo del siglo XX, la sociedad experimentó una transformación en la forma en que se comunicaba y se conectaba con el mundo que la rodeaba. La radio se convirtió en un símbolo de progreso y modernidad, sentando las bases para la evolución continua de las telecomunicaciones en las décadas posteriores.

La televisión fue sin duda un punto de inflexión en la evolución de las telecomunicaciones. Los pioneros John Logie Baird y Philo Farnsworth marcaron un hito en la década de 1920 al introducir la televisión al mundo, y para la década de 1930, las primeras transmisiones públicas ya estaban en marcha. La televisión revolucionó la forma en que nos comunicamos al permitir la transmisión de imágenes y sonido en tiempo real, conectando a las personas con eventos, noticias y entretenimiento de todas partes del mundo.

3. La Era Digital y el Internet

La era digital comenzó en la década de 1960 con la invención de los circuitos integrados y el advenimiento de la informática. Los avances en la tecnología de la información dieron lugar a la creación de la Red de Conmutación de Paquetes (Packet Switching Network), que sentó las bases para la creación del Internet. ARPANET, desarrollado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos en 1969, fue la primera red de conmutación de paquetes y precursora del Internet moderno.

El Protocolo de Control de Transmisión/Protocolo de Internet (TCP/IP), desarrollado por Vinton Cerf y Robert Kahn en la década de 1970, fue fundamental en la creación del Internet como una red global de comunicaciones. Este conjunto de protocolos permitió la interconexión de múltiples redes y la transmisión de datos a través de ellas.

La World Wide Web, creada por Tim Berners-Lee en 1989, revolucionó la forma en que los usuarios acceden y comparten información en línea. Con la invención del navegador web y el lenguaje HTML, la web se convirtió en una plataforma accesible y fácil de usar para la comunicación y el intercambio de información.

La era digital también vio el desarrollo de tecnologías móviles y la creación de la telefonía móvil. Desde los primeros teléfonos móviles en la década de 1980 hasta los smartphones actuales, la comunicación móvil ha cambiado drásticamente nuestras vidas y la forma en que nos conectamos con el mundo.

4. Siglo XXI: Convergencia y Avances Tecnológicos

La convergencia de tecnologías en el siglo XXI ha marcado un punto crucial en la evolución de las comunicaciones. La expansión de la banda ancha y la fibra óptica ha permitido que las velocidades de conexión alcancen niveles nunca antes vistos, facilitando una experiencia más fluida y eficiente para los usuarios. Además, las redes inalámbricas como Wi-Fi y 4G han revolucionado la conectividad, brindando mayor movilidad y acceso a la información en cualquier momento y lugar.

Las redes sociales han transformado la manera en que nos comunicamos, interactuamos y compartimos información. Estas plataformas han creado una nueva forma de conexión global, permitiendo que las personas se mantengan conectadas y compartan sus vidas de una manera instantánea y significativa. Por otro lado, los servicios de mensajería instantánea y aplicaciones como Skype y Zoom han facilitado la comunicación en tiempo real a través de diversos formatos, ya sea texto, voz o video, acercando a las personas de una manera más personal y directa.

Evolución del internet

La evolución de Internet comenzó con ARPANET en los 60 como red militar/académica, se popularizó en los 90 con la World Wide Web (Tim Berners-Lee) y navegadores gráficos (Mosaic, Netscape), pasó a la Web 2.0 social con redes sociales y banda ancha, y ahora avanza hacia la Web 3.0 (IA, datos inteligentes) y el Internet de las Cosas (IoT), migrando a dispositivos móviles y conexiones ultrarrápidas (4G, 5G).

Fases Clave de la Evolución:

Los Inicios (1960s - 1980s): ARPANET y la Base Tecnológica

ARPANET (1969): Creada por el Departamento de Defensa de EE. UU. para comunicación robusta entre científicos.

Correo Electrónico (1971): Se envía el primer email, con el símbolo "@" introducido por Ray Tomlinson

.

TCP/IP (1983): Adopción del protocolo TCP/IP, unificando redes y dando lugar al término "Internet".

La Llegada al Público (1990s): La Web Gráfica

World Wide Web (1990-1991): Tim Berners-Lee inventa la WWW (HTML, HTTP) en el CERN, abriendo Internet al público.

Navegadores (1993): Mosaic y Netscape hacen visualizable la web con textos e imágenes, impulsando su adopción masiva.

Expansión: Crecimiento exponencial de usuarios y el auge del comercio electrónico.

La Era Social y Móvil (2000s - 2010s): Web 2.0

Banda Ancha: ADSL y cable mejoran las velocidades, permitiendo streaming y más contenido.

Redes Sociales: Nacen Facebook, Twitter, etc., y la web se vuelve interactiva (Web 2.0).

Smartphones (2007): El iPhone y Android llevan Internet a los dispositivos móviles, transformando la experiencia.

El Presente y Futuro (2020s en adelante): Web 3.0, IA e IoT

Tecnología en la Nube: Permite servicios y almacenamiento masivos.

Internet de las Cosas (IoT): Conexión de objetos cotidianos a la red.

Web 3.0: Se enfoca en datos inteligentes, personalización y descentralización con IA.

5G: Conexiones ultra rápidas para soportar nuevas aplicaciones.

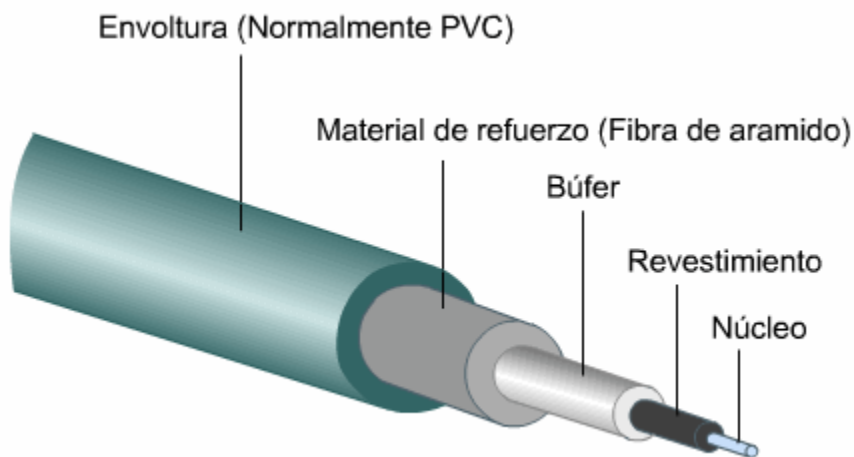
10.2 Fibra óptica

La fibra óptica es un medio de transmisión que utiliza pulsos de luz para transportar información a través de un filamento de vidrio o plástico. La información se transmite mediante señales luminosas generadas por dispositivos emisores como láseres o diodos LED, las cuales viajan a través del núcleo de la fibra mediante el fenómeno de reflexión interna total.

La fibra óptica se ha convertido en el medio de transmisión más utilizado en redes de alta capacidad debido a su gran ancho de banda, baja atenuación y alta inmunidad a interferencias electromagnéticas.

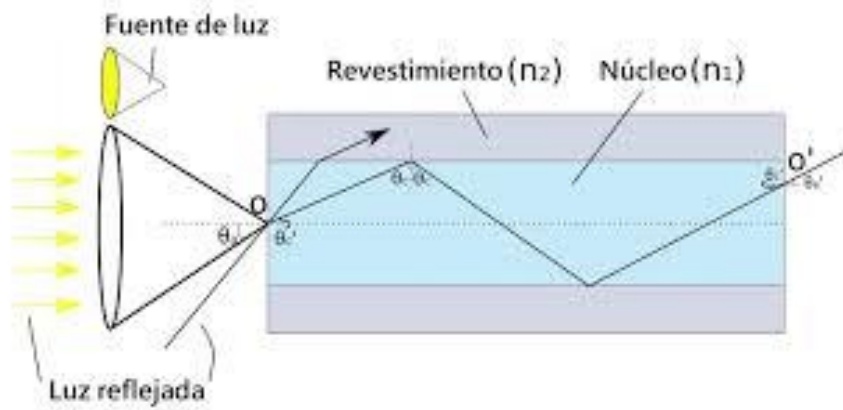
10.2.1 Concepto de fibra óptica

Una fibra óptica está compuesta principalmente por tres capas: núcleo, revestimiento y cubierta protectora. El núcleo es la parte central por donde se propaga la luz, el revestimiento tiene un índice de refracción menor que el núcleo, permitiendo la reflexión interna total, y la cubierta protege mecánicamente a la fibra.



Reflexión interna total

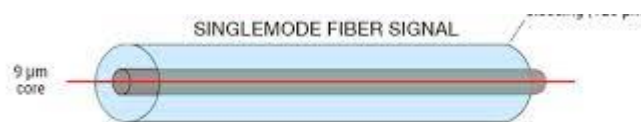
La reflexión interna total (RIT) en fibra óptica es el principio físico que permite guiar la luz a largas distancias: la luz viaja dentro del núcleo (índice de refracción alto, n_1) y se refleja completamente en el revestimiento (índice más bajo, n_2) cuando incide en un ángulo mayor que un ángulo crítico (θ_c), evitando así que escape y garantizando una transmisión eficiente con mínima pérdida, esencial para internet y telecomunicaciones.



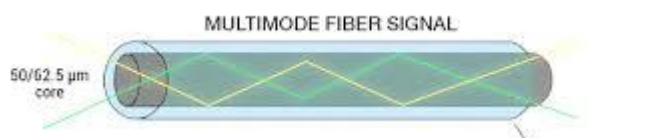
10.2.2 Tipos de fibra óptica

Las fibras ópticas se clasifican principalmente en:

Fibra monomodo (SMF): Permite la propagación de un solo modo de luz, se utiliza para largas distancias y altas velocidades, comúnmente en redes FTTH.



Fibra multimodo (MMF): Permite múltiples modos de propagación, se utiliza en distancias cortas como redes LAN o centros de datos.



Característica	Fibra Monomodo (SMF)	Fibra Multimodo (MMF)
Diámetro del Núcleo	Muy pequeño (aprox. 9 μm)	Más grande (50 μm o 62.5 μm)
Modos de Propagación	Uno solo (trayectoria lineal)	Múltiples (la luz rebota en el núcleo)
Fuente de Luz	Láser	LED o VCSEL
Distancia de Transmisión	Larga distancia (hasta 100 km o más)	Corta distancia (hasta 2 km según categoría)
Ancho de Banda	Casi ilimitado	Limitado por la dispersión modal
Longitud de Onda	1310 nm y 1550 nm	850 nm y 1300 nm
Color de Cubierta (Típico)	Amarillo (OS1, OS2)	Naranja (OM1, OM2), Aqua (OM3, OM4), Verde Lima (OM5)
Costo de los Equipos	Más elevado (transceptores láser caros)	Más económico (transceptores LED/VCSEL)
Uso Principal	Redes WAN, telefonía, TV por cable	Redes LAN, Centros de Datos, edificios

10.3 Redes de acceso

10.3.1 Tecnologías de acceso

Las redes de acceso constituyen el segmento final de una red de telecomunicaciones que conecta al proveedor de servicios con los usuarios finales. Este segmento es conocido como “última milla” y es determinante para la calidad del servicio, velocidad de transmisión y estabilidad de la conexión.

A lo largo de la evolución de las telecomunicaciones, se han desarrollado diversas tecnologías de acceso, entre las cuales destacan las redes basadas en cobre, coaxial, inalámbricas y fibra óptica.

◇ Acceso mediante par de cobre (DSL)

La tecnología DSL (Digital Subscriber Line) utiliza el par trenzado de cobre de las líneas telefónicas tradicionales para transmitir datos. Existen variantes como ADSL, VDSL y VDSL2, que permiten velocidades de transmisión limitadas por la distancia y la calidad del cableado. En el mundo de la comunicación digital, la relación entre la distancia y la velocidad de datos es un ejemplo clásico de la disyuntiva que surge de las propiedades físicas de la transmisión de señales. En el caso de la tecnología DSL, y en particular de la SHDSL (Línea de Abonado Digital Simétrica de Alta Velocidad), cuanto más lejos debe viajar la señal, más se degrada, lo que resulta en velocidades de datos más lentas. La SHDSL, a diferencia de su contraparte ADSL, ofrece velocidades de carga y descarga iguales, pero la disyuntiva se acentúa con la distancia. Por ejemplo, la SHDSL puede alcanzar una velocidad máxima de datos de aproximadamente 5,7 Mbps en distancias cortas (normalmente inferiores a 1 km). Sin embargo, a medida que la longitud de la línea se extiende (hasta aproximadamente 6 km), la velocidad máxima alcanzable disminuye significativamente, a veces hasta 192 kbps o incluso menos. Esta relación inversa se rige por factores como la atenuación y la interferencia en los cables de cobre, que se intensifican a medida que aumentan las distancias. El resultado es un equilibrio: las altas velocidades de datos solo se alcanzan en distancias cortas, mientras que las distancias más largas requieren una compensación de velocidad. Comprender esta compensación es crucial para optimizar la infraestructura de red y equilibrar las demandas contrapuestas de alcance y rendimiento.

◇ Acceso mediante cable coaxial (HFC)

Las redes HFC (Hybrid Fiber Coaxial) combinan fibra óptica hasta nodos de distribución y cable coaxial hacia los usuarios. Esta tecnología es utilizada principalmente por proveedores

de televisión por cable y ofrece mayores velocidades que DSL, aunque comparte ancho de banda entre usuarios.

◇ Acceso inalámbrico

Las tecnologías inalámbricas incluyen redes WiMAX, LTE, 5G y enlaces de radio punto a punto. Estas tecnologías permiten cobertura rápida sin infraestructura física extensa, aunque pueden verse afectadas por interferencias, obstáculos físicos y condiciones climáticas.

◇ Acceso mediante fibra óptica (FTTH)

La tecnología FTTH (Fiber To The Home) consiste en llevar fibra óptica directamente hasta el usuario final, ofreciendo altas velocidades, baja latencia y gran capacidad de transmisión, convirtiéndose en la solución más avanzada para redes de acceso.

10.3.2 Comparación entre tecnologías de acceso

Las tecnologías de acceso presentan diferencias significativas en términos de velocidad, alcance, costo y confiabilidad.

Tecnología	Medio	Velocidad típica	Distancia	Interferencias
DSL	Cobre	10–100 Mbps	< 5 km	Alta
HFC	Coaxial/Fibra	100–1000 Mbps	Media	Media
Wireless	Radio	Variable	Alta	Alta
FTTH	Fibra óptica	1–10 Gbps	> 20 km	Muy baja

10.4 Tecnología FTTH

10.4.1 Concepto de FTTH

FTTH (Fiber To The Home) es una arquitectura de red de acceso en la que la fibra óptica se extiende desde la central del proveedor de servicios directamente hasta las instalaciones del usuario final. Esta tecnología elimina los cuellos de botella asociados a medios de cobre o coaxial, permitiendo velocidades simétricas y alta confiabilidad.

