

Diseño de una Red de fibra óptica hasta la casa para el municipio de Convención Norte de Santander contemplando la red de transporte desde el municipio de Ocaña

Edgar Antonio Quintero Esquivel

Ingeniería de telecomunicaciones

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Ingeniería de Telecomunicaciones

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

2025

Diseño de una Red de fibra óptica hasta la casa para el municipio de Convención Norte de Santander contemplando la red de transporte desde el municipio de Ocaña

Edgar Antonio Quintero Esquivel

Ingeniería de telecomunicaciones

Asesora

Mónica Andrea Rico

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD

Ingeniería de Telecomunicaciones

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería ECBTI

2025

Dedicatoria

Primeramente, a DIOS por regalarme la sabiduría y la salud para superar cada obstáculo permitirme avanzar en mis metas propuestas y ser mi guía en cada paso y permitirme llegar a este momento, a mi esposa Marjin Arevalo a mis hijos Lennyseth y Fray Quintero Arevalo por su apoyo en este proceso a mis padres que gracias a sus esfuerzos lograron sacarme adelante y ser una persona de bien.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a DIOS, por haberme dado la vida, la fortaleza, la sabiduría y la paciencia necesarias para culminar esta importante etapa. Su guía y bendición fueron mi apoyo constante en los momentos de dificultad y mi fuente de motivación para seguir adelante.

A mi familia, por su amor incondicional, comprensión y apoyo en cada paso de este proceso académico. Gracias por creer en mí, por sus palabras de aliento y por ser la base sobre la cual he construido este logro.

A la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y adquirir los conocimientos necesarios para mi desarrollo personal y profesional.

A mi tutora, Mónica Andrea Rico, por su orientación, acompañamiento y disposición durante el desarrollo de este trabajo, y al director del programa, Ingeniero Raúl Camacho Briñez, por su liderazgo, compromiso y constante apoyo en la formación de los futuros ingenieros.

Finalmente, agradezco a todos aquellos que, de una u otra manera, aportaron con su conocimiento, consejo o compañía al cumplimiento de esta meta. Este logro es también de ustedes.

Agradezco sinceramente a la universidad nacional abierta y a distancia UNAD por brindarme las herramientas y conocimientos para mi formación personal, a los docentes por su compromiso orientación y compartir su experiencia la cual fue fundamental para el desarrollo de este proyecto.

A mi tutora del proyecto Mónica Andrea rico, por su valiosa guía paciencia y aporte durante todo el proceso

Resumen

Los avances tecnológicos en el campo de las tecnologías de la información y la comunicación han generado notables transformaciones a lo largo de la historia. En la actualidad, estas innovaciones se evidencian en fenómenos como el internet de las cosas (IoT), que consiste en la conexión de dispositivos y objetos de uso cotidiano a internet mediante canales de comunicación como la fibra óptica. Esto ha dado lugar al surgimiento de nuevas formas de interacción, hábitos de trabajo y esquemas de organización.

La fibra óptica, gracias a sus altas velocidades y seguridad, permite que incluso naciones enteras implementen planes de interconexión a nivel nacional, impulsando así la ciencia y la tecnología.

En este contexto, el presente proyecto expone el diseño de una red de transporte para interconectar los municipios de Convención y Ocaña, en el departamento de Norte de Santander. Además, se evidencia el desarrollo la red de última milla FTTH (Fiber To The Home) - GPON (Gigabit Passive Optical Network) en el municipio de Convención, con el fin de llevar el servicio directamente a los hogares. El trabajo presenta estudios de georreferenciación, análisis de pérdidas ópticas y modelado en software especializado. Como resultados se presentan los planos unifilares y una cartilla técnica que servirá como guía para futuras implementaciones.

Palabras clave: Datos, Fibra óptica, Internet, Luz, Redes, Trasmisión

Abstract

Technological advancements in the field of information and communication technologies have generated remarkable transformations throughout history. Currently, these innovations are evident in phenomena such as the Internet of Things (IoT), which consists of connecting everyday devices and objects to the internet through communication channels like fiber optics. This has led to the emergence of new forms of interaction, work habits, and organizational models.

Thanks to its high speeds and security, fiber optics allows even entire nations to implement nationwide interconnection plans, thus driving science and technology.

In this context, this Project presents the design of a transport network to InterConnect the municipalities of Convención and Ocaña, in the department of Norte de Santander. Furthermore, it details the development of the FTTH (Fiber To The Home) - GPON (Gigabit Passive Optical Network) last-mile network in the municipality of Convención, with the aim of delivering service directly to homes. This work presents georeferencing studies, optical loss analysis, and modeling using specialized software. The results include single-line diagrams and a technical guide that Will serve as a reference for future implementations. Keywords: Data, Fiber Optics, Internet, Light, Networks, Transmission

Tabla de contenido

Lista de Imágenes	11
Lista de Tablas	13
Introducción	14
Generalidades.....	15
Planteamiento del Problema.....	15
Justificación.....	16
Metodología	16
Levantamiento de Información y Georreferenciación.....	16
Elaboración de Planos Unifilares	17
Cálculo Técnico de Potencias.....	17
Diseño y Simulación de la Red GPON.....	17
Objetivos	17
Objetivo General.....	17
Objetivos Específicos	18
Estado del Arte	18
Marco Conceptual	21
Requerimientos de Infraestructura Física Para la Red Óptica	30
Consideraciones Generales de Infraestructura	30
Requerimientos de Canalización y Ductería	30

Requerimientos de Infraestructura Aérea.....	31
Requerimientos de puntos de empalme y distribución.....	33
Requerimientos Eléctricos y de Puesta a Tierra.....	34
Requerimientos Ambientales y de Seguridad	35
Normativas y Estándares Aplicables.....	35
UIT-T G.652: Recomendaciones Para Fibras Ópticas Monomodo.....	35
Recomendaciones Prácticas de Instalación	39
Radio de curvatura:	39
Empalmes:.....	39
Conectores:.....	39
Pruebas de Campo Sugeridas	39
1. OTDR:.....	39
2. Medición de potencia.....	39
3. Prueba de macrocurvatura.....	39
4. PMD (dispersión por modo de polarización) y dispersión cromática.....	39
ISO/IEC 11801: Normas de Cableado Estructurado Para Telecomunicaciones.....	39
RETIE: Reglamento Técnico Colombiano Para Instalaciones Eléctricas	40
CRC (2021): Manual de Diseño de Redes de Telecomunicaciones	42
Diseño de Planos Unifilares.....	44
Diseño de los Planos Mediante Software	44

Modelado Preliminar	44
Elaboración del Plano Unifilar	45
Validación del Diseño	48
Cajas NAP (CTO).....	49
Splitters Ópticos	50
Justificación del Diseño	53
Eficiencia Técnica	53
Optimización Económica	53
Cumplimiento Normativo.....	53
Preparación para 10G / XGS-PON.....	53
Dimensionamiento Óptico para Soportar 10G	54
Coexistencia GPON / XGS-PON.....	55
Presupuesto del Enlace	56
Introducción	56
Parámetros Considerados	56
Fórmula General del Presupuesto Óptico.....	57
Cálculo (Transmisión OLT, Potencia NAP más Lejana).....	58
Interpretación de resultados	62
Guía de Instalación – Cartilla de fácil uso	65
Glosario	65

	10
Fibra Óptica	68
Red FTTH.....	68
Elementos y Herramientas para la Instalación de Fibra Óptica	69
Materiales Principales.....	69
Herramientas Básicas	69
Procedimiento General de Instalación.....	69
Verificación de Infraestructura	69
Instalación de Fibra Troncal	69
Instalación de Cajas de Empalme	70
Empalmes de Fibra Óptica	70
Instalación de NAP / CTO.....	70
Instalación de Acometida (Drop)	70
Pruebas y Certificación	70
Medición de Potencia Óptica.....	70
Pruebas OTDR.....	71
Seguridad y Buenas Prácticas	71
Mantenimiento Básico.....	71
Conclusiones	72
Referencias Bibliograficas	75

Lista de Imágenes

Figura 1 <i>Fibra Óptica</i>	22
Figura 2 <i>Reflexión Interna</i>	23
Figura 3 <i>Atenuación</i>	24
Figura 4 <i>Dispersión Cromática</i>	24
Figura 5 <i>Red GPON</i>	25
Figura 6 <i>XGS-PON</i>	26
Figura 7 <i>OLT 18 Puertos</i>	26
Figura 8 <i>ONT >Usuario Final</i>	27
Figura 9 <i>Splitter Óptico 1:4</i>	28
Figura 10 <i>Arquitectura SDN</i>	28
Figura 11 <i>Arquitectura NFV</i>	29
Figura 12 <i>Postes de Media Tensión >Utilizados para Tendido de Fibra</i>	32
Figura 13 <i>Herrajes de Retención Fibra Óptica</i>	32
Figura 14 <i>Cajas de Empalme Tipo Domo B4</i>	33
Figura 15 <i>Bandeja de Empalme</i>	34
Figura 16 <i>Splitter 1:16</i>	34
Figura 17 <i>Plano Panorámica del Municipio de Convención</i>	44
Figura 18 <i>Ubicación OLT en Nodo Central</i>	45
Figura 19 <i>Red Cable Troncal Fibra 48H</i>	46
Figura 20 <i>Empalmes de Distribución</i>	46
Figura 21 <i>Distribución de Cajas NAP</i>	47
Figura 22 <i>Red de Distribución Troncal FTTH</i>	47

Figura 23 <i>Hoja de Enrutamiento</i>	48
Figura 24 <i>Ruta de transmisión Ocaña Convención</i>	51
Figura 25 <i>Red Interna Local</i>	51
Figura 26 <i>Distribución de NAPS</i>	52
Figura 27 <i>Cable Drop</i>	52
Figura 28 <i>Potencia en Transmisor y Receptor</i>	59
Figura 29 <i>Potencia en NAP</i>	60
Figura 30 <i>Potencia en NAP</i>	62

Lista de Tablas

Tabla 1 <i>Subtipos y Diferencias Principales</i>	36
Tabla 2 <i>Parámetros técnicos por subtipo G.652</i>	37
Tabla 3 <i>Ejemplos de Fichas de Fabricantes</i>	38
Tabla 4 <i>ventanas de trabajo GPON</i>	55

Introducción

El acceso a internet de alta velocidad se ha convertido en un pilar esencial para el desarrollo económico, educativo y social de las comunidades. Sin embargo, en Colombia, especialmente en las zonas rurales, aún persiste una marcada brecha digital que limita la igualdad de oportunidades y el progreso regional.

El municipio de Convención, ubicado en el departamento de Norte de Santander, enfrenta este desafío: gran parte de su población no dispone de una infraestructura de telecomunicaciones que garantice una conectividad confiable. En contraste, el municipio de Ocaña cuenta con una red de transporte óptica consolidada, lo que representa una oportunidad estratégica para extender el servicio hacia las zonas menos favorecidas.

Este proyecto se enmarca en los esfuerzos nacionales de transformación digital, alineándose con los objetivos del Plan Vive Digital y las políticas del MinTIC para fortalecer la conectividad rural en Colombia. Además, constituye una propuesta técnica y socialmente relevante que contribuye al desarrollo integral de la región.

Bajo este contexto, el presente proyecto propuso el diseño de una red de fibra óptica FTTH (Fiber To The Home) que conecte ambos municipios, integrando la infraestructura existente en Ocaña y permitiendo que Convención disponga de un sistema de telecomunicaciones moderno, eficiente y sostenible. En el capítulo 1 se encuentran las generalidades que dan un contexto del objetivo del proyecto y su justificación, en el capítulo 2 se realiza un análisis de los requerimientos para el diseño, el capítulo 3 evidencia el diseño propuesto, en el capítulo 4 se presenta el presupuesto del enlace y finalmente el capítulo 5 evidencia como valor agregado una cartilla como guía de instalación.