El despliegue de FTTH forma parte de las redes de nueva generación (NGN), y es considerada una infraestructura estratégica para el desarrollo digital de ciudades inteligentes, industria 4.0 y servicios de alta demanda de datos.

Gracias a la conexión FTTH es posible proporcionar conexiones a Internet a una velocidad ultra rápida, pudiendo tener una conexión de 1GB o más de internet en casa.

La infraestructura Fiber To Home permite conseguir descargas y subidas de contenido rápidas, a una velocidad simétrica, sin cortes ni interrupciones de conexión.

Ventajas de la FTTH o fibra hasta casa

Algunas de las ventajas de tener una línea FTTH son:

- Velocidad. FTTH es la forma más rápida de conectarse y navegar por Internet.
- Fiabilidad. La fibra óptica es más resistente a interferencias que el cable de cobre que utiliza el ADSL por lo que la conexión siempre será más estable.
- La latencia de la FTTH es muy baja, por lo que se convierte en la mejor alternativa para esos hogares con grandes demandas de internet. Disfruta de juegos online sin interrupciones y teletrabajar desde la comodidad de tu hogar sin preocuparte por la conexión.
- Costes de mantenimiento. La fibra hasta casa tiene unos menores costes de mantenimiento que el ADSL. Es importante que nunca manipules los cables de fibra óptica que llegan a tu hogar, pues al estar compuestos por fibra de vidrio estos podrían estropearse. Sin embargo, con el correcto mantenimiento el riesgo de avería es muy bajo, lo que supone un menor coste para las operadoras.
- Capacidad. La fibra óptica es capaz de transmitir mayor cantidad de datos y, a su vez, de tener más usuarios conectados simultáneamente. Su gran ancho de banda permite tener varios dispositivos conectados al mismo tiempo sin perder calidad en la conexión a Internet.
- Adaptado para el futuro. La tecnología FTTH está completamente preparada para las necesidades del futuro, sin realizar grandes ajustes podremos disfrutar de velocidades de Internet superiores a las que cualquier hogar necesita actualmente.

Inconvenientes de la fibra hasta casa

Los inconvenientes de la fibra hasta casa o FTTH son pocos, no obstante, es importante tenerlos en cuenta:

- Costes y precio de instalación. La instalación del cable de fibra óptica para FTTH es más cara que el cable de cobre del ADSL, lo que supone una gran inversión inicial para la

operadora. Sin embargo, gracias a la mayor competitividad y presencia de más operadoras, los precios cada vez son más competitivos.

- Disponibilidad limitada. La fibra óptica aún no está presente en todas las zonas rurales o las zonas más alejadas de las ciudades. Para los usuarios de Internet que residen en zonas “remotas” el ADSL sigue siendo una buena opción. No obstante, la cobertura de la fibra óptica de la FTTH está creciendo rápidamente.

10.4.2 Arquitecturas FTTH

Existen dos arquitecturas principales:

◊ Punto a Punto (P2P)

Cada usuario tiene una fibra dedicada desde la central hasta su domicilio, ofreciendo máximo rendimiento, aunque con mayores costos de implementación.

Características Principales:

Conexión Exclusiva: Fibra dedicada por usuario, garantizando el máximo ancho de banda sin competir con otros usuarios.

Componentes: Se utiliza habitualmente un conversor de medios (transceiver) en cada extremo para gestionar la señal.

Alta Velocidad y Baja Latencia: Superior a las redes compartidas (como GPON), con retrasos inferiores a 100 ms.

Seguridad: Al no compartir la fibra, la información es más segura.

Aplicaciones: Común en conexiones WAN, enlaces troncales (backbone), FTTH (Fibra al hogar) de alto rendimiento, y sistemas industriales.

A diferencia de las redes punto a multipunto (PON), el punto a punto requiere más fibra y equipos activos, resultando en una infraestructura más costosa pero de mayor rendimiento.

◇ Punto a Multipunto (P2MP o PON)

Una sola fibra se comparte entre múltiples usuarios mediante divisores ópticos pasivos (splitters). Esta arquitectura reduce costos y es la más utilizada en redes comerciales.

Componentes Clave de la Arquitectura P2MP:

OLT (Optical Line Terminal): Equipo activo situado en la central del operador, que gestiona el tráfico de datos y envía la señal a través de la fibra.

Fibra Óptica (Red de Distribución): Medio físico, generalmente monomodo, que transporta la señal luminosa desde el OLT hacia los usuarios.

Splitter Óptico (Divisor Pasivo): Elemento fundamental sin energía eléctrica que divide la señal de una fibra en múltiples ramas (splitters), compartiendo el ancho de banda.

ONT/ONU (Optical Network Terminal/Unit): Dispositivo instalado en el domicilio del cliente que convierte la señal óptica en datos, voz y video.

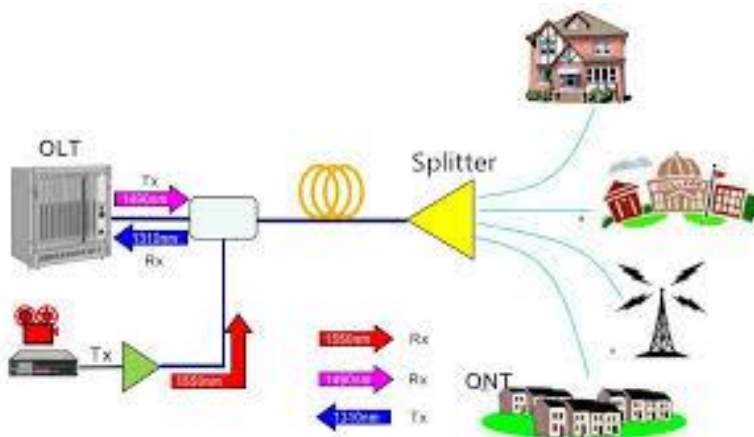
Ventajas Principales:

Eficiencia en costos: Menor uso de fibra y componentes activos.

Ahorro de energía: Los splitters no requieren energía ni mantenimiento.

Escalabilidad: Ideal para despliegues masivos en FTTH/FTTB.

Alta velocidad: Ofrece gran ancho de banda compartido, útil para servicios de internet de alta velocidad, voz y video digital.



10.4.3 Tecnología GPON y estándares

GPON (Gigabit Passive Optical Network) es un estándar definido por la ITU-T en la serie G.984, que permite velocidades de hasta 2.5 Gbps en bajada y 1.25 Gbps en subida. Esta tecnología utiliza una topología pasiva sin elementos activos intermedios entre la OLT y las ONT.

Los estándares más importantes son:

- ITU-T G.984: Especificaciones GPON

La serie ITU-T G.984 define los estándares GPON (Gigabit-capable Passive Optical Network), permitiendo velocidades de bajada (downstream) de hasta 2.488 Gbps y de subida (upstream) de 1.244 Gbps (o simétrica de 2.488 Gbps) utilizando multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en redes de fibra punto a multipunto. Utiliza longitudes de onda de 1490 nm para bajada y 1310 nm para subida, soportando divisiones de hasta 1:64 o 1:128 con alcances de más de 20 km.

- ITU-T G.988: Gestión y control de dispositivos GPON

La Recomendación ITU-T G.988 es el estándar internacional que define la Interfaz de Gestión y Control de la Unidad de Red Óptica (OMCI) para redes de acceso óptico pasivo (PON), incluyendo GPON, XG-PON y XGS-PON. Esta norma establece los mecanismos, el protocolo y las entidades gestionadas (ME) que permiten a la Terminal de Línea Óptica (OLT) en la central gestionar, configurar, supervisar y actualizar remotamente las unidades de red óptica (ONU/ONT) del cliente.

Características y Funciones Clave de G.988 (OMCI):

Modelo MIB Independiente del Protocolo: G.988 especifica una Base de Información de Gestión (MIB) que modela el intercambio de información entre la OLT y la ONU.

Funciones de Gestión: Permite la configuración de servicios (Ethernet, VoIP), aprovisionamiento, monitorización de rendimiento, gestión de fallos y descargas de software.

Interoperabilidad: Garantiza que ONUs de diferentes fabricantes puedan ser gestionadas por una OLT compatible con G.988.

Funcionamiento como Proxy: La OLT actúa como proxy, manteniendo una copia de la MIB de cada ONU, lo que facilita la gestión centralizada y permite la pre-provisión de servicios.

Seguridad: OMCI soporta mecanismos para la autenticación mutua entre la OLT y la ONU, así como el intercambio de claves de cifrado para proteger los datos

- ITU-T G.652 y G.657: Tipos de fibra monomodo

Las fibras monomodo ITU-T G.652 y G.657 son estándares fundamentales en telecomunicaciones. La **G.652D** es la fibra monomodo estándar ("bajo pico de agua") ideal para redes metropolitanas y de larga distancia. La **G.657** es una fibra insensible a las curvaturas (bend-insensitive), diseñada para FTTH y cableado de alta densidad en interiores por su mayor flexibilidad

10.4.4 Componentes de una red FTTH

◇ OLT (Optical Line Terminal)

Equipo ubicado en la central del proveedor, encargado de gestionar y controlar la red PON.

Significado de OLT

OLT son las siglas de Optical Line Terminal (Terminal de Línea Óptica), un dispositivo esencial en la Red Óptica Pasiva (PON). Funciona como el punto central que conecta fibras ópticas y gestiona la transmisión de señales. Convierte señales eléctricas en ópticas para la transmisión descendente hacia los terminales del cliente y viceversa para la transmisión ascendente.

Componentes del OLT

Un dispositivo OLT generalmente incluye los siguientes componentes:

- **Tarjeta de control:** Garantiza la operación confiable y la gestión del dispositivo.
- **Fuente de alimentación DC:** Suministra energía a los componentes.
- **Unidad de ventilación:** Controla la temperatura y las condiciones ambientales.
- **Marco de servicio:** Estructura que aloja los componentes.
- **Tarjetas de enlace ascendente:** Conectan el OLT a otros dispositivos de red.

Características del OLT

Los dispositivos OLT incluyen diversas características diseñadas para optimizar la gestión de redes PON:

- **Soporte de alto ancho de banda:** Asegura transmisión de datos rápida y confiable.
- **Escalabilidad:** Permite añadir más terminales según crezca la red.
- **Capacidad multiservicio:** Admite servicios como IPTV, VoIP y acceso a Internet.
- **Seguridad:** Ofrece cifrado y autenticación para una transmisión segura.
- **Eficiencia energética:** Diseñado para minimizar el consumo de energía.

Funciones del OLT

Las funciones principales del OLT en las redes PON incluyen:

- **Conversión de señales:** Transforma señales eléctricas en ópticas y viceversa.
- **Gestión de conectividad:** Conecta el divisor óptico y los dispositivos terminales del cliente (ONU u ONT).

- **Control y administración:** Supervisa y controla los dispositivos conectados.
- **Integración en nodos de servicio:** Conecta el OLT a dispositivos de servicio mediante puertos SNI (Service Node Interface).

Tipos de OLT

Según los estándares PON, los OLT se dividen en XGS-PON, GPON y EPON. VSOL ofrece modelos adaptados a diversas necesidades:

XGS-PON OLT

Modelos de 2/8 puertos.

Soporta mayor ancho de banda y funciones avanzadas, ideal para aplicaciones de alta demanda

◇ ODN (Optical Distribution Network)

Conjunto de cables, splitters y cajas de distribución que conforman la red pasiva.

Las redes de fibra se han convertido en la piedra angular de la banda ancha moderna, brindando conectividad confiable y de alta velocidad a hogares, oficinas y empresas. En una red de fibra hasta el hogar (FTTH) o FTTx, dispositivos como el terminal de línea óptica (OLT) y la unidad de red óptica (ONU/ONT) a menudo ocupan un lugar central. Sin embargo, hay un elemento crucial que conecta silenciosamente estos dispositivos y garantiza la entrega de señales: la red de distribución óptica (ODN).

Mientras que la OLT administra la señal y la ONU la convierte en el extremo del usuario, la ODN es la infraestructura pasiva que transporta la señal óptica de manera eficiente, confiable y rentable desde la OLT a múltiples usuarios finales.

¿Qué es la ODN (Red de Distribución Óptica)?

Una ODN, o red de distribución óptica, es la parte pasiva de una red de fibra óptica que conecta la OLT en la oficina central con las ONU/ONT en las instalaciones del cliente. A diferencia de los dispositivos activos, el ODN no requiere energía externa para funcionar. Simplemente guía las señales ópticas a través de una combinación de fibras, divisores, conectores y cierres.

El ODN garantiza que una sola señal óptica se pueda distribuir a múltiples usuarios mientras se mantiene la integridad de la señal. Forma la columna vertebral de las implementaciones de FTTH y su diseño juega un papel fundamental en la escalabilidad, el rendimiento y la eficiencia del mantenimiento de la red.

Componentes clave de una ODN

Una ODN típica comprende varios elementos pasivos, cada uno con una función distinta:

- **Cables de fibra óptica:** El medio para la transmisión de luz, generalmente fibras monomodo para redes de alta velocidad y larga distancia.
- **Divisores ópticos:** Dispositivos que dividen una señal óptica en varias salidas, que admiten relaciones como 1:8, 1:16 o 1:64 según la densidad de usuarios.
- **Marcos de distribución y cierres:** Gabinetes protectores para el empalme y la administración de fibra, manteniendo la red organizada y segura.
- **Conectores y adaptadores:** Proporcione conexiones confiables con una pérdida de inserción mínima, lo que permite una fácil integración de fibras.
- **Latiguillos y coletas:** Fibras cortas utilizadas para conectar dispositivos a puntos de distribución, lo que facilita una gestión flexible de la red.

Tabla: Componentes y funciones de ODN

Componente	Función	Colocación
Fibra óptica	Transmite señales ópticas	A lo largo de ODN
Divisor	Divide la señal para múltiples usuarios	Sección de distribución
Clausura	Protege las juntas de fibra	Puntos de distribución exteriores o interiores
Conector	Conecta fibras con una pérdida mínima	Puntos de terminación
Cable de conexión / Pigtail	Conexiones flexibles	Terminaciones ONU/OLT

Estructura y jerarquía de ODN

La ODN suele estar estructurada en **tres segmentos jerárquicos**, cada uno optimizado para el rendimiento y la escalabilidad:

- **Sección de alimentación:** El camino de la fibra desde el OLT hasta el primer divisor óptico, generalmente cubriendo largas distancias.
- **Sección de distribución:** Se extiende desde el divisor principal hasta los divisores secundarios o puntos de distribución, ramificándose hacia los clústeres de usuarios.
- **Sección de caída:** La conexión final desde el último divisor a las ONU/ONT individuales en las instalaciones del cliente.