Generalidades

El proyecto tuvo como propósito diseñar una red de fibra óptica hasta la casa (FTTH) para el municipio de Convención, Norte de Santander, contemplando la red de transporte desde el municipio de Ocaña. Se desarrolló un estudio técnico que incluyó la georreferenciación del trazado, el análisis de pérdidas ópticas, el modelado de la red mediante software especializado y la elaboración de planos unifilares. El diseño permitió proyectar una infraestructura eficiente y escalable, orientada a mejorar la conectividad, la calidad del servicio y el acceso a las telecomunicaciones en la región. En este capítulo se evidencia el planteamiento del problema, la justificación, la metodología, los objetivos (objetivo general, objetivos específicos), el estado del arte y el marco teórico

Planteamiento del Problema

En Colombia, la conectividad a internet presenta una marcada desigualdad entre zonas urbanas y rurales. Según el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones (MinTIC, 2024), el 65,6 % de los hogares a nivel nacional cuentan con conexión a internet; sin embargo, en áreas rurales esta cifra desciende al 41,9 %. En el departamento de Norte de Santander, la cobertura promedio es del 63,4 %, pero mientras en las zonas urbanas alcanza el 70 %, en las rurales apenas llega al 28,8 %. Esta situación restringe el acceso a oportunidades educativas, comerciales y sociales, afectando la competitividad y el desarrollo regional.

La subregión de Occidente del departamento, donde se ubican Ocaña y Convención, evidencia esta brecha digital. Convención, con una población aproximada de 13.000 habitantes, presenta una limitada infraestructura de telecomunicaciones que dificulta el acceso a servicios de banda ancha de calidad. Ocaña, como centro urbano más desarrollado de la zona, concentra la

mayoría de los recursos y conectividad, lo que obliga a municipios vecinos a depender de su infraestructura para acceder a servicios digitales avanzados.

Justificación

Se pretende impulsar la masificación del uso de internet para dar un salto hacia la prosperidad democrática. Se cree que, a través de la masificación del uso de internet, de la apropiación de la tecnología, de la creación de empleos TIC directos e indirectos se logrará reducir el desempleo,

Según el Mintic (2023), el 50% de los hogares rurales en Norte de Santander carece de acceso a internet de alta velocidad, limitando oportunidades educativas y económicas (Granja Matías, 2020).

se pretende aumentar la competitividad del país y dar un salto hacia la prosperidad nacional. Como un camino para lograr este objetivo y obtener una mejora de estas condiciones y costo más viable posible, surge la tecnología en fibra óptica a través de conexiones basadas en GPON por el costo de implementación, facilidad de instalación y extensión de la red (Rodríguez, 2019).

Metodología

El desarrollo del proyecto se llevó a cabo en cuatro fases, alineadas con los objetivos específicos y las actividades del cronograma.

Levantamiento de Información y Georreferenciación

- Identificar los puntos iniciales, intermedios y finales de la ruta entre Ocaña y Convención.
- Realizar visitas de campo con dispositivos GPS de alta precisión.
- Registrar la infraestructura eléctrica existente y posibles rutas para el tendido de fibra.

- Consolidar la información en una base de datos.

Elaboración de Planos Unifilares

- Importar los datos recolectados en software especializado (AutoCAD u otro equivalente).
- Diseñar planos unifilares de la red proyectada, incorporando la ubicación de elementos clave como NAP, OLT y divisores ópticos.

Cálculo Técnico de Potencias

- Determinar las pérdidas y ganancias de señal utilizando la fórmula: $P_{salida} = Entrada$ (pérdidas fibra + conectores + splitters + empalmes).
- Verificar que los valores obtenidos estén dentro de los rangos óptimos de funcionamiento de los equipos receptores.

Diseño y Simulación de la Red GPON

- Seleccionar el software especializado para modelar la red (OptiSystem, Net2Plan u otro).
- Simular el funcionamiento para validar la calidad de la señal y la capacidad de la red.
- Elaborar un informe técnico final con los resultados, especificaciones, planos y presupuesto estimado para una futura implementación.

Objetivos

Objetivo General

Diseñar una red de fibra óptica hasta la casa para el municipio de Convención Norte de Santander contemplando la red de transporte desde el municipio de Ocaña, mediante la elaboración de estudios de georreferenciación, análisis de pérdidas ópticas, elaboración de planos unifilares y modelado en software especializado.

Objetivos Específicos

Realizar el levantamiento de infraestructura eléctrica y georreferenciación de rutas mediante GPS.

Elaborar planos unifilares mediante el uso del software especializado con la distribución de cajas NAP y divisores ópticos.

Calcular las pérdidas de potencia óptica mediante análisis matemático y simulaciones.

Diseñar el modelo de la red GPON utilizando software especializado, simulando su funcionamiento y verificando su viabilidad técnica.

Estado del Arte

La transmisión de luz en la fibra óptica se basa en principios de óptica física, como la reflexión interna total. Factores como la dispersión cromática y las pérdidas por absorción y dispersión afectan la eficiencia de la transmisión, Los sistemas de fibra óptica son tecnologías diseñadas para transmitir información utilizando pulsos de luz que viajan a través de fibras ópticas. Estas tecnologías son fundamentales en la infraestructura de redes modernas debido a su alta capacidad de transmisión de datos, baja atenuación y resistencia a las interferencias electromagnéticas. (Agrawal, 2021). Vive Digital, es el plan de tecnología para los próximos años en Colombia, que busca que el país dé un gran salto tecnológico mediante la masificación de internet y el desarrollo del ecosistema digital nacional.

<http://www.mintic.gov.coportalvivedigital612w3-propertyvalue-6109.html> Internet es considerado actualmente promotor del desarrollo social y económico en cualquier país, debido a que promueve las tecnologías digitales, las cuales ha tenido un profundo impacto en nuestra organización social, por la forma en la que las personas aprenden, trabajan, se entretienen y comunican, impactando en la manera en que la economía produce bienes y servicios (Hinostroza,

2017). Su efecto social es tal que El 69% de la población total de Colombia es usuaria activa de Internet desde cualquier dispositivo tecnológico; entre enero del 2019 a enero del 2020, el número total de usuarios de Internet ha crecido en un 2.9%, es decir, más de un millón de nuevas personas consumen este servicio (Medina, 2020). GPON (Gigabit Passive Optical Network) y XGS-PON (10-Gigabit Symmetrical Passive Optical Network) son tecnologías de acceso basadas en fibra óptica que proporcionan conectividad punto a multipunto (P2MP) a través de una infraestructura pasiva, Según Cisco Systems (2020), la adopción de redes GPON ha sido impulsada por la necesidad de conexiones de alta velocidad en entornos residenciales y empresariales. Sin embargo, el aumento en la demanda de ancho de banda, impulsado por servicios como 4K8K, teletrabajo, IoT y juegos en línea, ha llevado a la transición hacia XGS-PON como solución escalable. Tecnologías son fundamentales para el desarrollo de infraestructuras más dinámicas, flexibles y eficientes, que son la base de la conectividad actual y futura. El autor describe en profundidad tecnologías clave como SDN (Software-Defined Networking), NFV (Network Functions Virtualization), QoE (Quality of Experience), IoT (Internet of Things) y la computación en la nube, SDN cambia la forma en que las redes se gestionan y configuran. Anteriormente, las redes eran configuradas de manera estática, pero con SDN, la red es programable y se puede ajustar dinámicamente a las necesidades de los usuarios. El uso de un controlador centralizado permite optimizar la gestión de ancho de banda, mejorar la seguridad y reducir costos operativos. (Stallings, 2018). GPON es una tecnología de red óptica pasiva ampliamente utilizada para el acceso a Internet, telefonía y televisión de alta definición.

Utiliza fibras ópticas para proporcionar velocidades de transmisión elevadas a grandes distancias, siendo ideal para aplicaciones residenciales y empresariales. GPON se basa en una arquitectura de red punto a multipunto, donde un solo terminal óptico (OLT) conecta a varios

usuarios a través de divisores ópticos, las redes GPON se basan en la transmisión de luz a través de fibras ópticas, lo que permite altas velocidades de transmisión de datos y bajas pérdidas de señal en comparación con las tecnologías tradicionales. La arquitectura pasiva de GPON, que utiliza divisores ópticos para compartir la señal entre varios usuarios, es uno de sus principales atractivos, ya que reduce la necesidad de equipos activos, disminuyendo costos de mantenimiento. Rodríguez (2019). el acceso y tenencia del servicio a Internet ha venido aumentando en Colombia y en América Latina; sin embargo, dicho proceso no se ha dado de manera homogénea para diferentes grupos de la población (pág.22), en el caso de Colombia, el 38% de las personas no usa internet y el 50% de los hogares no lo tiene; esta situación está directamente relacionada con la complejidad geográfica del país, que impide que las facilidades de la era digital lleguen a todos (portafolio, 2019). Según el Ministerio de las TIC, actualmente Colombia tiene 24,3 millones de conexiones a internet (entre fijo y móvil 4G) con una velocidad superior a los 10 Mbps, frente a 23,8 millones que están en las zonas más apartadas y no tienen este beneficio. (Granja Matías, 2020), aunque Colombia ha estado trabajando en la conectividad del país como En 2021, el proyecto ‘Fibra Óptica para Santander’ implementó GPON en zonas rurales, logrando un aumento del 40% en la conectividad (MinTIC, 2022).

En Colombia, el Plan Nacional de Fibra Óptica del MinTIC ha logrado conectar más de 1.000 municipios mediante redes troncales de fibra, priorizando capitales y cabeceras municipales. Sin embargo, muchas zonas intermedias y rurales aún dependen de enlaces inalámbricos de baja capacidad (MinTIC, 2020).

Proyectos similares se han desarrollado en regiones como Antioquia y Boyacá, donde se han implementado diseños GPON para conectar cabeceras municipales con corregimientos cercanos, logrando mejorar la conectividad escolar y administrativa (Pérez et al., 2021). En

Latinoamérica, Chile y Perú han implementado planes regionales de redes ópticas rurales con esquemas de acceso GPON, demostrando su viabilidad técnica y económica en entornos geográficamente complejos (CEPAL, 2022).

En los últimos años, múltiples investigaciones y proyectos en Colombia han abordado el diseño e implementación de redes FTTH en zonas rurales como estrategia para cerrar la brecha digital.

El Ministerio TIC (2023), a través del Plan Nacional de Conectividad Digital, impulsó la expansión de redes de fibra óptica en más de 1.200 municipios, priorizando la conexión de áreas rurales y de difícil acceso.

Investigaciones como la de Pérez y Rojas (2021) sobre redes GPON en el departamento de Antioquia demostraron la viabilidad técnica y económica de las soluciones FTTH en municipios intermedios. De igual forma, estudios internacionales (Agrawal, 2021; Cisco, 2022) destacaron la eficiencia de las arquitecturas GPON frente a otras tecnologías de acceso, por su capacidad de transmisión y bajo costo de mantenimiento.

Estos antecedentes sirvieron como base para contextualizar y orientar el diseño técnico desarrollado para el municipio de Convención, estableciendo un modelo adaptable a las condiciones geográficas y económicas de la región.

Marco Conceptual

Fibra óptica: Medio de transmisión compuesto por filamentos de vidrio o plástico que transportan información en forma de luz. Su principio de funcionamiento se basa en la reflexión interna total. En la figura 1 se evidencia la foto de la fibra óptica iluminada, con el fin de exponer que es una guía de onda para la luz cilíndrica dieléctrica.

Figura 1*Fibra Óptica*

Nota: Se observa un conjunto de fibras ópticas iluminadas, utilizadas para la transmisión de datos mediante pulsos de luz dentro de redes de telecomunicaciones. HFCL (2023).

Reflexión interna total: Fenómeno físico por el cual un rayo de luz se refleja completamente dentro del núcleo de la fibra cuando incide en el límite con el revestimiento a un ángulo mayor que el crítico. En la figura 2 en la parte superior se muestra un hilo de fibra sin ninguna curvatura y sin alteración del camino que toma el haz de luz mientras que en la parte inferior muestra un hilo de fibra con una curvatura excediendo el límite permitido donde el haz de luz se altera afectando su transporte.