Esta estructura forma una **topología en forma de árbol**, común en implementaciones GPON y EPON (Ethernet Passive Optical Network), lo que garantiza una distribución eficiente y minimiza la pérdida de señal.

Principios de diseño de ODN

El diseño de una ODN efectiva requiere una planificación e ingeniería cuidadosas. Los principios clave incluyen:

- **Presupuesto de potencia óptica:** Garantizar que la atenuación de la señal de OLT a ONU se mantenga dentro de los límites definidos por los estándares PON (por ejemplo, ≤ 28 dB para GPON).
- **Selección de relación de divisor:** Equilibrar el número de usuarios atendidos por una sola fibra mientras se mantiene una calidad de señal aceptable.
- **Distancia y ruta:** Optimización de las longitudes de los cables de alimentación, distribución y acometida para reducir las pérdidas y mejorar la fiabilidad.
- **Mantenibilidad:** Diseño de puntos modulares y accesibles para facilitar la detección y reparación de fallas.
- **Escalabilidad:** Planificación de futuras actualizaciones, como 10G-PON o XGS-PON, sin necesidad de grandes cambios en la infraestructura.

Un ODN bien diseñado garantiza el **rendimiento de la red a largo plazo, menores costos operativos y mayor confiabilidad**.

Ventajas de un ODN bien diseñado

Una ODN correctamente implementada ofrece varios beneficios:

- **Alta confiabilidad:** Los componentes pasivos reducen los riesgos de falla en comparación con los elementos activos de la red.
- **Bajo mantenimiento:** No se requiere fuente de alimentación, lo que simplifica las operaciones de red.
- **Rentabilidad:** Las fibras ópticas compartidas permiten que varios usuarios se conecten a través de una sola línea.
- **Flexibilidad:** La red puede adaptarse a diferentes escalas de despliegue, desde áreas urbanas densas hasta regiones rurales dispersas.
- **A prueba de futuro:** Admite actualizaciones sin problemas a estándares de ancho de banda más altos sin necesidad de un recableado importante.

Escenarios comunes de implementación de ODN

Las ODN se implementan en una variedad de redes FTTH / FTTB / FTTO:

- **FTTH (Fibra hasta el hogar):** Conexiones directas de fibra para hogares individuales en comunidades residenciales.
- **FTTB (Fibra hasta el edificio):** Infraestructura ODN compartida que da servicio a edificios de múltiples inquilinos o complejos de apartamentos.
- **FTTO (Fibra hasta la oficina):** Proporciona conexiones estables y de alta velocidad para usuarios empresariales y oficinas pequeñas.
- **Banda ancha rural:** Implementaciones de ODN de larga distancia con divisores cuidadosamente colocados para maximizar la cobertura en áreas de baja densidad.

- Cada escenario exige **consideraciones específicas de diseño de ODN**, como la relación de división, el enrutamiento de fibra y las medidas de protección.

Pruebas y mantenimiento de ODN

Aunque ODN es pasivo, las pruebas y el mantenimiento regulares son esenciales para garantizar el rendimiento de la red:

- **Prueba de pérdida óptica:** Mida la atenuación total de la fibra para verificar el cumplimiento del presupuesto de energía.
- **OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo):** Detecta fallas, roturas o problemas de empalme de fibra.
- **Localizadores visuales de fallas:** Herramienta simple para identificar roturas de fibra o conexiones incorrectas.

Documentación: Los registros detallados de ODN ayudan a localizar fallas rápidamente y planificar actualizaciones.

El mantenimiento proactivo reduce el tiempo de inactividad y mantiene la red FTTH funcionando con la máxima eficiencia.

◇ Splitters ópticos

Dispositivos pasivos que dividen la señal óptica en múltiples salidas (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64).

Un splitter óptico es un dispositivo pasivo que divide una señal óptica en múltiples señales. Esto se logra utilizando tecnología basada en fibra óptica para dividir la luz en varias salidas, permitiendo así que una única señal pueda distribuirse a múltiples ubicaciones. Los splitters se utilizan ampliamente en redes de acceso de telecomunicaciones, donde una única fuente de señal debe ser compartida entre muchos usuarios finales.

Tipos de splitters ópticos

Existen principalmente dos tipos de splitters ópticos:

Splitters ópticos balanceados: Dividen la señal de manera equitativa entre todas las salidas. Si tienes un splitter 1x4, cada salida recibirá un 25% de la potencia original.



Splitters ópticos desbalanceados: No distribuyen la señal de forma uniforme. Se usan en casos específicos donde algunas salidas requieren más potencia óptica que otras.



¿Cómo funcionan los splitters ópticos?

Los splitters ópticos están diseñados para dividir una señal óptica en múltiples señales de salida, permitiendo que una sola fibra óptica sirva a varios usuarios o dispositivos. Este proceso se realiza de dos maneras principales, utilizando fibra óptica fusionada o tecnología de guía de onda planar (PLC, Planar Lightwave Circuit), y es importante entender cómo cada una funciona:

Splitters basados en fibra óptica fusionada: En este tipo de splitter, múltiples fibras se fusionan a lo largo de una longitud específica. La luz que ingresa en la fibra de entrada se distribuye en las fibras de salida, dividiendo la señal óptica a través de una transición gradual

y controlada de las fibras. Este método es ideal para aplicaciones donde no se requieren divisiones de gran escala, como en los splitters 1x2 o 1x4, ya que se minimizan las pérdidas. A pesar de esto, conforme el número de divisiones aumenta, la pérdida de potencia de la señal también incrementa.

Splitters PLC (Planar Lightwave Circuit): Los splitters basados en PLC son más avanzados tecnológicamente. Utilizan guías de onda fabricadas en un sustrato de sílice, donde las señales ópticas se dividen a través de canales previamente diseñados. Este enfoque permite crear splitters más compactos y precisos, con una distribución más uniforme de la señal. Los PLC son ampliamente usados en redes de gran escala, como FTTH, donde se requieren divisiones más extensas (por ejemplo, 1x32 o 1x64). A pesar de que la señal se debilita con cada división, los PLC aseguran que cada salida reciba una señal óptica más equilibrada en términos de potencia, lo que es clave en redes de mayor alcance.

Proceso de división de la señal: La luz que viaja por una sola fibra se introduce en el splitter. Dependiendo del número de divisiones, la señal se distribuye proporcionalmente a las salidas, pero esto implica una disminución en la potencia de la señal en cada salida.

Por ejemplo:

En un splitter 1x2, la señal se divide en dos, y cada salida recibirá el 50% de la potencia original, con una pérdida típica de alrededor de 3 dB.

En un splitter 1x8, la señal óptica se divide en 8 salidas, cada una recibiendo aproximadamente el 12.5% de la potencia inicial, con una pérdida que puede ser de 10-11 dB.

Es fundamental entender que la **pérdida de inserción** (la reducción en la potencia de la señal debido a la división) es inevitable en cualquier tipo de splitter. Sin embargo, la tecnología PLC ha logrado minimizar esta pérdida y distribuirla de manera uniforme entre todas las salidas, lo cual es crucial en redes de telecomunicaciones donde es necesario asegurar que todos los usuarios reciban una señal óptica dentro de un rango aceptable para garantizar un servicio de calidad.

Relación entre el número de divisiones y la pérdida de señal: La relación entre la cantidad de divisiones y la pérdida de señal es exponencial. Por ejemplo, un splitter 1x64 tendrá una pérdida de inserción mucho mayor que un splitter 1x4. Sin embargo, el uso de amplificadores ópticos o una planificación adecuada de la red puede compensar estas pérdidas, permitiendo a los operadores mantener un rendimiento aceptable en redes de mayor extensión. Por esta razón, es vital analizar cuidadosamente la topología de la red para optimizar la utilización de los splitters y asegurar que la potencia de la señal sea suficiente para alcanzar a los usuarios más lejanos.

Diferencias en rendimiento entre tipos de splitters: Los splitters basados en PLC ofrecen varias ventajas sobre los de fibra fusionada, especialmente en términos de precisión, uniformidad de la señal y capacidad para soportar más divisiones. Además, los PLC son mucho más compactos y permiten configuraciones de división más grandes en un espacio más reducido, haciéndolos ideales para redes FTTH de alta densidad. Por otro lado, los splitters de fibra fusionada suelen ser más económicos y adecuados para aplicaciones con menos divisiones y cuando el presupuesto es un factor determinante.

Factores a considerar al usar splitters ópticos

Si bien los splitters son increíblemente útiles, hay algunos factores a tener en cuenta:

Pérdida de inserción: Al dividir la señal, siempre se experimenta una pérdida de potencia óptica, conocida como pérdida de inserción. Es importante asegurarse de que el diseño de la red contemple esta pérdida y se utilicen amplificadores o fuentes de señal más potentes si es necesario.

Calidad del splitter: No todos los splitters son iguales. Algunos ofrecen una mejor distribución de la señal y menor pérdida de inserción. Los splitters de alta calidad están certificados y cumplen con estándares internacionales, lo que garantiza un rendimiento óptimo.

Topología de red: Dependiendo del tipo de red y la distancia entre la fuente de señal y los usuarios finales, puede ser necesario ajustar el número de splitters o su ubicación para evitar pérdidas excesivas de señal.

◇ ONT/ONU (Optical Network Terminal/Unit)

Equipo instalado en el domicilio del usuario que convierte la señal óptica en señal eléctrica para los dispositivos.

La ONU (**Unidad de Red Óptica**) y la ONT (**Terminal de Red Óptica**) son dispositivos utilizados en redes de fibra óptica (FTTH/PON) para convertir señales de luz en señales eléctricas, permitiendo internet, telefonía y TV en el hogar u oficina. Básicamente son lo mismo: la ONT es el término técnico del estándar UIT-T, mientras que la ONU proviene del IEEE.

Detalles claves de ONU y ONT:

- **Función Principal:** Reciben la fibra óptica del proveedor y la convierten en una conexión Ethernet (cable de red) o WiFi que pueden usar tus dispositivos.
 - **ONT (Optical Network Terminal):** Se refiere al dispositivo final instalado **dentro** del hogar u oficina del usuario. A menudo incluye Wi-Fi integrado, funcionando como un "módem" de fibra.
 - **ONU (Optical Network Unit):** Es un término más general y puede ubicarse tanto dentro como fuera de la casa, a veces sirviendo a múltiples usuarios en redes FTTH/FTTB.
 - **Diferencia Técnica:** Las ONT se instalan directamente con el usuario final, mientras que las ONU pueden usarse en contextos de red más amplios (exterior o vecindario).
- Ambos dispositivos son fundamentales para la comunicación de alta velocidad entre el usuario y la central del proveedor de servicios (OLT).



10.5 Parámetros técnicos de la fibra óptica

Los parámetros técnicos de la fibra óptica permiten evaluar el desempeño, calidad y viabilidad de una red FTTH. Estos parámetros son fundamentales para el diseño, implementación y certificación de enlaces ópticos, ya que determinan el alcance, la velocidad y la confiabilidad del sistema de transmisión.

Entre los principales parámetros técnicos se encuentran la atenuación, la potencia óptica, el presupuesto de potencia, la longitud de onda y la dispersión.

10.5.1 Atenuación

La atenuación es la pérdida de potencia de la señal óptica a medida que se propaga a través de la fibra. Se expresa en decibelios por kilómetro (dB/km) y depende del tipo de fibra, la longitud de onda y la calidad del cable.

La atenuación total de un enlace se calcula mediante la suma de las pérdidas del cable, empalmes, conectores y dispositivos pasivos.

Fórmula de atenuación:

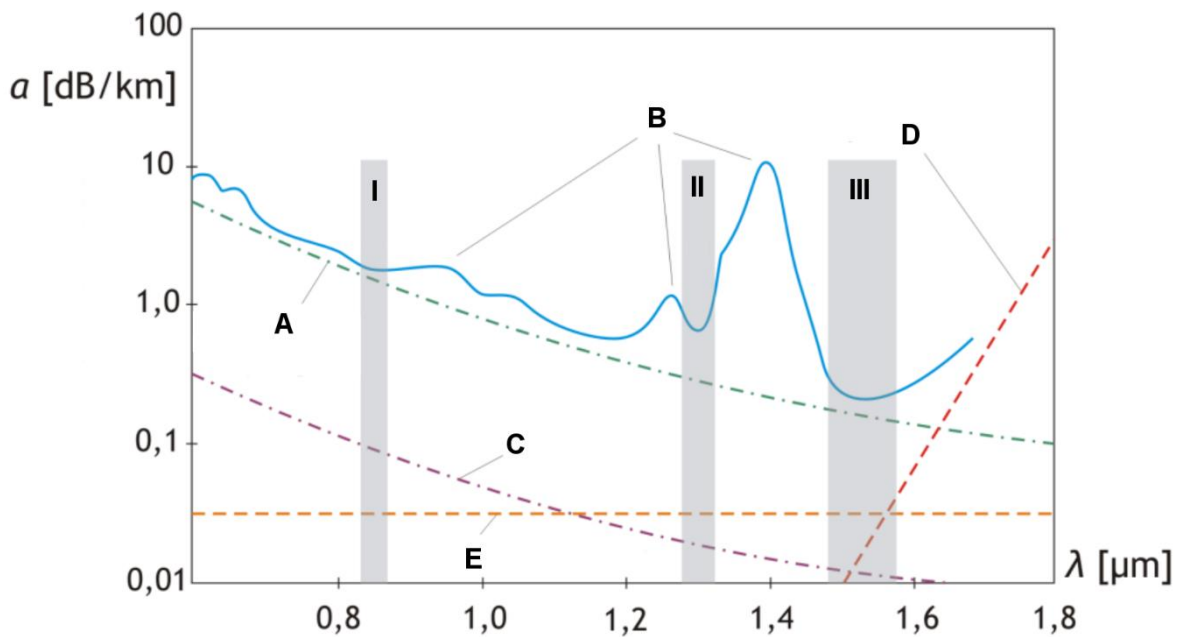
Donde:

$$A_{\text{total}} = \alpha \cdot L + \sum P_{\text{empalmes}} + \sum P_{\text{conectores}} + P_{\text{splitters}}$$

- α = coeficiente de atenuación (dB/km)
- L = longitud del enlace (km)

Valores típicos:

- 0.35 dB/km a 1310 nm
- 0.20 dB/km a 1550 nm



La pérdida o atenuación puede ser causada por factores intrínsecos y extrínsecos.