Figura 2

Reflexión Interna

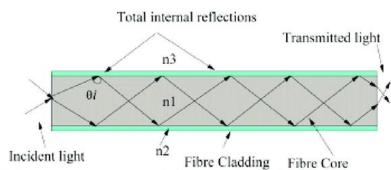
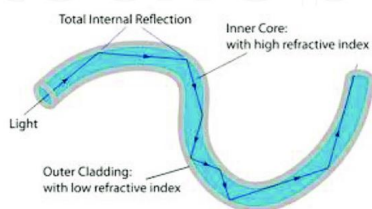
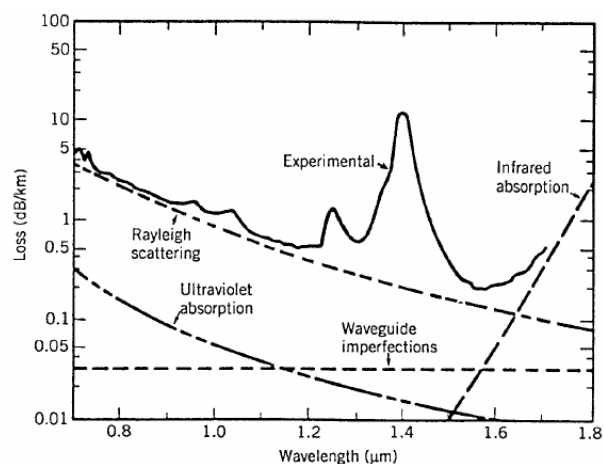


Figure 6.
Total internal reflection in an optical fiber.



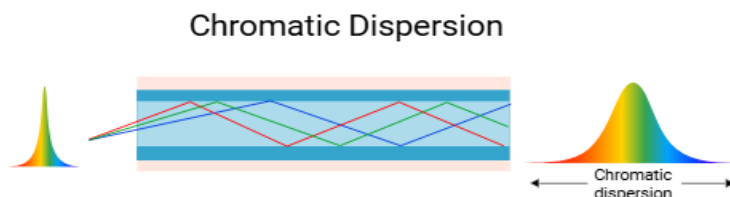
Nota: La imagen muestra el comportamiento del rayo de luz dentro del núcleo de la fibra, donde se refleja completamente al superar el ángulo crítico, permitiendo la propagación de la señal. FiberLabs Inc. (2021).

Atenuación: Pérdida gradual de potencia óptica conforme la señal viaja a lo largo de la fibra, causada por dispersión, absorción y curvaturas. En la figura 3 se evidencia una gráfica de OTDR donde nos está mostrando varias atenuaciones la cual la más evidente es la que se encuentra a 1300 mts y para corregir se debe revisar fusiones en la ruta de fibra.

Figura 3*Atenuación*

Nota: Se presenta una gráfica de OTDR para un tramo de 2 km, donde se evidencian las pérdidas de señal ocasionadas por empalmes, conectores y dispersión. Humanetics Group (2024).

Dispersión cromática: Efecto que provoca que las diferentes longitudes de onda de la luz viajen a distintas velocidades, generando distorsión en la señal. En la figura 4 se muestra que al inicio de la imagen se tiene un segmento de varios haz de luz y al ingresar al hilo se tienen diferentes velocidades en estos lo que produce que se dispersen y se distorsione la señal.

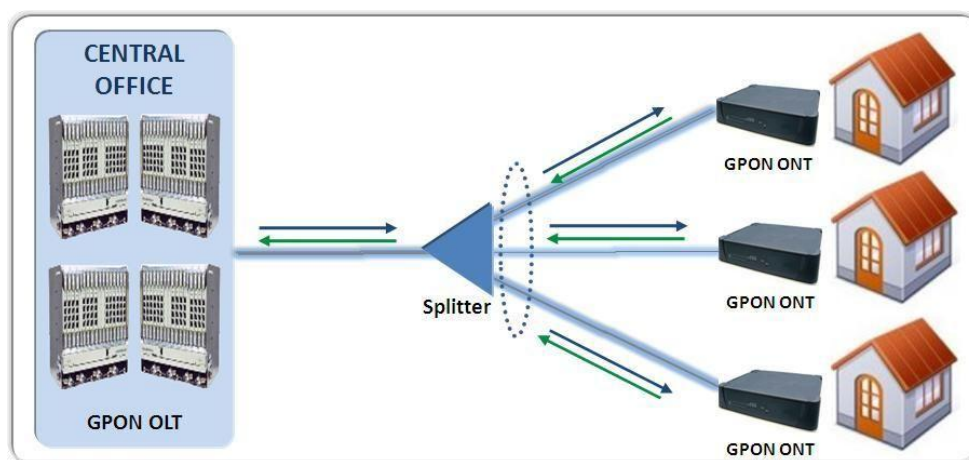
Figura 4*Dispersión Cromática*

Nota: La ilustración evidencia cómo diferentes longitudes de onda viajan a distintas velocidades en la fibra óptica, generando ensanchamiento de pulso y pérdidas de calidad. Cisco Systems (2020).

GPON: Tecnología de red óptica pasiva punto a multipunto que utiliza divisores ópticos para distribuir la señal desde un OLT hacia múltiples ONT. En la figura 5 se muestra la estructura de la red GPON desde la central donde esta la OLT pasando por splitter primarios y secundarios hasta llegar a la ONT que se encuentra en el usuario final.

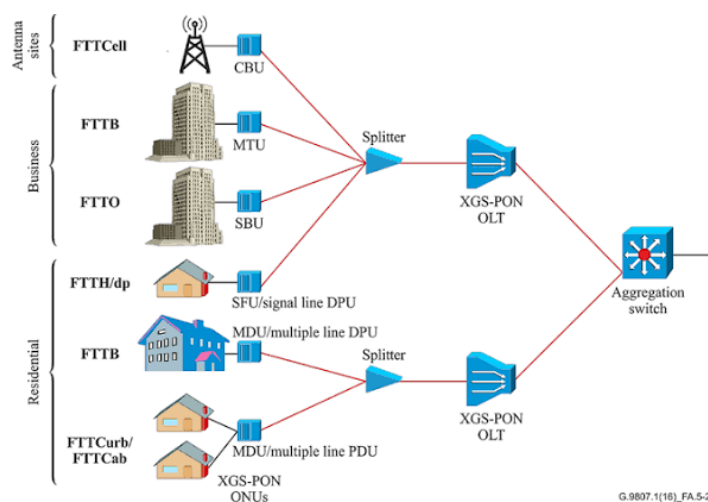
Figura 5

Red GPON



Nota: Se muestra la estructura básica de una red GPON punto a multipunto, donde una OLT distribuye la señal hacia múltiples usuarios a través de splitters ópticos. (LightOptics, 2021).

XGS-PON: Evolución de GPON que permite velocidades simétricas de hasta 10 Gbps, adecuada para aplicaciones de alta demanda como streaming 8K y servicios empresariales. En la figura 6 se muestra una estructura de la red XGS-PON la cual es similar a la GPON pero con más capacidad de velocidad ya que está pensada para grandes empresas.

Figura 6**XGS-PON**

Nota: Se ilustra la evolución de GPON hacia XGS-PON, destacando su capacidad para soportar velocidades simétricas de hasta 10 Gbps. (Optcore, 2024).

OLT (Optical Line Terminal): Dispositivo ubicado en la central que administra la comunicación con los usuarios finales. En la figura 7 se muestra una OLT de 18 puertos la cual nos permite conectar entre 1152 y 2304 usuarios según el módulo transceiver que se instale.

Figura 7**OLT 18 Puertos**

Nota: Se observa una OLT de alto desempeño utilizada para redes GPON/XGS-PON, con capacidad aproximada para 1152 usuarios mediante divisores ópticos. (Deng et al., 2017)

ONT (Optical Network Terminal): Equipo instalado en las viviendas o empresas que convierte la señal óptica en señal eléctrica. En la figura 8 se evidencia una ONT la cual permite convertir la señal óptica en señal eléctrica y tiene capacidad de soportar altas velocidades de megabytes (MB).

Figura 8

ONT > Usuario Final



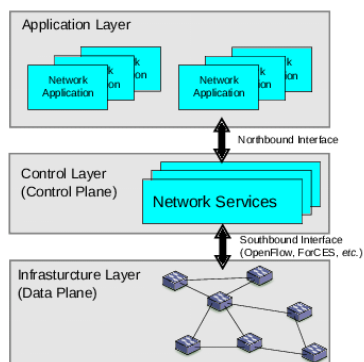
Nota: La imagen muestra un terminal óptico de red encargado de convertir la señal óptica proveniente de la fibra en señal eléctrica para los servicios del usuario final. (Neos Networks 2024).

Splitter óptico: Elemento pasivo que divide la señal óptica de un OLT en múltiples salidas para distribución a varios usuarios. En la figura 9 se muestra un splitter 1:4 el cual se utiliza en primer nivel en un esquema (1:4 – 1:16) donde se instala 1 splitter principal 1:4 y 4 splitter 1:16

Figura 9*Splitter Óptico 1:4*

Nota: Dispositivo pasivo que divide la señal óptica en cuatro salidas, utilizado en redes FTTH para distribuir la señal desde la OLT hacia múltiples usuarios. (LightOptics, s. f.)

SDN: Arquitectura de red programable que separa el plano de control del plano de datos, permitiendo gestión centralizada. En la figura 10 se muestra **un sistema central donde se decide cómo funciona la red** y los dispositivos solo **siguen esas instrucciones**, lo que hace la red **más fácil de controlar y cambiar**

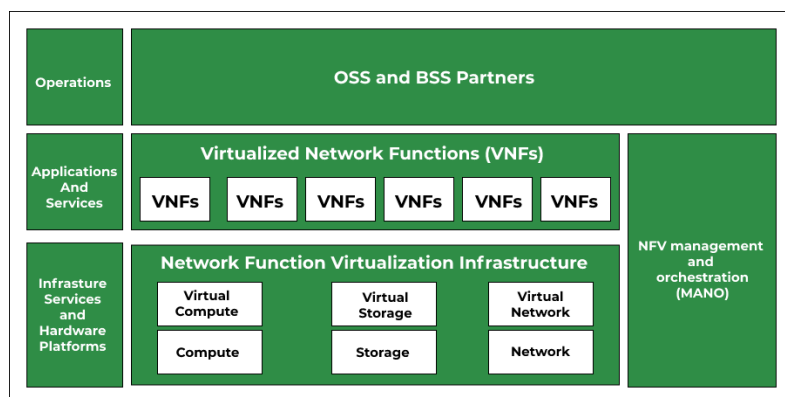
Figura 10*Arquitectura SDN*

Nota: Se muestra la separación entre el plano de control y el plano de datos, característica clave del enfoque SDN que mejora la gestión de redes. (GeeksforGeeks 2025).

NFV: Tecnología que virtualiza funciones de red tradicionalmente implementadas en hardware, aumentando flexibilidad y escalabilidad. En la figura 11 se muestra un software el cual **reemplaza dispositivos físicos (como firewalls o routers) por programas que se ejecutan en servidores**, lo que hace la red **más flexible y económica**.

Figura 11

Arquitectura NFV



Nota: La ilustración representa la virtualización de funciones de red tradicionalmente basadas en hardware, mejorando la escalabilidad y reducción de costos.

Requerimientos de Infraestructura Física Para la Red Óptica

La red de fibra óptica representa una solución tecnológica de alta capacidad que permite ofrecer servicios de telecomunicaciones con excelente calidad. Para lograr su correcta implementación, es indispensable contar con una infraestructura física sólida, bien planificada y ajustada a las condiciones del entorno.

En este capítulo se presentan los elementos y requerimientos necesarios para el diseño y despliegue de la red óptica hasta el hogar (FTTH) en el municipio de Convención, Norte de Santander. Aquí se abordan los componentes estructurales, las condiciones del terreno, los materiales adecuados y las normas técnicas que garantizan un funcionamiento seguro, eficiente y duradero de la red.

Consideraciones Generales de Infraestructura

La infraestructura física es la base sobre la cual se construye toda la red óptica. Está compuesta por los ductos, cámaras, postes, bandejas, cajas de empalme y demás elementos que permiten la instalación y protección del cableado de fibra óptica. En este municipio toda la postería es de la electrificadora (CENS).

Cada componente debe cumplir con los estándares establecidos por organismos como la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T), la Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) y el Instituto Colombiano de Normas Técnicas (ICONTEC). Cumplir con estas normas garantiza que la red sea segura, compatible con otros sistemas y capaz de mantenerse operativa durante muchos años.

Requerimientos de Canalización y Ductería

El sistema de canalización tiene la función de proteger los cables ópticos, evitando que se deterioren por factores externos como la humedad, el calor o la manipulación.

Los ductos utilizados suelen ser de polietileno de alta densidad (PEAD) o PVC reforzado, materiales que ofrecen alta resistencia y flexibilidad. El diámetro varía entre 32 y 50 mm, dependiendo del tipo y la cantidad de cables que se deban alojar.