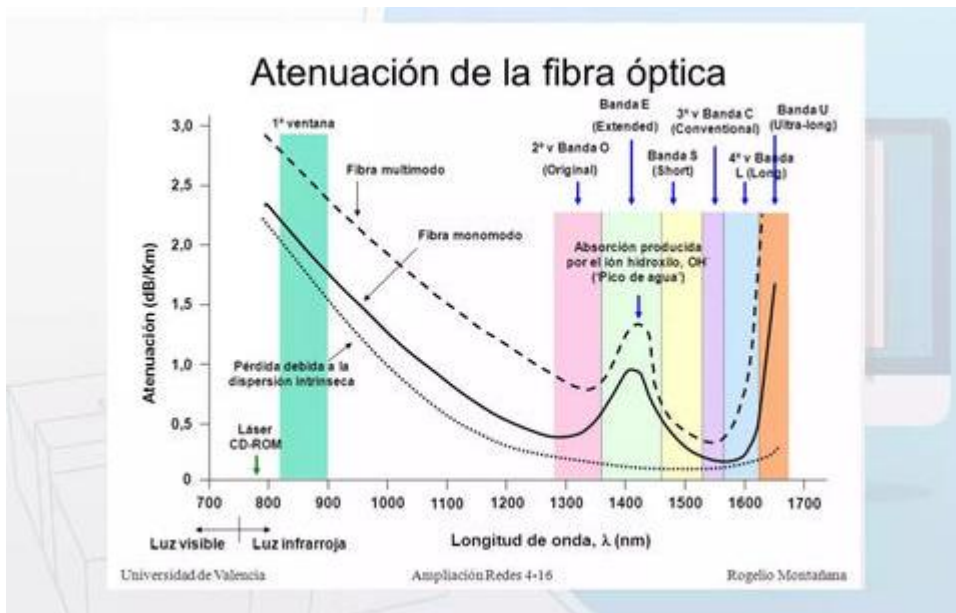
Intrínsecos: Son todos los factores que se refieren al proceso de fabricación de la fibra como puede ser impurezas en el vidrio, parámetros geométricos (núcleos ovalados), los materiales con los que está construida la fibra pueden absorber o dispersar parte de la luz.

Extrínsecos: Son los factores externos que vamos agregando a la fibra, como defectos de instalación, macro y micro curvaturas, acoplamiento de fibras erróneamente, suciedad en conectores y empalmes, splitters, atenuadores, entre otros.

Todos estos factores van consumiendo potencia la señal, de hecho, ya de por sí cada kilómetro de fibra cuenta con una pérdida por kilómetro que debe ser tomada en cuenta cuando realizas un presupuesto de pérdida óptica.

Cada evento agregado al enlace de fibra óptica va sumando atenuación y va restando potencia óptica. Hoy en día contamos con estándares que nos brindan los valores permitidos para cada uno de estos eventos, por ejemplo, un empalme por fusión debe ser de aproximadamente 0.1 dB para ser considerado como normal o dentro de los parámetros, la unión de dos conectores es de 1 dB, pero estos valores van a depender de la longitud de onda, ya que en cada una hay distinta sensibilidad según el fenómeno o evento.

Cabe mencionar que todos los enlaces de comunicaciones y conexiones sufren atenuación, no es exclusivo de la fibra óptica; sin embargo, la atenuación en un enlace de fibra es menor a un enlace inalámbrico o de cobre, es por ello por lo que la fibra óptica ha tenido presencia en enlaces de larga distancia.



Ventana	Banda ITU-T	Longitud de onda (nm)	Tipo de fibra usada
1		820 a 900	Multimodo
2	O	1260 a 1360	Monomodo y multimodo
3	E S C	1360 a 1460 1460 a 1530 1530 a 1565	Monomodo Monomodo Monomodo
4	L U	1565 a 1625 1625 a 1675	Monomodo Monomodo

10.5.2 Potencia óptica

La potencia óptica es la cantidad de energía luminosa transmitida por el emisor o recibida por el receptor. Se mide en dBm y es un parámetro crítico para garantizar la correcta recepción de la señal.

Los transmisores ópticos (láser o LED) emiten una potencia determinada, mientras que los receptores requieren un nivel mínimo para operar correctamente.

Ejemplo de niveles típicos:

- Potencia de transmisión OLT: +3 a +7 dBm
- Sensibilidad de receptor ONT: -28 a -8 dBm

Splitter	Pérdida típica
1:2	3.5 dB
1:4	7.2 dB
1:8	10.5 dB
1:16	13.5 dB
1:32	17 dB
1:64	20 dB

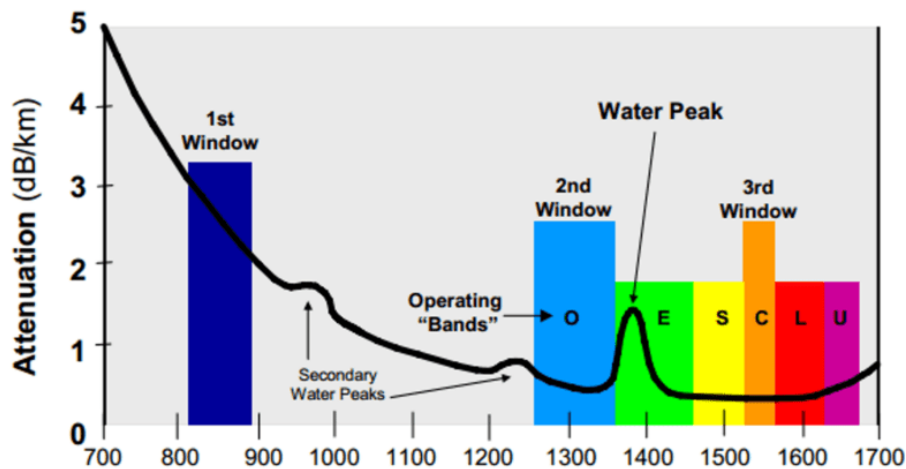
10.5.4 Longitud de onda

La longitud de onda es la distancia entre dos picos consecutivos de una onda luminosa y se mide en nanómetros (nm). En fibra óptica se utilizan principalmente tres ventanas de transmisión:

- 850 nm (multimodo)
- 1310 nm (monomodo)
- 1550 nm (monomodo, baja atenuación)

En redes FTTH GPON se utilizan típicamente:

- 1310 nm para subida
- 1490 nm para bajada
- 1550 nm para video RF



En las comunicaciones ópticas, según las aplicaciones y tecnologías específicas, generalmente existen varias longitudes de onda comunes de 950 nm, 1310 nm y 1550 nm.

La longitud de onda de 850 nm se utiliza principalmente para aplicaciones de corta distancia y se transmite mediante fibra óptica multimodo. Por ejemplo, en redes de área local y centros de datos, se suele utilizar la longitud de onda de 850 nm, generalmente junto con la tecnología VCSEL, para la transmisión de señales ópticas.

La fibra óptica de 1310 nm se utiliza generalmente para transmisiones de media y larga distancia, y puede emplear fibras ópticas multimodo y monomodo. En el caso de la fibra óptica multimodo, se utiliza principalmente para transmisiones de corta distancia y se combina con fibra óptica multimodo. En el caso de la fibra óptica monomodo, se utiliza principalmente para transmisiones de media distancia y se combina con fibra óptica monomodo.

1550 nm es la longitud de onda más común en transmisiones de larga distancia, generalmente utilizada con DFB o DRB. Generalmente aparece en escenarios como redes de área metropolitana y sistemas submarinos de fibra óptica.

Las tres anteriores son longitudes de onda comunes. Por supuesto, en tecnologías o aplicaciones específicas, se utilizarán longitudes de onda más estrechas o personalizadas. Todo depende de factores como la distancia de transmisión, el equipo utilizado, la compatibilidad y el sistema de fibra óptica.

¿Por qué estas longitudes de onda?

En primer lugar, debido a las características de atenuación de las fibras ópticas, los diferentes tipos de fibra óptica presentan distintos niveles de atenuación a distintas longitudes de onda. Por lo tanto, al elegir una longitud de onda, es necesario elegir la que presente la menor atenuación en la ventana de baja pérdida de la fibra óptica. Por ejemplo, las longitudes de

onda de 1310 nm y 1550 nm coinciden con la zona de baja pérdida, por lo que son más adecuadas para la transmisión a larga distancia.

En segundo lugar, la distancia de transmisión hará que diferentes longitudes de onda tengan diferentes grados de atenuación de señal a lo largo de la distancia de transmisión debido al efecto de dispersión de la fibra y la no linealidad de la fibra. 1310 nm y 1550 nm no se ven fácilmente afectados por la dispersión, por lo que la distancia de transmisión es mayor. 850 nm es más adecuado para la transmisión de corta distancia.

En la industria, algunas longitudes de onda también han sido estandarizadas por organismos de normalización y reguladores como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) y gozan de una amplia adopción. Esto garantiza la interoperabilidad y la compatibilidad entre diferentes sistemas.

Estas bandas se han utilizado durante mucho tiempo, con una tecnología bastante avanzada y un rendimiento fiable, y pueden emplearse en aplicaciones a gran escala. Esto también ha sido un hábito durante mucho tiempo. En los últimos años, también se han utilizado módulos con otras longitudes de onda, pero actualmente estas tres longitudes de onda son las más utilizadas.

Ventajas de cada longitud de onda

850nm

El costo de la longitud de onda de 850 nm es menor que el de las otras dos longitudes de onda, y es más adecuada para implementaciones a gran escala gracias al uso de láseres VCSEL avanzados. Además, admite transmisión de alta velocidad en distancias cortas y presenta baja atenuación, lo que le confiere una amplia gama de aplicaciones.

1310nm

La menor dispersión de 1310 nm le permite mantener una buena integridad de la señal dentro de los 10 kilómetros, lo que lo hace adecuado para conexiones de corta a media distancia, compensando el defecto de que 850 nm no pueden transmitir largas distancias.

1550nm

La longitud de onda de 1550 nm es más adecuada para transmisiones a larga distancia. Sus características de atenuación de señal y menor dispersión le permiten adaptarse a transmisiones de señales de alta calidad a decenas de kilómetros. Además, 1550 nm admite la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda, que permite transmitir múltiples señales ópticas en una sola fibra óptica, lo que mejora significativamente la tasa de utilización de la luz.

10.6 Normatividad y estándares en redes de fibra óptica y FTTH

La normatividad y los estándares en telecomunicaciones tienen como finalidad garantizar la interoperabilidad, seguridad, calidad y confiabilidad de los sistemas de comunicación. En el caso de las redes de fibra óptica y FTTH, existen organismos internacionales y nacionales que establecen recomendaciones técnicas y lineamientos para el diseño, instalación y operación de estas redes.

El cumplimiento de estas normas permite que los equipos de distintos fabricantes sean compatibles entre sí, que las instalaciones cumplan con requisitos de calidad y que los servicios ofrecidos a los usuarios finales sean confiables y estables.

10.6.1 Estándares internacionales de fibra óptica

Las características físicas y ópticas de las fibras ópticas están definidas por recomendaciones internacionales, principalmente por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T). Estas normas especifican parámetros como la atenuación, dispersión, diámetro del núcleo y revestimiento, así como las longitudes de onda de operación.

Entre las principales recomendaciones se encuentran:

- **G.652:** Define las características de la fibra monomodo estándar utilizada en telecomunicaciones.
- **G.657:** Especifica fibras monomodo con alta tolerancia a curvaturas, utilizadas en instalaciones FTTH dentro de edificios y domicilios.

Estas recomendaciones aseguran que las fibras ópticas utilizadas en las redes FTTH cumplan con los requisitos técnicos para transmisión de alta velocidad y baja pérdida de señal.

Característica	Estándar ITU-T G.652 (Standard SMF)	Estándar ITU-T G.657 (Bend Insensitive)
Descripción	Fibra monomodo estándar, la más común en redes troncales.	Fibra monomodo insensible a las curvaturas.
Aplicación Principal	Redes de larga distancia (Long-haul) y redes metropolitanas.	Redes FTTH (Fibra hasta el hogar), edificios y centros de datos.
Radio de Curvatura	Típicamente 30 mm (radio mínimo recomendado).	Reducido: 7.5 mm a 15 mm (según la subcategoría).
Pérdida por Macrocurvatura	Alta si se dobla demasiado; riesgo de rotura de señal.	Muy baja; diseñada para esquinas y espacios reducidos.
Compatibilidad	Es la base de la industria.	Totalmente compatible con G.652 (especialmente G.657.A).
Costo	Más económica y masiva.	Ligeramente más costosa debido al proceso de fabricación.
Subcategorías comunes	G.652.D (la versión más moderna y usada).	G.657.A1, A2 (compatibles) y B2, B3 (ultra flexibles).

10.6.2 Estándares de redes PON y GPON

Las redes FTTH basadas en arquitectura PON están reguladas por la serie de recomendaciones ITU-T G.984 y G.988, las cuales definen las especificaciones técnicas de los sistemas GPON, incluyendo:

- Velocidades de transmisión en sentido descendente y ascendente.
- Longitudes de onda utilizadas para transmisión de datos y video.
- Métodos de multiplexación y control del tráfico.
- Protocolos de gestión y monitoreo de la red.

Estos estándares permiten que los equipos OLT y ONT de diferentes fabricantes puedan interoperar en una misma red, facilitando la expansión y mantenimiento del sistema.

Parámetro Técnico	Recomendación ITU-T G.984 (GPON)	Recomendación ITU-T G.988 (OMCI)
Nombre del Estándar	Gigabit-capable Passive Optical Networks.	ONU Management and Control Interface.
Función Principal	Define la capa física (PMD) y de convergencia (TC).	Define la gestión, configuración y monitoreo de la ONU/ONT.
Velocidad Downstream	2.488 Gbps	N/A (Interfaz de gestión de software).
Velocidad Upstream	1.244 Gbps (Asimétrico)	N/A (Canal de control).
Longitud de Onda (DS)	1490 nm	Define cómo se gestionan los servicios sobre la fibra.
Longitud de Onda (US)	1310 nm	Define alarmas, rendimiento y aprovisionamiento.
Alcance Lógico Máximo	Hasta 60 km	Soporta la gestión remota sin intervención física.
Ratio de División (Split)	1:64 (común) hasta 1:128	Independiente del split físico.
Seguridad	Cifrado AES-128 (solo Downstream).	Gestión de perfiles de usuario y seguridad.

10.6.3 Normas de instalación y buenas prácticas

Además de las recomendaciones técnicas, existen normas y guías de buenas prácticas para la instalación de redes de fibra óptica, las cuales incluyen:

- Radio mínimo de curvatura de la fibra óptica para evitar pérdidas y daños físicos.
- Métodos de empalme por fusión y uso de conectores ópticos.
- Identificación y etiquetado de cables y cajas de distribución.
- Protección mecánica y ambiental del cableado óptico.
- Pruebas de certificación mediante OTDR y medidores de potencia óptica.

El cumplimiento de estas prácticas asegura la calidad del enlace y reduce la probabilidad de fallas en la red

10.6.4 Regulación de telecomunicaciones en México

En México, las telecomunicaciones están reguladas por el Instituto Federal de Telecomunicaciones (IFT), organismo autónomo encargado de supervisar y regular el uso del espectro radioeléctrico, las redes de telecomunicaciones y los servicios de radiodifusión.

El IFT establece lineamientos para los proveedores de servicios de internet y telecomunicaciones, incluyendo obligaciones de calidad del servicio, cobertura, interconexión y protección al usuario final. Estas regulaciones buscan promover la competencia, mejorar la calidad del servicio y garantizar el acceso a las tecnologías de la información y comunicación.

10.6.5 Importancia del cumplimiento de normas y estándares

El uso de normas y estándares en el diseño e implementación de redes FTTH garantiza:

- Interoperabilidad entre equipos de diferentes fabricantes.
- Calidad y confiabilidad del servicio ofrecido a los usuarios.
- Reducción de fallas y mantenimiento preventivo eficiente.
- Cumplimiento de requisitos regulatorios y legales.

Por lo tanto, la normatividad constituye un elemento fundamental para el desarrollo de infraestructuras de telecomunicaciones modernas y eficientes.

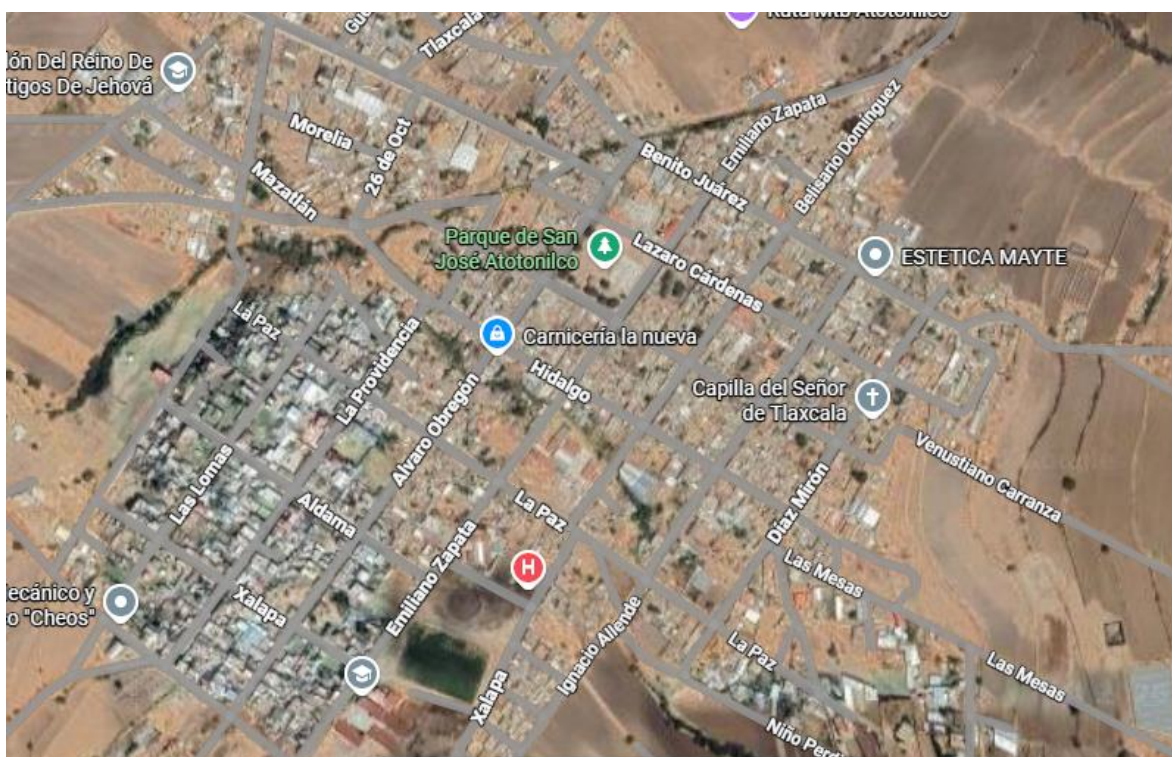
11. Procedimiento y descripción de las actividades realizadas

11.1 Diagnóstico del área de cobertura y demanda

Descripción de la zona

Se realizó un diagnóstico inicial en la comunidad de San José Atotonilco con características principalmente rurales, donde se analizó la distribución geográfica, densidad poblacional y disposición de viviendas. La zona presenta una distribución dispersa de los hogares, con vialidades principales y secundarias que permiten la instalación de infraestructura aérea mediante postes existentes.

Este análisis permitió identificar las áreas con mayor concentración de usuarios potenciales y definir los sectores prioritarios para el despliegue de la red FTTH.



Número estimado de usuarios potenciales

A partir del análisis visual y geográfico de la comunidad, se estimó un número aproximado de usuarios potenciales considerando la cantidad de viviendas y establecimientos presentes en la zona. El estudio permitió proyectar la demanda inicial del servicio de internet de fibra óptica, considerando hogares, pequeños comercios y posibles instituciones educativas o administrativas dentro del área de cobertura.

Con base en datos del Censo de Población y Vivienda 2020 del INEGI, la comunidad de San José Atotonilco, perteneciente al municipio de Tlaxco, Tlaxcala, cuenta con una población aproximada de 3,637 habitantes. Considerando un promedio de 3.5 a 4 personas por vivienda, se estimó la existencia de aproximadamente 900 viviendas en la zona de estudio.

Para el proyecto de red FTTH, se realizó una proyección de adopción del servicio considerando escenarios de penetración del 30%, 50% y 70%, lo que representa un rango estimado de entre 270 y 630 usuarios potenciales. Esta estimación permitió dimensionar la capacidad de la red, seleccionar los equipos adecuados y definir la infraestructura necesaria para el despliegue del servicio.

Escenario de adopción	Porcentaje de penetración	Usuarios potenciales estimados	Descripción del escenario
Escenario conservador	30 %	270 usuarios	Adopción inicial limitada, debido a factores económicos o desconocimiento del servicio
Escenario moderado	50 %	450 usuarios	Adopción promedio esperada en comunidades con oferta competitiva de internet
Escenario optimista	70 %	630 usuarios	Alta adopción debido a necesidad de conectividad y baja competencia tecnológica

Infraestructura existente

Durante el diagnóstico se identificó la infraestructura disponible para el despliegue de la red, incluyendo:

- Postes de energía eléctrica utilizados como soporte para cableado aéreo.
- Rutas de acceso y vialidades donde se puede realizar el tendido de fibra óptica.
- Presencia de cableado previo de cobre o coaxial de proveedores tradicionales, lo que evidenció la existencia de servicios de telecomunicaciones con tecnologías antiguas.

Esta información fue fundamental para definir la estrategia de instalación y minimizar costos de infraestructura adicional.

Problemas detectados

Se detectaron diversas problemáticas relacionadas con los servicios de telecomunicaciones existentes en la comunidad, entre las cuales destacan:

- Baja velocidad de conexión a internet.
- Falta de cobertura en algunas zonas periféricas.
- Saturación de la red actual, especialmente en horarios de alta demanda.

Estos problemas justificaron la implementación de una red FTTH como solución para mejorar la calidad del servicio y la experiencia del usuario final.

Herramientas utilizadas

Para el análisis geográfico y diagnóstico del área se utilizó la herramienta Google Earth, la cual permitió:

- Visualizar la distribución de viviendas y calles.
- Medir distancias entre puntos de instalación.
- Identificar rutas óptimas para el tendido de fibra óptica.
- Localizar posibles puntos estratégicos para la instalación de equipos de red.





11.2 Diseño de la topología de la red FTTH

Diseño de la topología de la red FTTH basada en arquitectura GPON P2MP

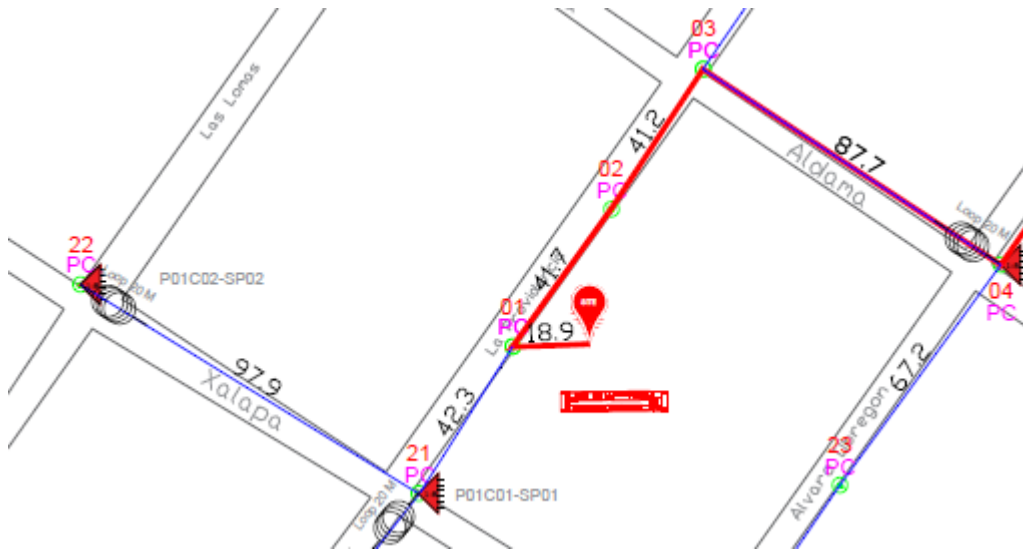
Para el diseño de la red de acceso de fibra óptica se implementó una arquitectura **GPON (Gigabit Passive Optical Network) bajo un esquema P2MP (Point-to-Multipoint)**, la cual permite distribuir la señal óptica desde un punto central hacia múltiples usuarios mediante componentes pasivos.

La topología adoptada fue de tipo árbol, donde un equipo central OLT (Optical Line Terminal) actúa como punto de origen de la señal óptica y se conecta a múltiples usuarios finales a través de una red de distribución compuesta por fibra óptica monomodo, splitters pasivos y cajas de distribución NAP.

En esta arquitectura, la señal se transmite desde el OLT hacia los usuarios a través de la red de distribución óptica (ODN), donde los divisores ópticos pasivos permiten dividir la señal sin necesidad de alimentación eléctrica, optimizando costos de instalación y mantenimiento. Finalmente, cada usuario recibe la señal mediante un equipo ONT (Optical Network Terminal), el cual convierte la señal óptica en señal eléctrica para su uso en dispositivos finales.

El diseño consideró la ubicación estratégica del OLT dentro de la comunidad, así como la distribución de las rutas de fibra óptica siguiendo las vialidades existentes y la concentración de viviendas, con el objetivo de garantizar cobertura eficiente y minimizar la longitud del cableado. Asimismo, se definió el nivel de división óptica (split ratio) adecuado para soportar el número estimado de usuarios potenciales, asegurando la calidad del servicio y la escalabilidad futura de la red.

Ubicación de la OLT



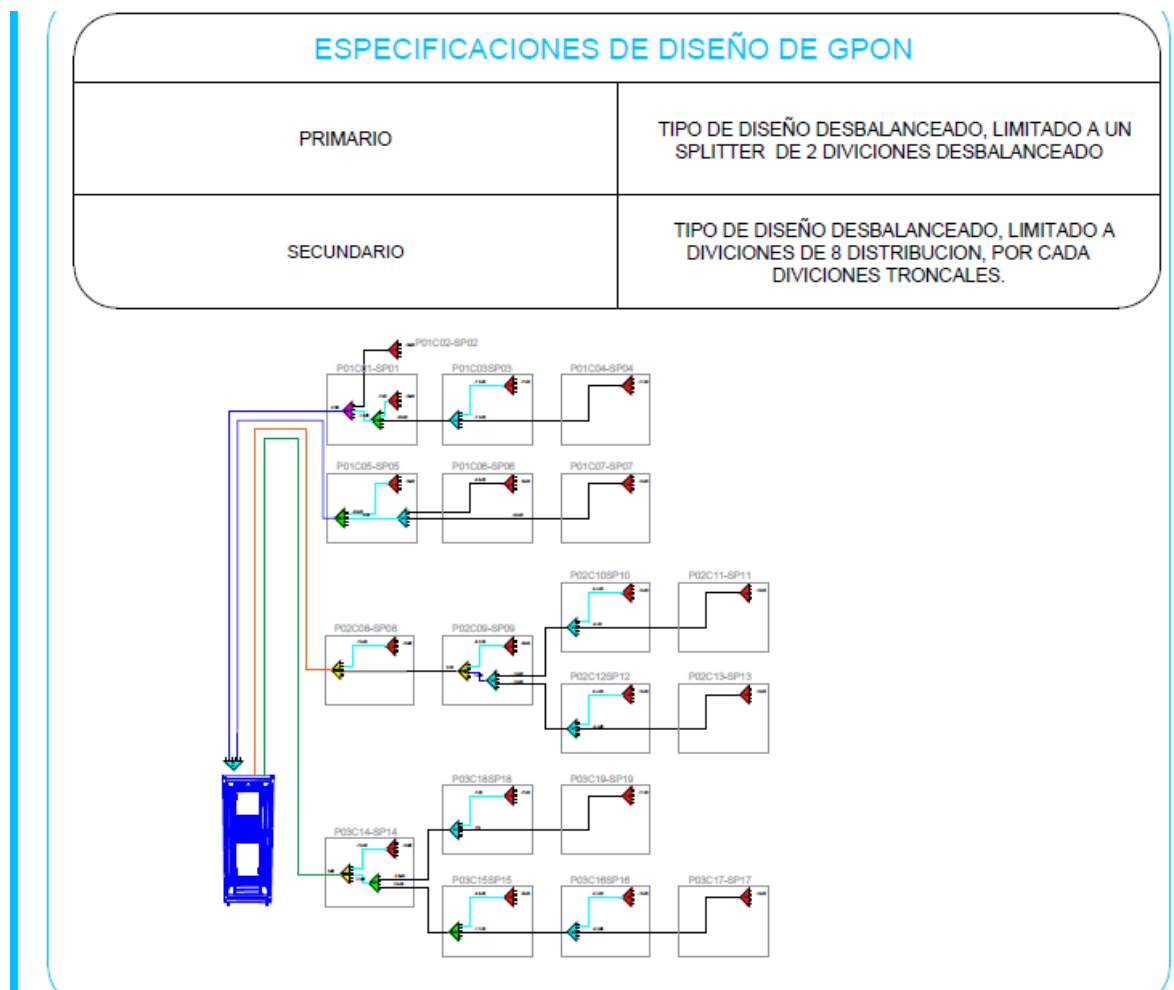
Niveles de la red FTTH

La red FTTH se estructuró en tres niveles principales: red troncal, red de distribución y red de acceso. La red troncal se encarga de transportar el tráfico de datos desde la central del proveedor hasta los nodos de distribución, utilizando fibra óptica monomodo de alta capacidad. La red de distribución tiene como función dividir y distribuir la señal óptica hacia las diferentes zonas de cobertura mediante el uso de splitters ópticos pasivos y cajas de distribución. Finalmente, la red de acceso o red drop conecta la infraestructura de distribución con los usuarios finales mediante cables de acometida y equipos ONT.