Cuando la instalación es subterránea, los ductos se entierran a una profundidad mínima de 60 cm en zonas peatonales y 90 cm en zonas vehiculares, cumpliendo con la NTC 4783. Además, se colocan cámaras de inspección cada 150 o 200 metros para facilitar las labores de mantenimiento.

En áreas urbanas, se prefiere el uso de canalización subterránea para mantener la estética y seguridad; mientras que en zonas rurales, donde el terreno es más irregular, es más viable optar por instalaciones aéreas debido a su menor costo y mayor facilidad de despliegue.

Requerimientos de Infraestructura Aérea

La infraestructura aérea permite tender los cables ópticos sobre postes, lo cual es especialmente útil en lugares donde no existen ductos subterráneos.

Los postes suelen tener alturas de 8 a 12 metros, y se ubican a una distancia aproximada de 40 a 60 metros entre sí. Es importante mantener al menos un metro de separación entre los cables de fibra y las redes eléctricas de baja tensión, para garantizar la seguridad del sistema, como se evidencia en la imagen.

Figura 12

Postes de Media Tensión > Utilizados para Tendido de Fibra



Nota: Postes utilizados para soportar el cableado óptico en la red aérea, respetando condiciones de seguridad y distancias mínimas según RETIE. (Elaboración propia)

Los anclajes, retenidas y tensores deben ser de acero galvanizado, materiales que resisten la corrosión y ofrecen soporte ante la tensión del cableado. Todo el montaje debe cumplir con los criterios del Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE) para evitar riesgos eléctricos y estructurales. En la figura 13 se muestra unos herrajes de retención los cuales tienen diferente diámetro que se acoplan a todos tipos de fibra

Figura 13

Herrajes de Retención Fibra Óptica



Nota: Se observan tensores y retenidas de acero galvanizado empleados para fijar el cable óptico en instalaciones aéreas. (Bonelinks. 2024).

Requerimientos de puntos de empalme y distribución

Los puntos de empalme y distribución son esenciales para conectar y organizar la red óptica. Estos se ubican estratégicamente para minimizar pérdidas de señal y facilitar la expansión futura de la red.

Las cajas de empalme deben ser herméticas y resistentes al polvo y la humedad (grado de protección IP65 o superior). Las cajas de distribución de fibra óptica (FDB) se instalan en postes o cámaras, y permiten derivar la señal hacia los usuarios. En la figura 14 se muestra una caja de empalme tipo domo la cual permite el ingreso de 6 cables 2 por el puerto oval y 4 cables por los puertos laterales y con capacidad para 96 fusiones.

Figura 14

Cajas de Empalme Tipo Domo B4



Nota: Caja hermética con bandejas internas usada para proteger empalmes de hasta 96 fibras ópticas. Unión, s. f. 2016).

cada bandeja de empalme debe asegurar una curvatura mínima de 30 mm para evitar daños o pérdidas por curvatura en la fibra. En la figura 15 se muestra una bandeja con capacidad para resguardar 24 fusiones sin que se exceda el límite mínimo de curvatura.

Figura 15

Bandeja de Empalme



Nota: Elemento donde se alojan y protegen las fibras fusionadas, preservando el radio de curvatura mínimo para evitar pérdidas. (PVL, s. f. 2005)

los splitters ópticos de tipo PLC son los encargados de dividir la señal proveniente de la OLT hacia varios hogares, con relaciones de 1:8, 1:16 o 1:32, según la capacidad de la red. En la figura 16 se muestra un splitter 1:16 el cual normalmente se utiliza en un segundo nivel de espliteo y que se encuentran en cajas NAP.

Figura 16

Splitter 1:16



Nota: Divisor óptico utilizado para la distribución primaria en la red FTTH, dividiendo la señal hacia múltiples CTO. (Unión Internacional de Telecomunicaciones. 2016).

Requerimientos Eléctricos y de Puesta a Tierra

Aunque la fibra óptica transmite luz y no electricidad, los equipos que la hacen funcionar como las OLT, ONT y switches de agregación sí requieren energía eléctrica estable y segura.

Por esta razón, se recomienda que los gabinetes o racks estén conectados a un sistema de puesta a tierra con una resistencia menor a 5 ohmios, cumpliendo las normas del RETIE.

Además, es fundamental contar con sistemas de respaldo eléctrico (UPS o bancos de baterías) que garanticen la continuidad del servicio en caso de cortes de energía.

Requerimientos Ambientales y de Seguridad

El municipio de Convención presenta un clima cálido con zonas de humedad variable y terrenos irregulares. Estas condiciones obligan a diseñar una infraestructura que resista los efectos del sol, la lluvia y el desgaste del tiempo.

Por ello, los materiales deben contar con protección UV, las cámaras deben estar herméticamente selladas y se deben instalar drenajes en zonas propensas a inundaciones. También se deben seguir las normas de seguridad industrial vigentes, como la Resolución 5018 de 2019 del Ministerio de Trabajo, que establece medidas de prevención y elementos de protección personal (EPP) para los trabajadores en campo y la señalización de las obras.

Normativas y Estándares Aplicables

Para garantizar la calidad y el cumplimiento técnico del proyecto, se tuvieron en cuenta diversas normas y estándares internacionales y nacionales, a continuación, se mencionan las principales:

UIT-T G.652: Recomendaciones Para Fibras Ópticas Monomodo

La recomendación ITU-T G.652 define las características de una fibra óptica monomodo ampliamente usada en redes de telecomunicaciones. Está orientada a fibras cuyo punto de dispersión cromática cero se localiza alrededor de 1310 nm y contempla requisitos geométricos, mecánicos y de transmisión. En la tabla 1 se exponen los principales tipos de fibra óptica de

acuerdo con el estándar ante la UIT. Las subvariantes (A, B, C, D) introducen mejoras relacionadas con el “water peak” (pico de atenuación) y la tolerancia a curvaturas.

Tabla 1

Subtipos y Diferencias Principales

Subtipo	Característica destacada	Uso típico
G.652.A	Fibra monomodo clásica — sin optimización contra water-peak (pico de atenuación)	Redes antiguas o enlaces simples sin WDM
G.652.B	Tolerancias geométricas ajustadas, menor dispersión modal	Actualizaciones en redes troncales existentes
G.652.C	Low-Water-Peak (LWP): absorción reducida en 1383 nm	Permite CWDM extendido (1260–1625 nm)
G.652.D	LWP + mejora de curvatura (baja pérdida por macrocurvatura)	Redes nuevas FTTH/FTTx y troncales modernas

The Fiber Optic Association (2023). *Single-mode Fiber Types (G.652–G.657)*.

En la tabla 2 se describen los parámetros que debe cumplir la fibra monomodo del estándar

G. 652

Tabla 2*Parámetros técnicos por subtipo G.652*

Parámetro	Unidad	G.652.A	G.652.B	G.652.C	G.652.D
Diámetro del campo de modo (MFD)	μm @1310	9.2 ±	9.2 ±	9.2 ±	9.2 ±
	nm	0.4	0.4	0.4	0.4
Atenuación máx. @1310 nm	dB/km	0.40	0.35	0.35	0.35
Atenuación máx. @1550 nm	dB/km	0.30	0.25	0.25	0.22
Dispersión cromática @1310 nm	ps/(nm·km)	0 ± 3.5	0 ± 3.5	0 ± 3.5	0 ± 3.5
Dispersión cromática @1550 nm	ps/(nm·km)	≤ 18	≤ 18	≤ 18	≤ 18
PMD coeficiente (máx. cableado)	ps/√km	0.20	0.20	0.20	0.20
Longitud de onda de corte (λ_{cc})	nm	≤1260	≤1260	≤1260	≤1260
Radio mínimo de curvatura (sin pérdida)	mm	30	30	30	20
Water-peak (1383 nm)	dB/km	1.0	0.5	≤0.40	≤0.35

ITU-T Recommendation G.652 (08/2024) — *Characteristics of a single-mode optical fibre and cable*. ITU-T, Ginebra.

La tabla 3 evidencia los principales parámetros que se debe tener en cuenta y una comparación de éstos entre los diferentes fabricantes.

Tabla 3*Ejemplos de Fichas de Fabricantes*

Fabricante	Modelo comercial	Subtipo ITU	Atenuación 1550 nm (dB/km)	Dispersión 1550 nm (ps/(nm·km))	PMD (ps/√km)	Notas
Corning	SMF-28e+®	G.652.D	0.22 dB/km	17 ps/(nm·km)	≤0.06	Fibra estándar mundial; sin pico de agua
Prysmian	BendBright-XS®	G.652.D/G.657.A	0.21 dB/km	17 ps/(nm·km)	≤0.04	Alta flexibilidad y baja pérdida por curvatura
OFS	AllWave+®	G.652.D	0.22 dB/km	17 ps/(nm·km)	≤0.04	Optimizada para CWDM y DWDM
Fujikura	FutureGuide-SS®	G.652.D	0.22 dB/km	17 ps/(nm·km)	≤0.04	Diseñada para FTTH y enlaces densos

STL Tech (2014). Selection of different ITU-T G.652 cabled-fibres in optical networks.

Recomendaciones Prácticas de Instalación

Radio de curvatura: mantener ≥ 20 mm (mínimo absoluto) o 30 mm en tendidos permanentes.

Empalmes: pérdidas por fusión típicas ≤ 0.05 – 0.10 dB; verificación mediante OTDR.

Conectores: usar APC (angled physical contact) para minimizar reflectancia (< -60 dB en sistemas sensibles).

Temperatura de operación: -60 °C a $+85$ °C según fabricante.

Pruebas de Campo Sugeridas

1. OTDR: realizar en 1310 nm y 1550 nm para registrar eventos, empalmes y conectores.
2. Medición de potencia: verificar pérdidas totales por tramo y compararlas con el presupuesto teórico.
3. Prueba de macrocurvatura: comprobar tolerancia de curvatura (simular radio de 20 mm).
4. PMD (dispersión por modo de polarización) y dispersión cromática: requeridas en enlaces > 10 Gbps o distancias > 80 km.

ISO/IEC 11801: Normas de Cableado Estructurado Para Telecomunicaciones.

Alcance y propósito

La norma ISO/IEC 11801 (International Organization for Standardization, 2017) es la que define los requisitos para sistemas de cableado estructurado en instalaciones de clientes (edificios, campus) que soportan múltiples servicios: voz, datos, vídeo, control, automatización. Cubre tanto cableado de par trenzado balanceado como fibra óptica. Dicha norma, fue elaborada por el comité conjunto ISO / IEC (ISO/IEC JTC 1/SC 25/WG 3) y está organizada en partes

desde la revisión de 2017, para adaptarse a diferentes tipos de entornos: oficinas, industria, viviendas, data centres.

Recomendaciones de diseño generales

Para el tendido de fibra en el municipio de Convención, se recomienda tener en cuenta lo siguiente:

Usar cableado y conectores que cumplan con la categoría/clase requerida según el tipo de instalación (oficina, data centre, industria).

Planificar topología tipo estrella/multi-estrella conforme a las recomendaciones del estándar para facilitar mantenibilidad y escalabilidad.

Documentar el sistema de cableado: etiquetado, registros de rutas, enlaces, pruebas realizadas.

Realizar pruebas de conformidad (atenuación, retorno, diafonía, etc.) para garantizar que el canal o enlace cumple la categoría/clase especificada.

Considerar el factor de instalación (dedicación, entorno, posibles interferencias electromagnéticas) y usar cableado compatible (por ejemplo, blindado) si aplica.

Adoptar una infraestructura que permita futuras actualizaciones de servicios sin reemplazo completo del cableado. (Tailwind Voice & Data, s. f.).

RETIE: Reglamento Técnico Colombiano Para Instalaciones Eléctricas

El RETIE es un reglamento técnico expedido por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia que establece los requisitos mínimos de seguridad que deben cumplir los productos, equipos, instalaciones eléctricas y los procesos de generación, transmisión, transformación, distribución y utilización de energía eléctrica en Colombia.

Su objetivo principal es proteger vidas, bienes y asegurar la confiabilidad de las instalaciones

eléctricas. Está vigente la versión modificada mediante la Resolución 40117 de 2024, que entró en vigor el 3 de abril de 2024. (Ministerio de Minas y Energía de Colombia 2024).

Alcance y estructura

El RETIE cubre tanto productos eléctricos como instalaciones, definiendo requisitos para los fabricantes, importadores, distribuidores, instaladores y usuarios finales. Según la versión 2024, se estructura en cuatro “libros”:

1. Libro 1: Disposiciones generales.
2. Libro 2: Productos objeto del RETIE.
3. Libro 3: Instalaciones objeto del RETIE.
4. Libro 4: Procedimientos de evaluación de la conformidad. (U.S. Commercial Service, 2025)

Algunos de los requisitos típicos del RETIE incluyen:

Que los productos eléctricos tengan certificación de conformidad según lo exigido por el reglamento. Que las instalaciones eléctricas cumplan con las condiciones técnicas, de diseño, montaje, operación y mantenimiento para garantizar seguridad. Que los instaladores y organismos de inspección estén acreditados para emitir certificados de conformidad. Que haya registro documental, inspecciones y control para asegurar el cumplimiento regulatorio.

(Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia, 2004)

Importancia práctica y para los instaladores

Para un profesional de instalaciones eléctricas, el RETIE implica que:

Los equipos (interruptores, cables, tableros, etc.) que se usen deben cumplir con los estándares y estar certificados bajo RETIE. Antes de poner en servicio una instalación eléctrica deben realizarse inspecciones e informes de conformidad. Todo proyecto debe considerar tanto

los requisitos técnicos del reglamento como su aprobación y certificación según los plazos establecidos. En la versión reciente (2024), hay plazos de transición para la aplicación de requisitos nuevos en productos e instalaciones. (Cámara Colombiana de la Construcción – Camacol. 2025).

NTC 2050: Código eléctrico colombiano.

La NTC 2050 es una norma técnica colombiana desarrollada por ICONTEC (Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación) que actúa como el Código Eléctrico Colombiano. Según una versión disponible, la “Segunda actualización” (ISBN 978-958-8585-85-7) fue publicada en abril de 2020, se señala que la norma define requisitos técnicos para instalaciones eléctricas en Colombia: diseño, construcción donde se deben seguir las normas de continuidad de red eléctrica para realizar los tendidos y que no sean desmontados por la electrificadora, seguridad “se deben cumplir las normas de distancia en cada tipo de red eléctrica baja tensión 1 mts de distancia, red de media tensión 3 mts de distancia, red de baja tensión 4 mts de distancia entre estas líneas y la fibra que se va a instalar , materiales estos deben ser de buena calidad y que sean aprobados por la electrificadora dueña de los postes para que la red tendida no sufra caídas y pueda generar accidentes a los postes o a la comunidad, etc. (SMANOVA SAS 2025).

CRC (2021): Manual de Diseño de Redes de Telecomunicaciones

Estas normas aseguraron que la red diseñada fuese segura, eficiente y compatible con la infraestructura existente. Este manual establece los criterios técnicos y normativos para el diseño, construcción y certificación de las redes internas de telecomunicaciones en edificaciones de uso residencial, comercial e institucional en Colombia.

El manual tiene como objetivo asegurar la interoperabilidad y calidad de los servicios de

telecomunicaciones, facilitando la integración de tecnologías como fibra óptica, par trenzado y

coaxial dentro de una misma infraestructura. Además, define los requisitos mínimos de canalización, gabinetes, cableado, puestas a tierra, certificación e inspección. Dentro de los principales lineamientos técnicos se encuentran:

Definición de áreas y puntos de acceso: Red de dispersión, red de distribución y red de usuario.

Especificaciones de canalización y ductería según tipo de edificación.

Requisitos para el cableado estructurado en cobre categoría 6 o superior.

Implementación de redes ópticas internas conforme a UIT-T G.657 y G.652.

Normas de puesta a tierra y compatibilidad electromagnética.

Procedimientos de certificación y pruebas de aceptación (continuidad, atenuación, polaridad,

pérdida de retorno). (Comisión de Regulación de Comunicaciones (CRC) 2021)

Diseño de Planos Unifilares

Diseño de los Planos Mediante Software

Para la elaboración de los planos unifilares de la red FTTH del municipio de Convención, se empleó una combinación de herramientas de diseño asistido por computador (CAD) y software especializado en planificación de redes ópticas. El objetivo principal fue representar de manera clara, precisa y escalable la arquitectura de la red propuesta, desde la OLT ubicada en el nodo central hasta las cajas terminales ópticas (CTO) y los usuarios finales.

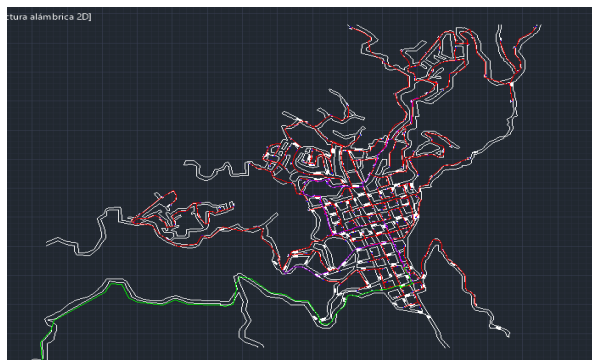
El proceso de diseño se desarrolló en las siguientes etapas:

Modelado Preliminar

Se inició con la recolección de la cartografía oficial del municipio, incluyendo vías principales, zonas residenciales, sectores rurales y disponibilidad de postes o ductería. Esta información permitió definir los corredores óptimos para el tendido del cableado troncal y de distribución. En la figura 17 se muestra la cartografía del municipio de convención donde iniciamos con la división de las troncales FTTH.

Figura 17

Plano Panorámica del Municipio de Convención



Nota: Vista general del trazado urbano utilizado como base para el diseño del modelo FTTH. (elaboración propia)

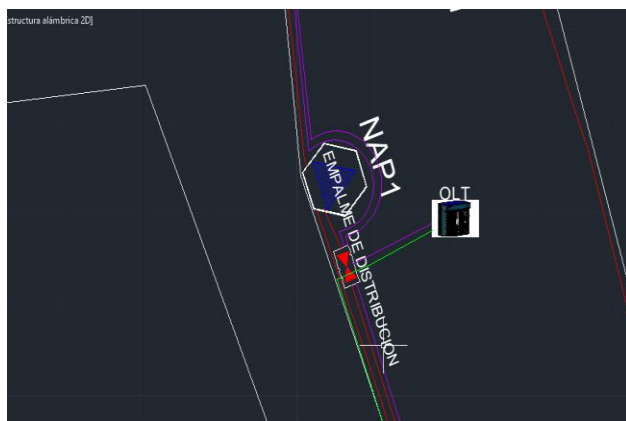
Elaboración del Plano Unifilar

Se utilizó software CAD (AutoCAD o equivalentes) para la creación del plano unifilar, donde se representaron en las imágenes 18-22 la ubicación de los principales componentes de la red diseñada. En la figura 18 se muestra la ubicación de la OLT la cual es uno de los elementos principales de la red FTTH

La **ubicación de la OLT** en el nodo central.

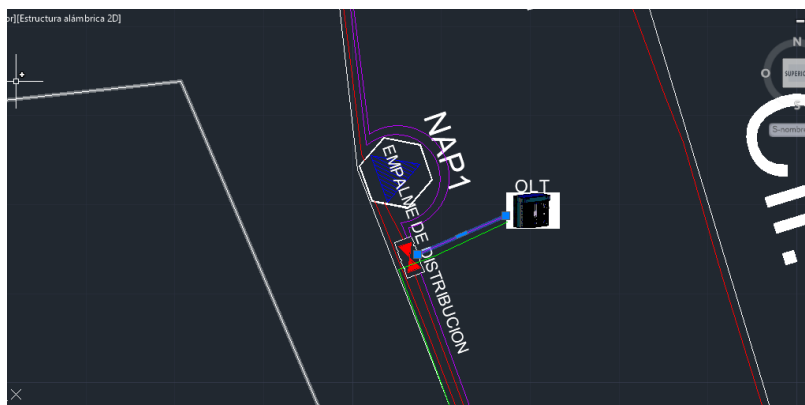
Figura 18

Ubicación OLT en Nodo Central



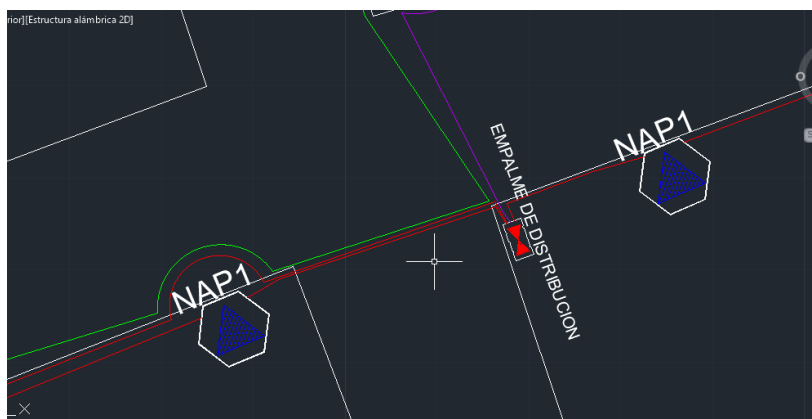
Nota: Plano CAD representando el punto físico donde se instalará la OLT que alimenta todo el sistema FTTH. (elaboración propia)

El backbone o cable troncal, especificado con su capacidad en fibras (48F, 24F o según diseño). En la figura 19 tenemos un recorte donde se muestra la salida del cable troncal desde el ODF que se encuentra en la cabecera hasta el primer empalme donde se inicia la distribución hacia las demás troncales.

Figura 19*Red Cable Troncal Fibra 48H*

Nota: Representación del trayecto del cable troncal desde la OLT hasta el primer nodo de distribución. (elaboración propia)

Los nodos de distribución (NP) o puntos donde se alojan los splitters de primer nivel. En la figura 20 se muestra un empalme que sirve como troncal y distribución desde donde nacen los arpones FTTH.

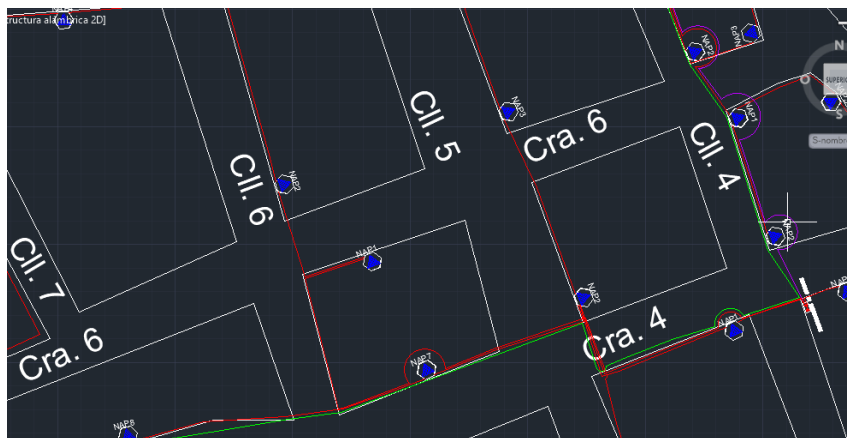
Figura 20*Empalmes de Distribución*

Nota: Se observan los puntos donde se alojan los splitters de primer nivel dentro de las cajas de empalme. (elaboración propia)

Las cajas NAP/CTO, distribuidas en zonas Norte, Centro, Sur y Rural. En la figura 21 se muestra la ubicación de las cajas NAP 1:8 de una de los arpones.

Figura 21

Distribución de Cajas NAP

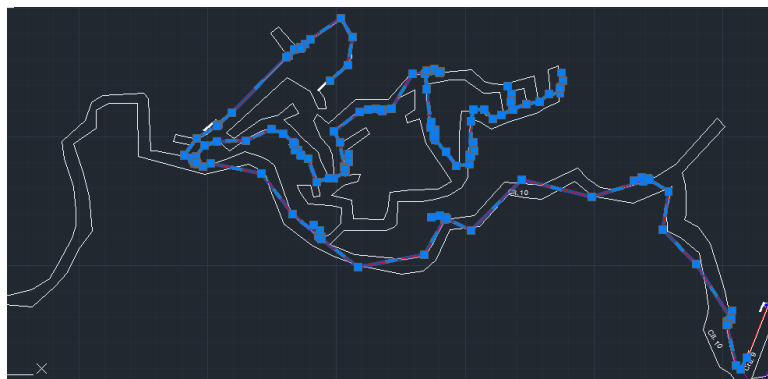


Nota: Plano donde se muestran las CTO de 8 puertos ubicadas en el casco urbano según densidad poblacional. (elaboración propia)

Las rutas ópticas de distribución y acometidas. En la figura 22 se muestra la distribución de la red de fibra óptica por las calles de municipio de convención.