En la siguiente imagen se muestra la simbología empleada en los planos de diseño de la red FTTH, donde se representan los tipos de fibra óptica, dispositivos pasivos y elementos de infraestructura. Se incluyen símbolos para fibra óptica Mini ADSS de 12 hilos y fibra G.658 A2 tipo mariposa, así como diferentes configuraciones de splitters ópticos (70:30, 80:20, 90:10 y 1:8). También se identifican los tipos de postes (concreto, concreto con transformador, acero y postes proyectados) y luminarias, con el fin de facilitar la interpretación técnica del trazado y el despliegue de la red.

TIPO FUSIONES	SIMBOLOGÍA	
 UNIÓN DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA MINI ADSS DE 12 HILOS		FIBRA ÓPTICA MINI ADSS DE 12 HILO
 UNIÓN DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA G.658 A2 MARIPOSA		FIBRA ÓPTICA G.658 A2 MARIPOSA
 BUCLE DE 20 M		SPLITTEO 70:30
 BUCLE DE FIBRA ÓPTICA		SPLITTEO 80:20
 DIVISOR DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA 1:8		SPLITTEO 90:10
 DIVISOR DE CABLES DE FIBRA ÓPTICA 1:8		SPLITTER 1.8 ACCESO
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		PC POSTE DE CONCRETO
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		PCT POSTE DE CONCRETO CON TRANSFORMADOR
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		PA POSTE DE ACERO
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		LUMINARIAS
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		PP POSTE A PROYECTAR
 CAJA DE DISTRIBUCIÓN DE FIBRA ÓPTICA		

En la siguiente imagen se muestra las especificaciones de diseño de una red GPON basada en una arquitectura de distribución jerárquica con splitters pasivos. El diseño es de tipo desbalanceado, limitado a un splitter primario de dos divisiones y splitters secundarios de 1:8 por cada ramal troncal. Este esquema permite optimizar la distribución de potencia óptica y ampliar la cobertura del sistema, garantizando niveles adecuados de señal en los puntos de acceso y en las acometidas hacia los usuarios finales.

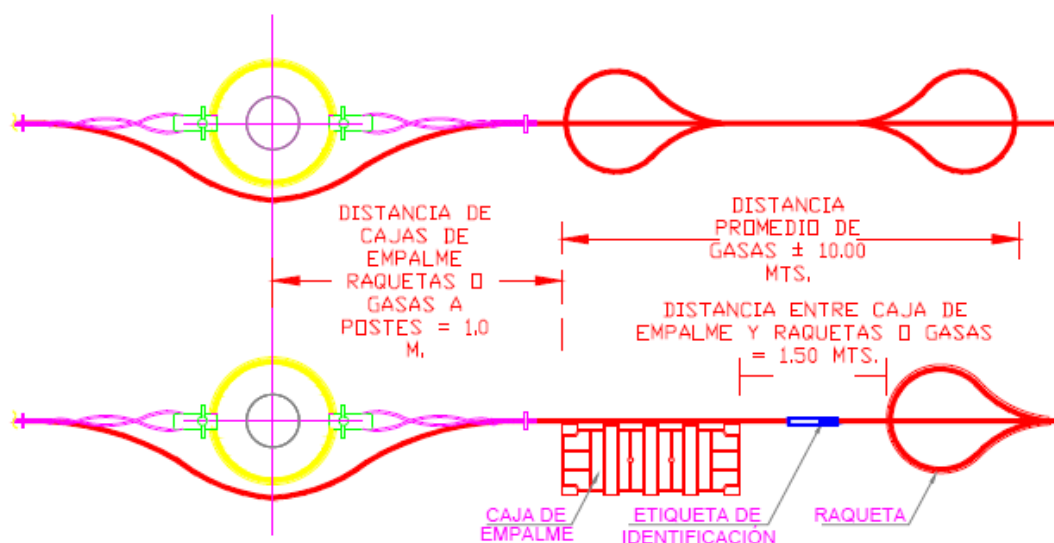


Distribución de la red FTTH



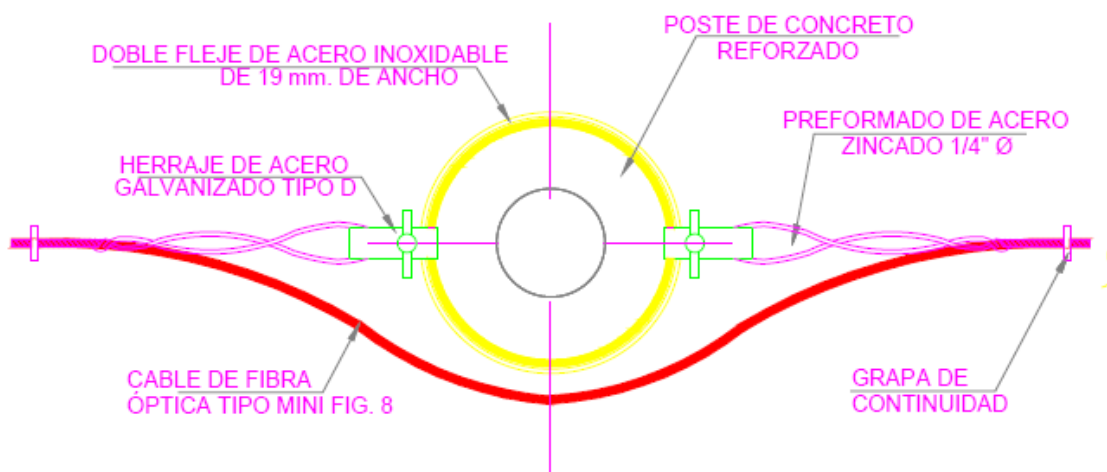


En la siguiente imagen se muestra el detalle de los elementos presentes en la trayectoria de la fibra óptica en un despliegue aéreo. Se ilustran las cajas de empalme, raquetas o reservas de fibra, etiquetas de identificación y la trayectoria del cable. Asimismo, se especifican distancias recomendadas para la instalación, como la separación de 1 m entre postes y cajas de empalme, una distancia promedio entre viviendas de 10 m y una separación aproximada de 150 m entre cajas de empalme y reservas de fibra, con el fin de garantizar un mantenimiento adecuado y minimizar tensiones mecánicas en la red.



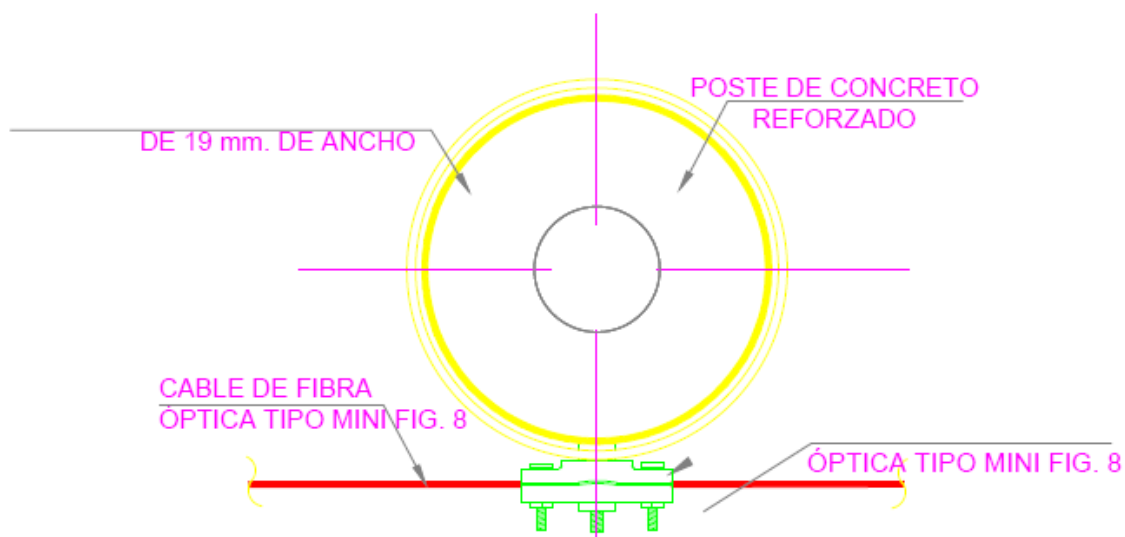
DETALLE DE OTROS ELEMENTOS EN TRAYECTORIA DE FIBRA ÓPTICA

En la siguiente imagen se muestra el detalle del herraje de tensión para el tendido aéreo de fibra óptica en postes de concreto o acero. Se incluyen los elementos mecánicos como doble fleje de acero inoxidable, herraje tipo D, preformado de acero zincado y grapas de continuidad, los cuales permiten fijar y tensar el cable de fibra óptica tipo Mini. Este sistema garantiza la correcta sujeción del cable, la distribución de esfuerzos mecánicos y la estabilidad del tendido ante cargas ambientales.



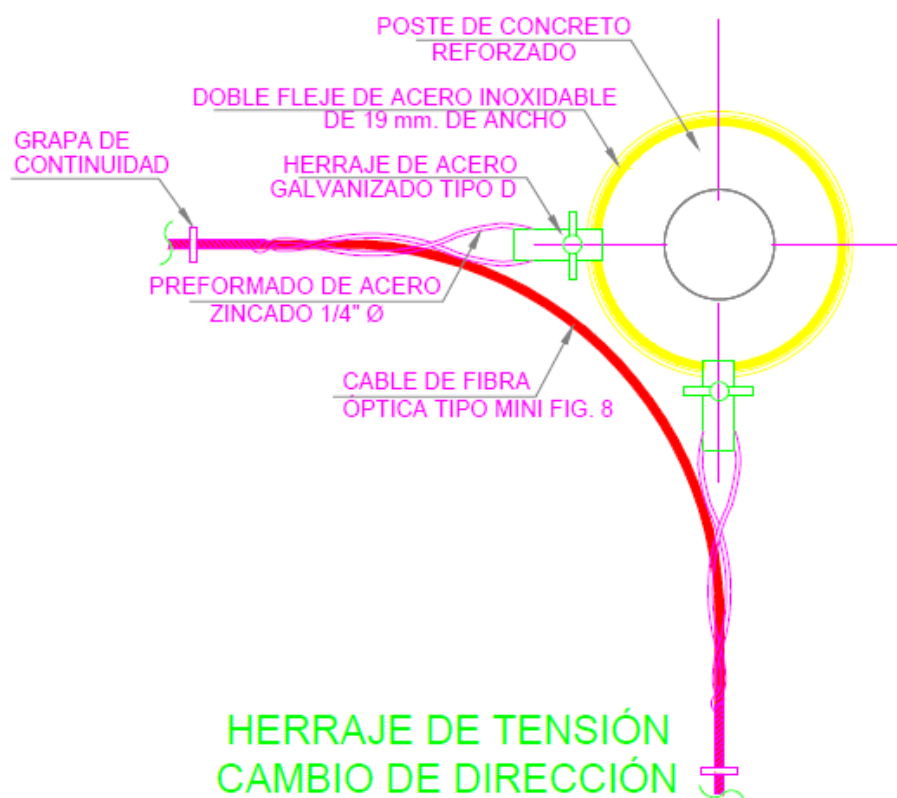
HERRAJE DE TENSIÓN PARA POSTE DE CONCRETO O ACERO

En la siguiente imagen se muestra el detalle del herraje de suspensión para el tendido aéreo de fibra óptica en postes de concreto o acero. Este sistema utiliza flejes de acero inoxidable para fijar el herraje al poste sin perforarlo, permitiendo soportar el cable de fibra óptica tipo Mini en vanos intermedios. El herraje de suspensión evita la aplicación de esfuerzos de tensión directa sobre el cable, permitiendo absorber vibraciones y dilataciones térmicas, garantizando la integridad mecánica del tendido.

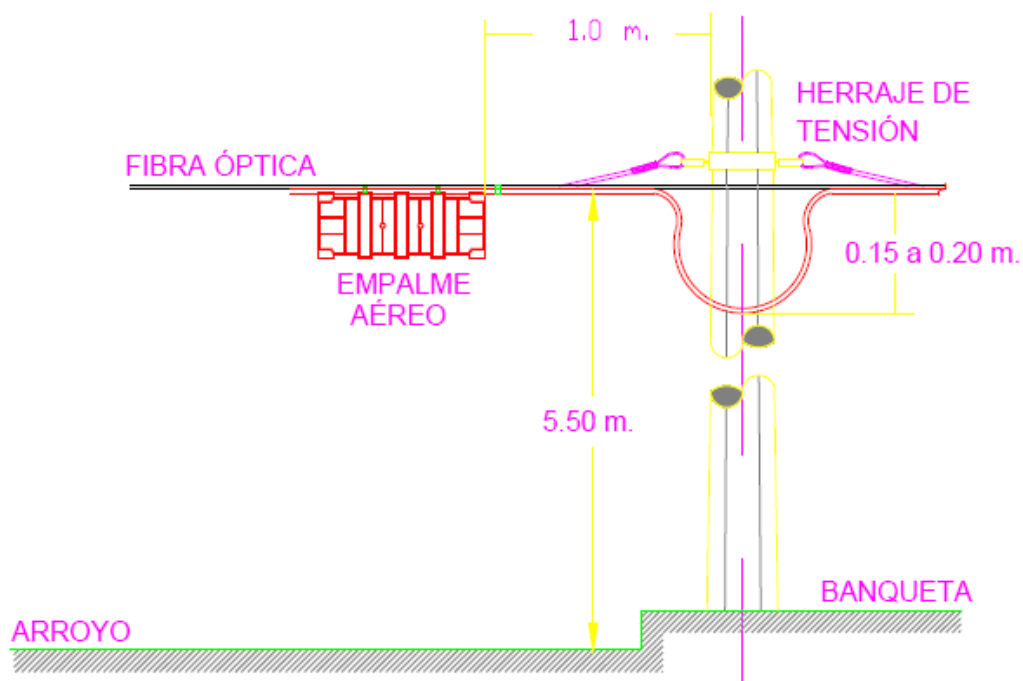


HERRAJE DE SUSPENSIÓN PARA POSTE DE CONCRETO O ACERO

En la siguiente imagen se muestra el detalle del herraje de tensión utilizado en un poste para cambio de dirección del tendido aéreo de fibra óptica. Se emplean flejes de acero inoxidable, herraje tipo D, preformados de acero zincado y grapas de continuidad para anclar el cable de fibra óptica tipo Mini Fig. 8. Este sistema permite soportar las fuerzas mecánicas generadas por la curvatura del cable y garantizar la estabilidad del tendido ante cambios de dirección, viento y peso propio del cable.