Figura 22

Red de Distribución Troncal FTTH



Nota: Se muestran las rutas de fibra que conectan la OLT con las CTO a través de los nodos de distribución. (elaboración propia)

El diseño realizado parte de la OLT y la asignación de fibras por segmento, se realiza de acuerdo a la capacidad del splitter (1:8, 1:16). En este diseño se estipula una fibra de capacidad de 48 hilos hacia una caja de empalme de distribución donde se tienen 2 splitter 1:8 de primer nivel, y se le asignan los hilos 1 y 2. Se continua con el trayecto llegando hasta la siguiente caja de empalme de distribución donde se tienen los siguientes 2 splitter 1:8 y así sucesivamente hasta cubrir las 10 cajas de empalme que completan un total de 20 splitter. En total se tienen 8 splitter de 1:16 y 12 1:8 así se tiene un cubrimiento del 100% de las 2800 viviendas existentes en el casco urbano.

En la figura 23 se muestra una carta de enrutamiento donde se consigna la información de los arpones construidos

Figura 23

Hoja de Enrutamiento

ITEM	EMPALME			ENTRADA			SALIDA			ATT (4)	
	MARQUILLA EMPALME / TIPO DE EMPALME	Dirección / ID Empalm_VFM	Emp. Aéreo o Clasificado / PACVI o Coordenadas	# CABLE DE ENTRADA	HILO DE ENTRADA A	Cap. / Marca	# CABLE DE SALIDA	HILO DE SALIDA	Cap. / Marca		
1	LA ISLETA			101-01A/R20/ODF/IDS	D5		FO-36-343387	41	36	CX	0
2	202566	AV 5 #08-60	CANALIZADO	FO-36-343387	41	36	FO-36-4336	41	36	CX	0
3	206973	AV 5 #08-60	AEREO	FO-36-4336	41	36	FO-36-4336	41	36	CX	0
4	206303	AV 7 #08-21	AEREO	FO-36-4336	41	36	FO-36-4336	41	36	CX	0
5	207420	AV 0 #02-30	AEREO	FO-36-4336	41	36	FO-36-4336	41	36	CX	0
6	207413	CALLE 17 #06-30	AEREO	FO-36-4336	41	36	FO-36-65839	3	36	CX	0
7	223844	CALLETT # 1-00	AEREO	FO-36-65839	3	36	FO-36-65839	3	48	CX	0
8	206460	CALLE 25 #26-03	AEREO	FO-36-65839	3	36	SPLITTER 1X8				
9	206460	CALLE 26 # 3-05	AEREO	SPLITTER 1X8	1	48	SM- G-21032602616	1	48	CX	0
10	205792	AV 3 # 26-36	AEREO	FO-48-238848	1	48	SPLITTER 1X8				
11	206460	CALLE 26 # 3-05	AEREO	FO-48-238848	2	48	FO-48-238848	2	48	CX	0
12	205792	AV 3 # 26-36	AEREO	FO-48-238848	2	48	FO-48-238848	2	48	CX	0
13	206275	AV 3 CALLE 27 # 2-33	AEREO	FO-48-238848	2	48	SPLITTER 1X8				

Nota: Tabla técnica donde se relacionan puertos ODF, hilos, coordenadas, empalmes y distancias. (elaboración propia).

Validación del Diseño

Una vez realizado el trazado preliminar, se evaluaron aspectos como:

- Longitud de cada tramo.

En este proyecto se tiene un promedio de distancia entre postes de 35 mts y un máximo de 120 mts la cual se sitúa dentro del rango de resistencia (span) de la fibra que es de span 150

- Cumplimiento de la atenuación máxima permitida por la norma (ITU-T G.984/G.9807).

En los enrutamientos desde el ODF a las cajas NAP pasando por las cajas de distribución se usan empalmadoras de fusión laser donde las fusiones tienen una perdida baja que es de 0.01 dB, en los cables Drop (cables que se usan para la instalación del usuario final y que va desde la caja NAP hasta la ONT) se usan conectores mecánicos los cuales tienen una pérdida de 1 dB

- Cantidad máxima de splitters por rama.

En cada troncal FTTH se usan un máximo de 16 splitter con troncales de 8 cajas con capacidad de aumentar la capacidad de usuarios si se llegara a requerir

- Capacidad proyectada a 10 años.

El proyecto fue diseñado para que se tenga una duración mínima de 10 años sin que se tenga que realizar cambios estructurales. Asimismo, el plano fue ajustado para que se pueda migrar fácilmente y se cumpla con los criterios de ingeniería de redes GPON/XGS-PON.

Distribución de las cajas NAP y splitters segundo titulo

La distribución de las cajas NAP y splitters se realizó en función de la densidad poblacional, el crecimiento urbano proyectado y la topología árbol típica de redes PON.

Cajas NAP (CTO)

- Las CTO se ubicaron estratégicamente en zonas:
- Zona Norte: Áreas de mayor densidad residencial. CTO instaladas cada 50–100 metros.

- Zona Centro: Sector comercial del municipio; CTO instaladas según demanda, cada 35-50 metros.
- Zona Sur: Sectores de expansión urbana, con CTO cada 120–150 metros.
- Zona Rural: CTO puntuales para atender fincas y veredas, normalmente a mayor distancia entre sí.

Cada CTO se dimensionó con puertos de 8 drops, según el promedio de usuarios por sector.

Splitters Ópticos

Se estableció una arquitectura híbrida basada en splitters 1:8 y 1:16, ubicados en los nodos de distribución (NP).

Splitter 1:8 en sectores densos, permitiendo redividir la capacidad sin sobrecargar la señal.

Splitter 1:16 en zonas de baja densidad, optimizando el uso de fibra.

Los splitters se instalaron en cajas de distribución accesibles, asegurando facilidad para mantenimiento y ampliaciones futuras.

La red se dividió en 4 secciones principales:

Troncal TRANSMISIÓN: OSN → OLT (24F). en la figura 24 se muestra la ruta de fibra que va desde el municipio de Ocaña hasta el municipio de convención y que sirve para la transmisión de la OLT.

Figura 24

Ruta de transmisión Ocaña Convención

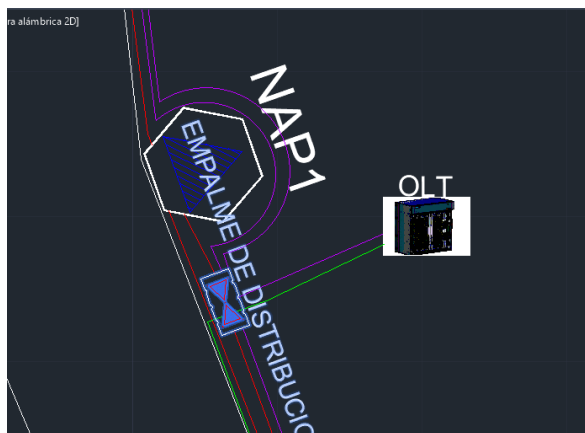


Nota: Trayecto físico y geográfico de la fibra intermunicipal utilizada para alimentar la red FTTH. (elaboración propia)

Troncal: OLT → NP (48F). En la figura 25 tenemos un recorte donde se muestra la salida del cable troncal desde el ODF que se encuentra en la cabecera hasta el primer empalme donde se inicia la distribución hacia las demás troncales.

Figura 25

Red Interna Local

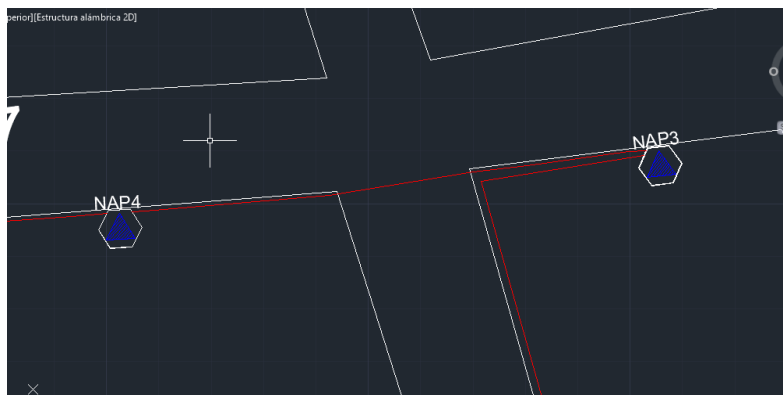


Nota: Representación de la OLT y su distribución interna hacia los bloques troncales. (elaboración propia)

Distribución: NP → CTO (12F). En la figura 26 se muestra la ubicación de las cajas NAP 1:8 de una de los arpones.

Figura 26

Distribución de NAPS



Nota: Plano con la distribución de CTO en cada zona del municipio. (elaboración propia).

Acceso: CTO → Usuario (Drop 1F G.657A2). en la figura 27 tenemos un cable Drop que generalmente es de un hilo acompañado de un alambre que sirve como mensajero para darle mayor seguridad y lo protege de fallas por curvaturas.

Figura 27

Cable Drop



Nota: Cable monofibra utilizado para la conexión desde la CTO hasta el usuario final.

(Jera Fiber, s. f.)

Justificación del Diseño

El diseño de la red FTTH se fundamenta en asegurar una infraestructura robusta, escalable y acorde con los estándares de telecomunicaciones.

Eficiencia Técnica

La topología PON seleccionada garantiza:

Baja atenuación total, menor cantidad de empalmes, lo cual reduce pérdidas, posibilidad de ampliación sin reemplazar la infraestructura principal. La ubicación de CTO y splitters se optimizó para reducir longitudes de Drop y evitar sobrecargar rutas.

Optimización Económica

Ubicar los splitters en nodos estratégicos disminuye:

El uso innecesario de fibra, el número de postes y herrajes requeridos, los costos de mantenimiento y futura expansión. Además, se sigue el modelo de “fibra profunda”, donde la mayor inversión se concentra en la troncal, garantizando escalabilidad por 10–15 años.

Cumplimiento Normativo

El diseño sigue:

Recomendaciones ITU-T (G.652D, G.657A2, G.984, G.9807)

Manual de Diseño de Redes CRC

Norma RETIE y NTC correspondientes para instalaciones en postes o ductos

Esto asegura que la red cumple con parámetros de seguridad, calidad y disponibilidad.

Preparación para 10G / XGS-PON

La arquitectura GPON instalada actualmente es completamente compatible con XGS-PON debido a que ambos sistemas:

Comparten la misma infraestructura pasiva (fibra óptica G.652D/G.657A2, herrajes, ductos, CTO, ODF), utilizan la misma topología PON, basada en división óptica mediante splitters pasivos, permiten la coexistencia GPON y XGS-PON en el mismo cableado mediante WDM en la OLT, utilizando longitudes de onda diferentes para upstream y downstream.

Esto significa que, en el futuro, solo será necesario reemplazar los elementos activos (OLT y ONT), manteniendo intacta la red instalada.

Dimensionamiento Óptico para Soportar 10G

Se verificó que la red cumple los requisitos ópticos establecidos por ITU-T G.9807 para XGS-PON soportado con la siguiente formula:

$$P_{rx} = P_{tx} - (A_{fibra} + A_{emp} + A_{con} + A_{spl} + M_{seg})$$

donde:

P_{tx} = Potencia del transmisor (dBm).

P_{rx} = Potencia en el receptor (dBm).

A_{fibra} = Atenuación por fibra en dB = $\alpha \cdot L$ (dB/km · km).

A_{emp} = Pérdidas por empalmes = $N_{emp} \cdot P_{emp}$ (dB).

A_{con} = Pérdidas por conectores = $N_{con} \cdot P_{con}$ (dB).

A_{spl} = Pérdidas por splitters = suma de las pérdidas de cada splitter en la ruta (dB).

M_{seg} = Margen de seguridad (dB), recomendado 3 dB.

El enlace es viable si $P_{rx} \geq$ Sensibilidad_mínima_receptor.

Nivel de potencia mínimo en la OLT: +4 dBm a +7 dBm

Sensibilidad en la ONT: -28 dBm (clase N2)

Presupuesto óptico máximo recomendado: 29 dB (N1) a 31 dB (N2)

El diseño propuesto utiliza:

- Distancias OLT–usuarios inferiores a **10 km**
- Splitters 1:16 y 1:32 ubicados estratégicamente
- Fibra G.652D/G.657A2 de baja atenuación
- Pérdidas totales estimadas < **28 dB**
- Este margen garantiza soporte completo para 10G sin rediseñar la arquitectura.

Coexistencia GPON / XGS-PON

Ambas tecnologías pueden operar simultáneamente usando longitudes de onda separadas:

Tabla 4

ventanas de trabajo GPON

Tecnología	Downstream	Upstream
GPON	1490 nm	1310 nm
XGS-PON	1577 nm	1270 nm

Presupuesto del Enlace

Introducción

El presupuesto del enlace óptico constituye uno de los elementos fundamentales en el diseño de redes de fibra óptica, ya que permite verificar que la potencia óptica emitida por el transmisor sea suficiente para garantizar la recepción adecuada de la señal en el extremo opuesto. Este análisis asegura la calidad del servicio, la continuidad del enlace y el cumplimiento de los parámetros establecidos por estándares internacionales y por las recomendaciones ITU-T.

Parámetros Considerados

Para el cálculo del presupuesto óptico se consideran los siguientes parámetros técnicos:

Potencia de transmisión (P_t) del equipo emisor. es la cantidad de energía óptica emitida por el transmisor (por ejemplo, un puerto óptico de una OLT, un láser o un módulo óptico). Se expresa normalmente en dBm (decibel-miliwatt) y determina cuánta señal se inyecta en la fibra para recorrer la distancia hasta el receptor.

Sensibilidad del receptor (P_r). es el nivel mínimo de potencia óptica que un equipo (ONT, OLT, transceptor SFP, etc.) requiere para recibir y decodificar una señal sin errores. Se expresa en dBm y siempre es un valor negativo, porque se trata de señales muy débiles.

Atenuación de la fibra óptica, es la pérdida de potencia que experimenta la señal de luz a medida que viaja a través del núcleo de la fibra. Se expresa en dB/km y depende de la longitud de onda, del tipo de fibra y de las condiciones físicas del enlace.

Pérdidas por empalmes, Los empalmes de fibra óptica son uniones permanentes entre dos fibras, utilizadas para extender tramos, reparar cortes o conectar elementos dentro de la red óptica. Cada empalme introduce una pérdida adicional en el enlace debido a imperfecciones en la

alineación o a diferencias entre las fibras. Estas pérdidas se expresan en dB y deben incluirse dentro del presupuesto óptico. generalmente entre 0,05 y 0,1 dB por evento.

Pérdidas por conectores Los conectores ópticos permiten realizar uniones desmontables entre dos fibras u equipos (OLT, ONT, splitters, ODF, paneles, CTO). Aunque facilitan la instalación y mantenimiento, cada conector introduce una pérdida de potencia en el enlace debido a imperfecciones en el alineamiento, separación física, suciedad o diferencias geométricas entre los extremos. Estas pérdidas se expresan en dB, típicamente entre 0,2 y 0,5 dB por conector.

Pérdidas por Splitters ópticos, los splitters ópticos son dispositivos pasivos utilizados en redes FTTH para dividir la señal óptica proveniente de la OLT y distribuirla hacia múltiples usuarios finales. Su función es dividir la potencia de entrada en varias salidas, lo que introduce pérdidas inherentes al proceso, conocidas como pérdidas de división. Estas pérdidas se expresan en dB y son una de las componentes más críticas del presupuesto del enlace PON, debido a que representan las mayores pérdidas del sistema.

Margen de seguridad, recomendado entre 3 y 6 dB para compensar futuros cambios, envejecimiento del cable y variaciones ambientales.

Fórmula General del Presupuesto Óptico

El presupuesto del enlace se determina mediante:

$$\text{Presupuesto Disponible} = P_t - P_r$$

$$(A_f * L) + (N_e \times P_e) + (N_c \times P_c) + (P_s) + M$$

Donde:

- A_f : Atenuación de la fibra (dB/km)
- L : Longitud del enlace (km)

- N_e : Número de empalmes
- P_e : Pérdida por empalme
- N_c : Número de conectores
- P_c : Pérdida por conector
- P_s : Pérdida del splitter óptico
- M : Margen de seguridad

El enlace se considera **viable** si: *Presupuesto Disponible* \geq *Perdidas Totales*

Cálculo (Transmisión OLT, Potencia NAP más Lejana)

Valores de referencia

- Potencia del transmisor: **+10 dBm**
- Sensibilidad del receptor: **-28 dBm**
- Atenuación de la fibra G.652.D: **0,35 dB/km** (1310 nm), **0,25 dB/km** (1550 nm)
- Longitud del enlace: **35 km**
- Pérdidas por empalmes: **0,1 dB** \times 9 empalmes
- Pérdidas por conectores: **0,5 dB** \times 4 conectores
- Margen de seguridad: **3 dB**

Presupuesto para la transmisión desde Ocaña hasta convención

$$A_f \times L = 0,25 \times 35 = 8,75 \text{ dB}$$

$$P_e = 9 \times 0,1 = 0,9 \text{ dB}$$

$$P_c = 4 \times 0,5 = 2 \text{ dB}$$

$$P_{\text{totales}} = 8,75 + 0,9 + 2 + 3 = 14,65 \text{ dB}$$

$$\text{Presupuesto Disponible} = 10 - (-28) = 38 \text{ dB}$$

resultado

$$38dB \geq 14,15 dB \text{ enlace dentro de parametros}$$

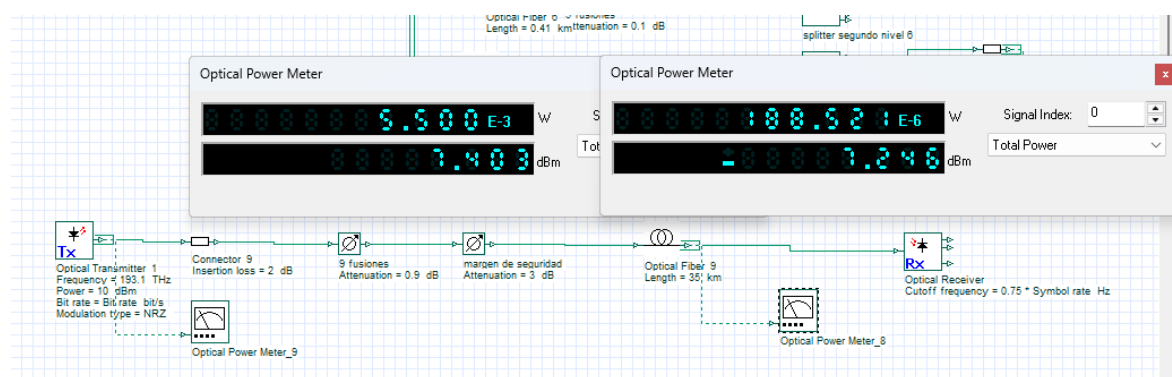
$$P_{final} = 7 - 14,15$$

$$P_{final} = -7,15 \text{ potencia dentro de lo permitido}$$

tenemos una potencia inicial de 10 dB restándole las pérdidas de la longitud del cable más los empalmes más los conectores nos queda una potencia de -7 dB Valores de potencia óptica en los puertos de la OLT en condiciones de operación normal

Figura 28

Potencia en Transmisor y Receptor



Nota: mostramos la potencia final de transmisión desde la ciudad de Ocaña hasta convención (Elaboración propia)

Presupuesto para la transmisión de un puerto de la OLT hasta la NAP más lejana de una de las troncales

$$(A_f * L) + (N_e \times P_e) + (N_c \times P_c) + (P_s) + M$$

$$A_f \times L = 0,35 \times 0,46 = 0,161 dB$$

$$P_e = 5 \times 0,1 = 0,5 dB$$

$$P_c = 4 \times 0,5 = 2 dB$$

$$P_s = s_1 + s_2$$

$$P_s = 10,5 + 10,5 = 21 dB$$

$$P_t = 0,161 + 0,5 + 21 + 2 + 3 = 26,661 \text{ dB}$$

$$\text{Presupuesto Disponible} = 5 - (-27) = 32 \text{ dB}$$

resultado

$$32\text{dB} \geq 26,661 \text{ dB enlace dentro de parametros}$$

$$P_{final} = 5 - 26,661$$

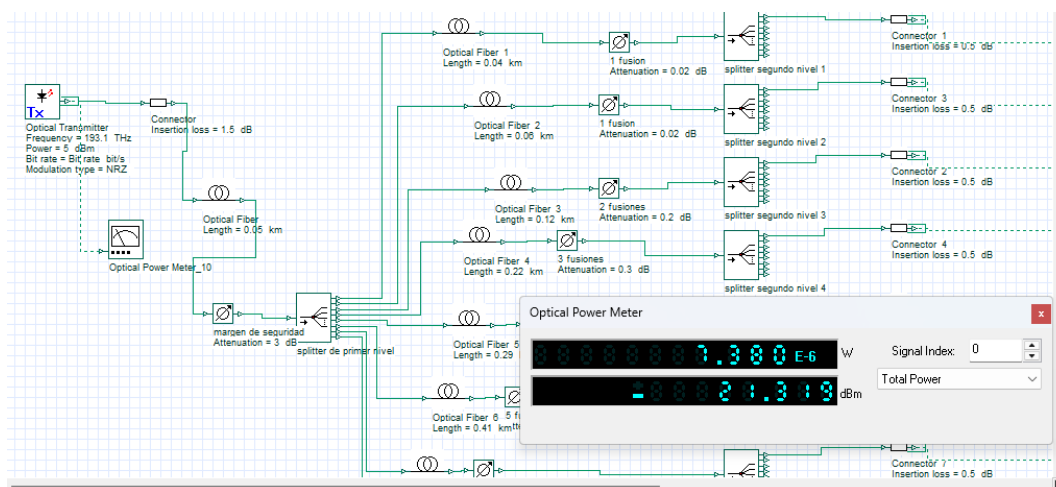
$$P_{final} = -21,661 \text{ potencia dentro de lo permitido}$$

Se muestra la potencia óptica disponible en la CTO más distante del nodo troncal.

Tenemos una potencia inicial de 5 dB porque estamos utilizando un módulo transceiver B+ lo que nos permite esa potencia a la cual le restamos las pérdidas de los splitter 1:8 primario y secundario más las pérdidas de conectores km y longitud de cables nos queda una potencia en la NAP de -21 dB

Figura 29

Potencia en NAP



Nota: mostramos la potencia final de una troncal donde el splitter primario es 1:8 y el splitter secundario es 1:8 (Elaboración propia)

Presupuesto para la transmisión de un puerto de la OLT hasta la NAP más lejana de la troncal más lejana

$$(A_f * L) + (N_e \times P_e) + (N_c \times P_c) + (P_s) + M$$

$$A_f \times L = 0,35 \times 4.59 = 1,607 \text{ dB}$$

$$P_e = 21 \times 0,1 = 2,1 \text{ dB}$$

$$P_c = 4 \times 0,5 = 2 \text{ dB}$$

$$P_s = s_1 + s_2$$

$$P_s = 13,5 + 10,5 = 24 \text{ dB}$$

$$P_t = 1,607 + 2,1 + 24 + 2 + 3 = 32,707 \text{ dB}$$

$$\text{Presupuesto Disponible} = 7 - (-30) = 37 \text{ dB}$$

resultado

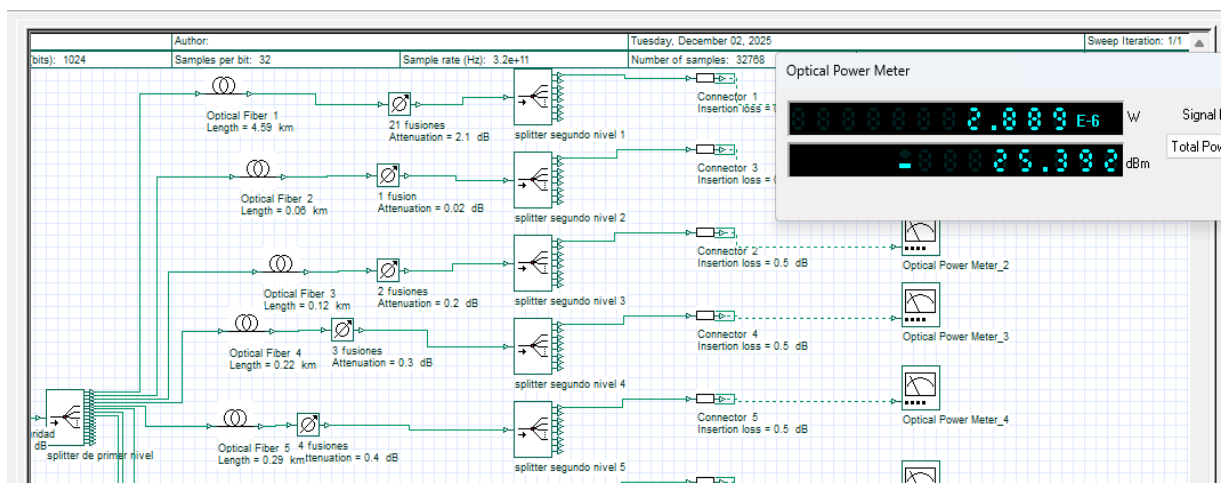
$$37\text{dB} \geq 32,707 \text{ dB}$$

$$P_{final} = 7 - 32,707 \text{ enlace dentro de parametros}$$

$$P_{final} = -25,707 \text{ potencia dentro de lo permitido}$$

Lectura de potencia obtenida en la CTO más alejada dentro de la rama de mayor longitud.