En la siguiente imagen se muestra el detalle de instalación de una caja de empalme aérea en un poste de la red de fibra óptica. Se indican las alturas y distancias recomendadas para la instalación del cable y los herrajes, destacando una altura aproximada de 5.50 m sobre el nivel del suelo, una separación de 1.0 m entre la caja de empalme y el poste, y una flecha del cable de 0.15 a 0.20 m. Estas medidas garantizan la seguridad del tendido aéreo, el cumplimiento de normativas de telecomunicaciones y la facilidad de mantenimiento de la red.



DETALLE DE CAJA DE EMPALME

Cálculo de splitters ópticos

Para la arquitectura GPON P2MP se consideró el uso de splitters ópticos pasivos con relaciones de división 1:8 y 1:16, los cuales permiten distribuir la señal óptica de un puerto PON hacia múltiples usuarios. El número de puertos PON requeridos se estimó en función del número de usuarios potenciales, garantizando la capacidad de la red y la calidad del servicio.

11.3 Selección de materiales y equipos

Para la implementación de la red FTTH basada en arquitectura GPON P2MP se realizó la selección de materiales y equipos activos y pasivos necesarios para el despliegue de la infraestructura.

Como equipo central se consideró un OLT (Optical Line Terminal), encargado de la gestión y distribución de la señal óptica hacia los usuarios finales. En cada usuario se contempló la instalación de un ONT (Optical Network Terminal) para la conversión de la señal óptica a interfaces Ethernet y WiFi.

La red de distribución se diseñó utilizando fibra óptica monomodo y splitters ópticos pasivos con relaciones de división 1:8 y 1:16, alojados en cajas NAP, las cuales permiten la derivación de la señal hacia los usuarios. Para la conexión final se emplearon cables de acometida (drop) y rosetas ópticas en las viviendas.

Asimismo, se consideraron materiales de instalación como conectores SC/APC, cajas de empalme, herrajes y sistemas de fijación para postes. Para la instalación y certificación de la red se utilizaron herramientas especializadas como fusionadora de fibra óptica, OTDR y medidor de potencia óptica.

OLT

Como equipo central para la red FTTH se seleccionó una OLT marca V-SOL modelo V1600G-1B, la cual cumple con el estándar ITU-T G.984 para redes GPON. Este equipo cuenta con cuatro puertos PON, permitiendo la conexión de hasta 128 ONT por puerto, lo que proporciona una capacidad total de hasta 512 usuarios finales en una arquitectura punto a multipunto (P2MP).

La OLT soporta velocidades de transmisión de hasta 2.5 Gbps en sentido descendente y 1.25 Gbps en sentido ascendente, utilizando longitudes de onda de 1490 nm y 1310 nm respectivamente. Dispone de puertos uplink Gigabit Ethernet mediante interfaces SFP y RJ45 para la conexión con la red troncal del proveedor.

Entre sus funcionalidades se incluyen la gestión de VLAN, control de ancho de banda, autenticación de ONT, soporte multicast y mecanismos de calidad de servicio (QoS), lo que permite una administración eficiente y segura de la red FTTH.



Parámetro	Especificación
Modelo	V-SOL V1600G-1B
Estándar	ITU-T G.984 (GPON)
Puertos PON	4
Velocidad Downstream	2.5 Gbps
Velocidad Upstream	1.25 Gbps
Longitudes de onda	1490 nm / 1310 nm
ONT por puerto	128
Capacidad total	512 ONT
Uplink	2x SFP + 2x RJ45 Gigabit
Gestión	Web, CLI, SSH, SNMP
Alcance máximo	20 km

UNU

Para la conexión de los usuarios finales se seleccionó una ONU/ONT marca V-SOL modelo HG323D-AC, la cual cumple con el estándar ITU-T G.984 para redes GPON. Este equipo permite la conversión de la señal óptica proveniente de la red FTTH a interfaces Ethernet y WiFi para el uso de los dispositivos del usuario.

La ONU cuenta con dos puertos LAN Gigabit Ethernet y conectividad inalámbrica dual band bajo el estándar IEEE 802.11ac, lo que garantiza altas velocidades de transmisión y cobertura inalámbrica en el domicilio del usuario. Además, soporta funciones de VLAN, QoS, NAT y PPPoE, permitiendo una adecuada gestión del tráfico y autenticación del servicio.



Parámetro	Especificación
Modelo	V-SOL HG323D-AC
Estándar	ITU-T G.984 GPON
Puertos LAN	2 × Gigabit Ethernet
WiFi	Dual Band 2.4 GHz / 5 GHz (802.11ac)
Conector óptico	SC/APC
Velocidad GPON	2.5 Gbps Down / 1.25 Gbps Up
Modos	Router / Bridge
Gestión	Web, TR-069
Alimentación	12 V DC

Fibra óptica utilizada en el tendido aéreo

Para el tendido de la red troncal y de distribución se utilizó fibra óptica aérea tipo ADSS marca LINKEDPRO by FiberHome, modelo MINI-ADSS-12C/4KM, con un total de 12 hilos de fibra monomodo. Este tipo de cable es autoportado y totalmente dieléctrico, lo que permite su instalación directa en postes sin necesidad de cable mensajero metálico.

La fibra cumple con las recomendaciones ITU-T G.652D/G.657A y presenta una baja atenuación óptica, lo que garantiza una transmisión eficiente de la señal en longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm. Su diseño mecánico proporciona resistencia a la tensión y a condiciones ambientales adversas, siendo adecuada para despliegues FTTH en entornos rurales y urbanos.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by FiberHome
Modelo	MINI-ADSS-12C/4KM
Tipo	ADSS autoportado
Número de fibras	12 hilos
Tipo de fibra	Monomodo G.652D / G.657A
Atenuación	0.35 dB/km @1310 nm / 0.22 dB/km @1550 nm
Longitud del carrete	4 km
Resistencia a tensión	~1000 N
Temperatura de operación	-40 °C a +70 °C
Aplicación	Red troncal y distribución FTTH

Splitters ópticos utilizados

Para la división de la señal óptica en la red FTTH se utilizaron splitters ópticos pasivos marca LINKEDPRO by EPCOM, modelo LP-PLC-1X8APC, basados en tecnología PLC. Estos dispositivos permiten dividir la señal proveniente de la OLT hacia múltiples usuarios sin requerir alimentación eléctrica.

El splitter presenta una relación de división 1:8 y utiliza conectores SC/APC, lo que reduce las pérdidas por reflexión y mejora la calidad de la señal. Su baja pérdida de inserción y alta estabilidad térmica lo hacen adecuado para su instalación en cajas de distribución NAP dentro de la red de acceso.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-PLC-1X8APC
Tipo	Splitter PLC pasivo
Relación de división	1×8
Conector	SC/APC
Longitud de onda	1260–1650 nm
Pérdida de inserción	~10.5 dB
Return Loss	> 55 dB
Temperatura operación	–40 °C a +85 °C
Aplicación	Red de distribución FTTH

Cajas de distribución NAP utilizadas

Para la distribución de la fibra óptica hacia los usuarios finales se utilizaron cajas NAP marca FiberHome modelo GFS-8G, las cuales permiten la derivación de la señal óptica desde la red de distribución hacia las acometidas de los usuarios. Estas cajas cuentan con capacidad para ocho puertos de salida y soporte para adaptadores SC/APC, así como bandejas internas para empalmes de fibra óptica.

Su diseño hermético con grado de protección IP65/IP68 proporciona resistencia a condiciones ambientales adversas, lo que las hace adecuadas para instalaciones aéreas en postes o montaje en pared.



Parámetro	Especificación
Marca	FiberHome
Modelo	GFS-8G
Tipo	Caja NAP FTTH
Capacidad	8 puertos
Conectores	SC/APC
Protección	IP65/IP68
Montaje	Poste o pared
Material	Plástico ABS resistente UV
Temperatura operación	-40 °C a +60 °C
Aplicación	Red de acceso FTTH

Cable de acometida utilizado

Para la conexión final hacia los usuarios se utilizó cable drop de fibra óptica marca LINKEDPRO by EPCOM, modelo LPDROPA21C/2KM, diseñado para instalaciones FTTH en la última milla. Este cable cuenta con una fibra monomodo bajo la norma ITU-T G.657, lo que permite radios de curvatura reducidos y facilita su instalación en entornos residenciales.

El cable presenta baja atenuación óptica en las longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm, garantizando una transmisión eficiente de la señal desde la caja NAP hasta la ONU del usuario final. Su diseño plano y reforzado proporciona resistencia mecánica y protección contra condiciones ambientales adversas.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LPDROPA21C/2KM
Tipo	Cable drop FTTH plano
Número de fibras	1 fibra monomodo
Norma	ITU-T G.657A1/A2
Atenuación	0.35 dB/km @1310 nm / 0.22 dB/km @1550 nm
Resistencia a tensión	~300 N
Radio mínimo de curvatura	10–20 mm
Longitud del carrete	2 km
Aplicación	Red de acceso FTTH

Fusionadora de fibra óptica utilizada

Para la realización de empalmes de fibra óptica se utilizó una fusionadora marca LINKEDPRO by EPCOM modelo LP-FS-PRO-900. Este equipo permite unir fibras ópticas mediante un arco eléctrico, logrando empalmes con pérdidas mínimas y alta confiabilidad.

La fusionadora cuenta con alineación automática de fibra, estimación de pérdida de empalme y batería recargable, lo que facilita su uso en trabajos de campo. Fue empleada en la red troncal, de distribución y en las cajas NAP para la terminación de fibras mediante pigtails SC/APC, garantizando la continuidad del enlace óptico y la calidad del servicio FTTH.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-FS-PRO-900
Tipo	Fusionadora monomodo
Método de alineación	Núcleo / Revestimiento
Pérdida de empalme	≤ 0.02 dB
Tiempo de fusión	7–9 s
Tiempo de calentamiento	20–30 s
Autonomía	200–300 fusiones
Pantalla	LCD a color
Temperatura operación	–10 °C a +50 °C
Aplicación	Empalmes FTTH

Equipo de medición OTDR utilizado

Para la certificación de la red FTTH se utilizó un OTDR marca LINKEDPRO by EPCOM modelo LP-M-OTDR. Este equipo permite analizar la fibra óptica mediante reflectometría en el dominio del tiempo, detectando eventos como empalmes, conectores y cortes, así como midiendo la atenuación del enlace óptico.

El OTDR opera en longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm, lo que permite evaluar la calidad del enlace en condiciones reales de operación. Su uso permitió verificar la continuidad de la red, localizar fallas y garantizar el cumplimiento del presupuesto de potencia del sistema GPON.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-M-OTDR
Longitudes de onda	1310 nm / 1550 nm
Rango dinámico	32–40 dB
Alcance máximo	Hasta 40 km
Resolución	≤ 1 m
Zona muerta	≤ 1.5 m (evento)
Pantalla	LCD a color
Batería	Ion-Litio recargable
Aplicación	Certificación FTTH

Cierres de empalme utilizados

Para la protección de empalmes de fibra óptica se utilizaron cierres de empalme marca LINKEDPRO by EPCOM modelo LP-SCH96-3. Este dispositivo permite alojar y proteger hasta 96 fusiones de fibra óptica mediante bandejas internas, garantizando la correcta organización y radio de curvatura de las fibras.

El cierre cuenta con grado de protección IP68, lo que proporciona resistencia a polvo, humedad y condiciones ambientales adversas, siendo adecuado para instalaciones aéreas y subterráneas en redes FTTH. Su uso permitió asegurar la integridad de los empalmes en la red troncal y de distribución.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-SCH96-3
Tipo	Cierre de empalme FTTH
Capacidad total	96 fusiones
Bandejas	3 × 24 empalmes
Protección	IP68
Material	Plástico reforzado PC/ABS
Temperatura operación	−40 °C a +65 °C
Aplicación	Red troncal y distribución FTTH

Conectores rápidos utilizados

Para la terminación del cable de acometida se utilizaron conectores rápidos marca LINKEDPRO by EPCOM modelo LP-SM-SCAPC, del tipo SC/APC para fibra óptica monomodo. Estos conectores permiten la instalación sin fusión mediante un sistema mecánico de alineación, reduciendo el tiempo de instalación en campo.

El conector presenta baja pérdida de inserción y alta pérdida de retorno, lo que minimiza la reflexión óptica y mejora la estabilidad del enlace GPON. Su uso fue implementado en la red de acceso para la conexión del cable drop con las ONT de los usuarios finales.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-SM-SCAPC
Tipo	Conector rápido SC/APC
Tipo de fibra	Monomodo G.652D / G.657A
Longitudes de onda	1310 nm / 1550 nm
Pérdida de inserción	≤ 0.3 dB
Return Loss	≥ 55 dB
Ferrule	Cerámica zirconia
Temperatura operación	-40 °C a +75 °C
Aplicación	Terminación cable drop FTTH

Medidor de potencia óptica utilizado

Para la medición y certificación de los niveles de señal óptica se utilizó un medidor de potencia óptica marca LINKEDPRO by EPCOM modelo LP-P-OPM. Este equipo permite medir la potencia óptica recibida en la fibra en unidades de dBm, lo que facilita la verificación del enlace óptico en redes FTTH.

El medidor opera en múltiples longitudes de onda, incluyendo 1310 nm, 1490 nm y 1550 nm, que corresponden a las ventanas de operación del sistema GPON. Su uso permitió validar que los niveles de potencia óptica se encontraran dentro de los rangos recomendados por el estándar ITU-T G.984, garantizando la calidad del servicio.



Parámetro	Especificación
Marca	LINKEDPRO by EPCOM
Modelo	LP-P-OPM
Rango de medición	-50 dBm a +26 dBm
Longitudes de onda	850, 1310, 1490, 1550, 1625 nm
Precisión	±0.2 dB
Resolución	0.01 dB
Conector	SC / FC / LC
Tipo de fibra	Monomodo y multimodo
Aplicación	Certificación FTTH

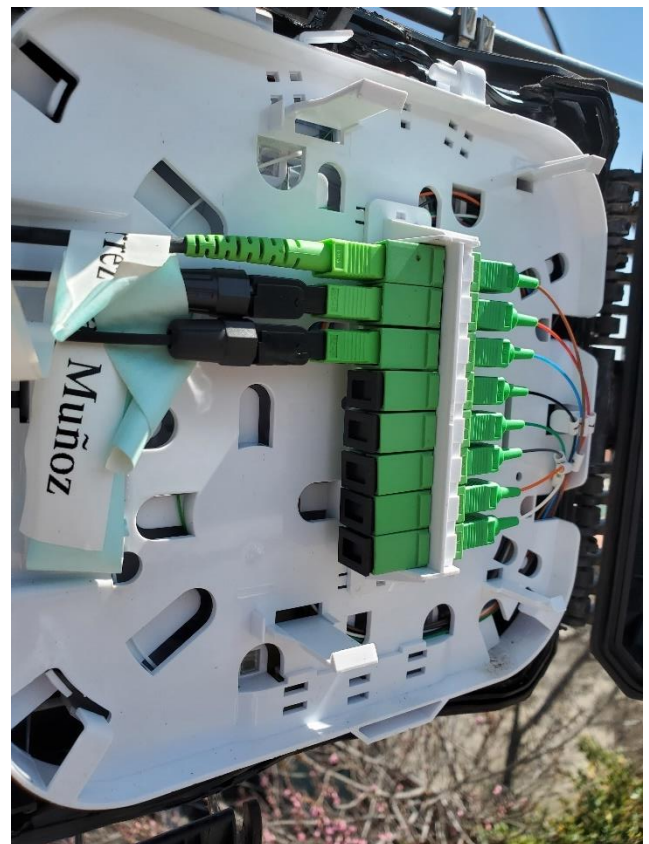
11.4 y 11.5 Implementación del servicio FTTH y pruebas de funcionamiento

Instalación final del servicio al usuario

Una vez concluida la instalación de la red troncal y de distribución, se procedió a la implementación del servicio FTTH en los usuarios finales. Este proceso incluyó la instalación de la acometida de fibra óptica, la configuración de equipos y la realización de pruebas para garantizar el correcto funcionamiento del servicio.

Preparación para la instalación

Se verificó la disponibilidad de puertos en la caja NAP correspondiente y se identificó el puerto asignado para el usuario. Asimismo, se revisó la ruta de instalación del cable drop desde la caja NAP hasta el domicilio del cliente, considerando la seguridad y estética de la instalación.



Tendido del cable drop

Se realizó el tendido del cable de acometida de fibra óptica desde la caja NAP hasta el domicilio del usuario, utilizando cable drop monomodo. El cable fue fijado mediante grapas y herrajes adecuados, manteniendo el radio mínimo de curvatura recomendado para evitar pérdidas ópticas.



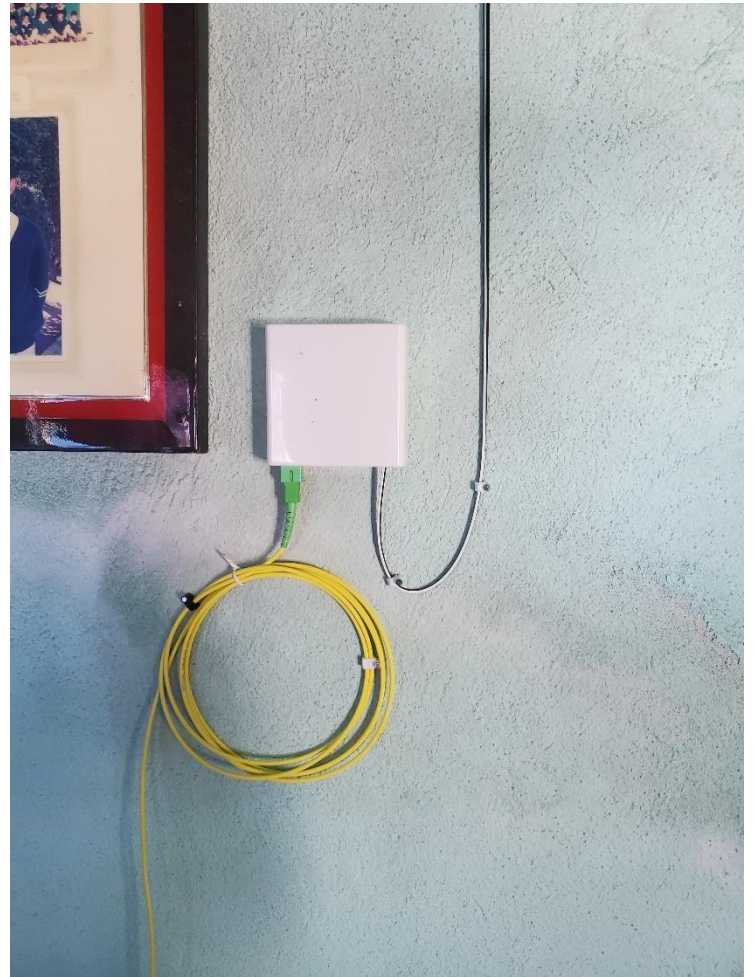
Instalación de conectores y terminación

En el extremo del usuario se instaló un conector rápido SC/APC para la terminación del cable drop. Posteriormente, se colocó una roseta óptica en el interior del domicilio para la protección y organización del punto de conexión.



Instalación y configuración de la ONT

Se instaló la ONU/ONT V-SOL HG323D-AC en el domicilio del usuario, conectando la fibra óptica proveniente de la roseta al puerto óptico del equipo. Posteriormente se conectó la ONT a la red eléctrica y se configuraron los parámetros de acceso a Internet.



Registro de ONT en la OLT

La ONT fue registrada en la OLT V-SOL V1600G-1B mediante el número de serie correspondiente. Se asignaron perfiles de velocidad, VLAN y parámetros de autenticación para habilitar el servicio de Internet.

The screenshot displays the 'WAN Config' page of the V-SOL V1600G-1B interface. The left sidebar contains a menu with 'Status' and 'Network' (selected). Under 'Network', there are sections for 'NETWORK SETTINGS' (WAN, LAN, WLAN, 2.4G, OTHERS) and 'ADVANCE SETTINGS' (Security, Application, Management, Diagnostics). The main content area is titled 'WAN Config' and contains the following settings:

Parameter	Value
Connectin Name	3_INTERM
Mode	Route
IP Version	IPv4
Connection Mode:	DHCP Static PPPoE
NAT	Disable NAT1 NAT2 NAT3
Enabled Vlan	☒
Vlan ID	
802.1p	0
MTU	1500
IP Address	
Subnet Mask	
Default Gateway	
Primary DNS	
Standby DNS	
ServiceMode	INTERNET

Pruebas de potencia óptica

Se utilizó el medidor de potencia óptica para verificar que los niveles de señal recibidos en la ONT se encontraran dentro del rango permitido por la tecnología GPON.

Valores típicos aceptables:

- Entre -14 dBm y -22 dBm

Esto garantizó la correcta recepción de la señal.



Pruebas de velocidad de Internet

Una vez activado el servicio, se realizaron pruebas de velocidad utilizando plataformas de medición en línea, verificando:

- Velocidad de descarga
- Velocidad de carga
- Latencia

Estas pruebas permitieron comprobar la estabilidad y calidad del servicio.



12. Conclusiones

Conclusiones técnicas del proyecto

El proyecto de diseño e implementación de la red FTTH en la comunidad de San José Atotonilco permitió demostrar la viabilidad técnica de desplegar infraestructura de fibra óptica en zonas con necesidades de conectividad de alta velocidad. A través del análisis de cobertura, diseño de la topología GPON P2MP y selección de materiales adecuados, se logró establecer una red capaz de ofrecer servicios de internet confiables y escalables. La implementación de una arquitectura basada en tecnología GPON permitió optimizar el uso de recursos mediante la distribución de señal óptica a múltiples usuarios desde un solo puerto PON, reduciendo costos de infraestructura y facilitando la expansión futura de la red. Asimismo, la utilización de fibra óptica ADSS para el tendido aéreo y cables drop para la acometida final garantizó una instalación segura y eficiente. Las pruebas realizadas con equipos de medición como el OTDR y el medidor de potencia óptica permitieron verificar la continuidad del enlace, la correcta ejecución de los empalmes y que los niveles de potencia óptica se encontraran dentro de los parámetros establecidos por la normativa GPON. De igual manera, las pruebas de velocidad realizadas en los usuarios finales confirmaron la estabilidad y calidad del servicio proporcionado. En términos generales, el proyecto cumplió con los objetivos planteados, logrando el diseño e implementación funcional de una red FTTH que puede ser replicada en otras comunidades con características similares. La realización de este proyecto representó una experiencia integral en el ámbito de las telecomunicaciones, al permitir la participación directa en el diseño, planeación e implementación de una red de fibra óptica FTTH en un entorno real. La aplicación de tecnologías de última generación, como GPON, así como el uso de herramientas especializadas de instalación y certificación, permitió desarrollar una solución eficiente para brindar servicios de conectividad de alta velocidad a la comunidad. Este trabajo no solo contribuye al fortalecimiento de la infraestructura tecnológica local, sino que también demuestra la importancia de la ingeniería en telecomunicaciones como motor de desarrollo social y tecnológico. La experiencia adquirida durante las residencias profesionales consolida la formación académica y técnica, proporcionando las bases necesarias para enfrentar los retos del entorno laboral y participar activamente en proyectos de innovación y mejora en el sector de las tecnologías de la información y comunicaciones.

13 Competencias desarrolladas

Competencias técnicas

Durante el desarrollo del proyecto de implementación de la red FTTH se consolidaron competencias técnicas especializadas en el área de telecomunicaciones, particularmente en el diseño, planeación e implementación de redes de fibra óptica bajo tecnología GPON. Se fortaleció la capacidad para analizar la viabilidad de un proyecto de conectividad, dimensionar la red de acuerdo con la demanda estimada y seleccionar adecuadamente los materiales y equipos necesarios para su implementación.

Asimismo, se adquirieron habilidades en la instalación y mantenimiento de infraestructura de fibra óptica, incluyendo el tendido de cableado aéreo, realización de empalmes por fusión, conectorización, instalación de cajas de distribución y configuración de equipos activos como OLT y ONT. El uso de herramientas especializadas como fusionadora de fibra óptica, OTDR y medidor de potencia óptica permitió desarrollar competencias en certificación y diagnóstico de enlaces ópticos, garantizando la calidad del servicio.

Se fortaleció también la capacidad de interpretación de parámetros técnicos como niveles de potencia óptica, pérdidas por empalme, presupuesto de potencia del enlace y pruebas de velocidad, elementos fundamentales para la operación eficiente de redes FTTH. Estas competencias técnicas permiten desempeñarse de manera competente en proyectos reales de infraestructura de telecomunicaciones.

Competencias profesionales

La realización de las residencias profesionales permitió desarrollar competencias orientadas al desempeño en entornos laborales reales, tales como la planeación estratégica de actividades, organización de recursos, cumplimiento de objetivos y trabajo bajo estándares técnicos. Se fortaleció la capacidad de análisis y resolución de problemas en campo, así como la toma de decisiones técnicas relacionadas con la instalación y configuración de la red.

Asimismo, se desarrollaron habilidades de documentación técnica, elaboración de reportes y seguimiento de procedimientos, elementos esenciales en proyectos de ingeniería. La interacción con el entorno laboral permitió comprender la importancia del trabajo en equipo, la comunicación efectiva y la responsabilidad en la ejecución de actividades, favoreciendo una visión integral del ámbito profesional.

El proyecto también permitió aplicar metodologías de trabajo orientadas a resultados, optimización de recursos y mejora continua, competencias altamente valoradas en el sector de las telecomunicaciones y tecnologías de la información.

Competencias personales

En el ámbito personal, la realización de este proyecto fortaleció valores como la responsabilidad, compromiso, disciplina y autonomía en el desarrollo de actividades profesionales. Se adquirió mayor confianza en la aplicación de conocimientos técnicos y en la capacidad para enfrentar retos propios del entorno laboral.

La experiencia permitió desarrollar habilidades de adaptación ante situaciones imprevistas, pensamiento crítico para la solución de problemas y disposición para el aprendizaje continuo de nuevas tecnologías. Estas competencias contribuyen a la formación de un profesionista íntegro, capaz de integrarse de manera eficiente al sector laboral y participar en proyectos tecnológicos de impacto social y técnico.

Síntesis de desarrollo profesional

El conjunto de competencias adquiridas durante el desarrollo de las residencias profesionales consolida la formación como Ingeniero en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, permitiendo la aplicación práctica de conocimientos en escenarios reales y el fortalecimiento de habilidades técnicas y profesionales necesarias para el ejercicio laboral.

La participación en un proyecto real de despliegue de red FTTH representó una oportunidad para integrar conocimientos teóricos y prácticos, así como para comprender la importancia de la ingeniería en telecomunicaciones como elemento clave para el desarrollo tecnológico y social. Esta experiencia constituye una base sólida para el crecimiento profesional y la participación futura en proyectos de infraestructura tecnológica de mayor alcance.

Recomendaciones

Se recomienda considerar la expansión futura de la red mediante la reserva de hilos de fibra óptica y la disponibilidad de puertos PON adicionales en la OLT, con el fin de facilitar la incorporación de nuevos usuarios sin requerir modificaciones mayores en la infraestructura existente. Asimismo, es importante realizar mantenimientos preventivos periódicos en la red, incluyendo inspecciones visuales del tendido aéreo, revisión de cierres de empalme y monitoreo de los niveles de potencia óptica, para garantizar la continuidad del servicio y prevenir fallas. Se sugiere también continuar con la capacitación del personal técnico en el uso de herramientas de medición y configuración de equipos GPON, lo que permitirá mejorar los tiempos de instalación y la calidad del servicio ofrecido a los usuarios finales.

Experiencia profesional adquirida

La realización de este proyecto permitió aplicar de manera práctica los conocimientos adquiridos durante la formación académica en la carrera de Ingeniería en Tecnologías de la Información y Comunicaciones, fortaleciendo competencias técnicas en el área de telecomunicaciones y redes de fibra óptica. Durante el desarrollo de las residencias profesionales se adquirieron habilidades en el diseño de redes FTTH, manejo de herramientas de instalación y medición de fibra óptica, configuración de equipos OLT y ONT, así como en la documentación técnica de proyectos de telecomunicaciones. Además, se fortalecieron competencias profesionales como el trabajo en equipo, la planificación de actividades, la resolución de problemas en campo y la adaptación a entornos reales de trabajo. Esta experiencia contribuyó significativamente a la formación profesional, permitiendo comprender los procesos y retos que implica la implementación de redes de telecomunicaciones en escenarios reales.

Fuentes de información

Agrawal, G. P. (2012). *Fiber-optic communication systems* (4th ed.). Wiley.

Gerd Keiser. (2011). *Optical fiber communications* (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Senior, J. M., & Jamro, M. Y. (2009). *Optical fiber communications: Principles and practice* (3rd ed.). Pearson Education.

Govind, P. A. (2010). *Fiber-optic communication systems*. John Wiley & Sons.

Hecht, J. (2015). *Understanding fiber optics* (5th ed.). Pearson.

ITU-T. (2016). *Optical fibre cables and systems (G.652)*. International Telecommunication Union. <https://www.itu.int>

Cisco Systems. (2020). *Guía de diseño de redes de fibra óptica*. Cisco Networking Academy. <https://www.cisco.com>

González, J. A., & Martínez, R. (2018). *Redes de fibra óptica y comunicaciones ópticas*. Alfaomega Grupo Editor.

Pérez, A. (2017). *Telecomunicaciones y redes de datos*. Editorial Ra-Ma.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (2020). *Infraestructura de telecomunicaciones en México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx>