Tenemos una potencia inicial de 7 dB ya que instalamos un módulo transceiver C+ donde restamos las pérdidas del splitter primario 1:16 y los secundarios 1:8 más la longitud del cable, conectores y fusiones nos queda una potencia final en NAP de -25 dB lo que nos permite el funcionamiento normal del servicio ya que tenemos un presupuesto de potencia de -32dB

Figura 30**Potencia en NAP**

Nota: mostramos la potencia final de una troncal donde el splitter primario es 1:8 y el splitter secundario es 1:8 (Elaboración propia)

Interpretación de resultados

La interpretación de los resultados del presupuesto óptico permite verificar si el diseño planteado para la red FTTH cumple con los requisitos técnicos establecidos por los estándares internacionales (ITU-T G.984 para GPON y G.9807.1 para XGS-PON), y si garantiza un funcionamiento confiable para los usuarios finales. Esta etapa es fundamental, ya que, no solo valida los cálculos de pérdidas totales, sino que también permite determinar la viabilidad del enlace, su margen de operación y la estabilidad a largo plazo.

En primera instancia, se evalúa la potencia de transmisión de los equipos (OLT y ONT) comparándola con los valores de sensibilidad de recepción, con el fin de establecer cuál es el presupuesto óptico disponible tanto en sentido descendente (downstream) como ascendente (upstream). Este presupuesto representa la máxima cantidad de pérdidas permitidas sin comprometer la integridad de la señal óptica. Si las pérdidas calculadas del enlace son inferiores a dicho presupuesto, el sistema se considera técnicamente viable.

Posteriormente, se analizan las pérdidas acumuladas de la red: atenuación de la fibra óptica, pérdidas en empalmes, pérdidas en conectores y pérdidas de los splitters ópticos. Entre estos elementos, los splitters suelen ser los que más influyen en el rendimiento general, debido a que pueden introducir pérdidas superiores a 17 dB en configuraciones 1:32 o mayores. Las pérdidas de empalmes y conectores, aunque menores individualmente, también tienen un impacto significativo cuando su cantidad es alta, como ocurre en redes FTTH donde se incluyen empalmes en cajas de distribución, cajas NAP/CTO y puntos de derivación.

Una vez sumadas todas las pérdidas, se compara el resultado con el presupuesto óptico disponible. Si el total de pérdidas de la red es menor que el presupuesto, el enlace cumple con los criterios para operar dentro de los márgenes establecidos. En este análisis también se incluye un margen de seguridad, normalmente entre 3 y 6 dB, que tiene como objetivo compensar variables futuras como envejecimiento de la fibra, aumento de pérdidas por curvaturas, degradación de conectores, adición de empalmes y variaciones ambientales. Si el diseño mantiene un margen de seguridad adecuado aun después de sumar todas las pérdidas estimadas, se considera un enlace robusto y preparado para operar de forma confiable a lo largo del tiempo.

Finalmente, los resultados permiten determinar si es posible aumentar la cantidad de usuarios por puerto OLT, si los valores de potencia están dentro del rango permitido para evitar saturaciones, y si la arquitectura seleccionada (centralizada o en cascada) es la más conveniente. Una interpretación adecuada también puede mostrar si es necesario optimizar el trazado, reducir empalmes, ajustar divisiones ópticas o mejorar la calidad de los componentes utilizados.

En conclusión, la interpretación del presupuesto óptico no solo valida que los cálculos estén correctos, sino que constituye una herramienta clave para garantizar la eficiencia, estabilidad y calidad de servicio de la red FTTH. Esta evaluación asegura que la potencia

recibida por la ONT y la OLT se encuentra dentro de los rangos permitidos, que el diseño cumple con los estándares técnicos y que la red operará con confiabilidad durante su vida útil.

Guía de Instalación – Cartilla de fácil uso

La presente cartilla guía tiene como objetivo servir como documento técnico–práctico para orientar el proceso de instalación de redes de fibra óptica hasta el hogar (FTTH), bajo tecnologías GPON y XGS-PON. Está dirigida a estudiantes, técnicos e ingenieros de telecomunicaciones, y establece lineamientos claros para garantizar una instalación segura, eficiente y conforme a las normas vigentes.

Glosario

Esta guía aplica a:

Instalaciones FTTH en entornos urbanos, rurales y semiurbanos.

El municipio de Convención presenta zonas con diferentes niveles de densidad y desarrollo, la red FTTH debe adaptarse a variaciones de distancia, número de usuarios y tipo de infraestructura, el diseño cambia en rutas, tipo de fibra, splitters y acometidas según el entorno, garantiza aplicabilidad real del proyecto no solo teórica.

Infraestructura aérea y canalizada.

FTTH (Fiber To The Home):

Es una tecnología de acceso que lleva la fibra óptica directamente hasta el hogar del usuario, permitiendo ofrecer servicios de alta velocidad, estabilidad y baja latencia. En el municipio de Convención, el diseño de la red FTTH se plantea considerando las particularidades de zonas urbanas, rurales y semiurbanas, donde las distancias, la cantidad de usuarios y el tipo de infraestructura varían significativamente.

Entornos urbanos, rurales y semiurbanos:

Corresponden a las diferentes condiciones geográficas y de desarrollo del municipio.

Estas diferencias influyen directamente en la forma como se diseña la red FTTH, ya que obligan

a adaptar las rutas de tendido, el tipo de fibra óptica, el uso de splitters y las acometidas. De esta manera, el proyecto busca ser aplicable a la realidad del territorio y no limitarse únicamente a un enfoque teórico.

Infraestructura aérea

Hace referencia al tendido de la fibra óptica sobre postes existentes. Este tipo de infraestructura es común en zonas rurales y semiurbanas, ya que permite una instalación más rápida, menores costos y un mantenimiento más sencillo.

Infraestructura canalizada (subterránea)

Consiste en la instalación de la fibra óptica a través de ductos o canalizaciones subterráneas. Se utiliza principalmente en áreas urbanas o en cruces críticos, donde se requiere mayor protección de la red y un mejor control del impacto visual y ambiental.

Infraestructura mixta (aérea–canalizada)

Es la combinación de infraestructura aérea y subterránea. Esta alternativa ofrece mayor flexibilidad en el diseño de la red, reduce costos frente a soluciones totalmente subterráneas y permite cumplir con normativas como el RETIE y la NTC 2050, especialmente en puntos críticos del municipio.

Fibra troncal

Es el eje principal de la red, encargado de transportar grandes volúmenes de información desde la central hasta los puntos de distribución. En este tramo se prioriza el uso de fibra de alta capacidad y baja atenuación, ya que su desempeño afecta directamente la calidad global del servicio.

Red de distribución:

Corresponde al segmento intermedio de la red FTTH que se encarga de llevar la señal

desde la fibra troncal hasta las zonas donde se conectan los usuarios. Su diseño busca optimizar la cobertura y el uso eficiente de splitters ópticos.

Acometida (Drop)

Es el tramo final que conecta la red de distribución con el usuario. Este segmento requiere fibras más flexibles y resistentes a curvaturas, debido a las condiciones de instalación. Una correcta acometida es clave, ya que influye directamente en el presupuesto óptico y en la calidad del servicio que recibe el usuario final.

Redes basadas en GPON/XGS-PON.

GPON permite despliegue inicial costo-eficiente, XGS-PON habilita mayores velocidades y simetría, ambas tecnologías son compatibles con la misma infraestructura pasiva, garantizan escalabilidad sin rediseñar la red física, cumplen estándares ITU-T vigentes.

ITU-T G.652.D – Fibra óptica monomodo.

Norma internacional que define las características de la fibra óptica monomodo convencional, incluyendo parámetros de atenuación, presenta baja atenuación ($\sim 0,35$ dB/km a 1310 nm y $\sim 0,25$ dB/km a 1550 nm). es estándar para redes de acceso y transporte, es compatible con GPON y XGS-PON, garantiza estabilidad y desempeño a largo plazo.

ITU-T G.657.A2 – Fibra óptica para acometidas.

Norma internacional que especifica las características de la fibra óptica monomodo con alta tolerancia a curvaturas, soporta radios de curvatura reducidos ($\approx 7,5$ mm), minimiza pérdidas en instalaciones interiores, es ideal para cable Drop FTTH, mantiene compatibilidad con G.652.D, reduce fallas por instalación inadecuada.

ITU-T G.984 – Sistemas GPON.

Conjunto de recomendaciones que definen la arquitectura, interfaces, velocidades de transmisión y parámetros de operación de los sistemas Gigabit-capable Passive Optical Network (GPON), soporta arquitectura P2MP, permite altas tasas de transmisión, reduce costos al compartir infraestructura pasiva, es estándar ampliamente adoptado, es compatible con XGS-PON en la misma red pasiva.

RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (Colombia).

Norma de obligatorio cumplimiento que establece los requisitos técnicos y de seguridad para las instalaciones eléctricas en el territorio colombiano. En el diseño e instalación de redes FTTH, el RETIE regula aspectos como distancias mínimas de seguridad entre redes eléctricas y de telecomunicaciones,

Fibra Óptica

Medio de transmisión compuesto por filamentos de vidrio o plástico que transportan información mediante pulsos de luz, basado en el principio de reflexión interna total.

Red FTTH

Arquitectura de acceso en la cual la fibra óptica se extiende desde la central del operador hasta el usuario final.

La presente cartilla guía tiene como objetivo servir como documento técnico–práctico para orientar el proceso de instalación de redes de fibra óptica hasta el hogar (FTTH), bajo tecnologías GPON y XGS-PON. Está dirigida a estudiantes, técnicos e ingenieros de telecomunicaciones, y establece lineamientos claros para garantizar una instalación segura, eficiente y conforme a las normas vigentes.

Elementos y Herramientas para la Instalación de Fibra Óptica

Materiales Principales

- Cable de fibra óptica G.652.D (troncal y distribución).
- Cable drop G.657.A2.
- Splitters ópticos (1:8, 1:16).
- Cajas de empalme.
- Cajas NAP / CTO.
- Conectores SC/APC.
- ODF y bandejas de empalme.

Herramientas Básicas

- Fusionadora de fibra óptica.
- Cortadora (cleaver).
- Peladora de fibra.
- Medidor de potencia óptica.
- OTDR.
- Kit de limpieza de conectores.

Procedimiento General de Instalación

Verificación de Infraestructura

Inspeccionar postes, ductos y canalizaciones.

Verificar distancias de seguridad con redes eléctricas según RETIE.

Confirmar puntos de empalme y rutas definidas en los planos.

Instalación de Fibra Troncal

Desplegar el cable evitando torsiones y aplastamientos.

Respetar el radio mínimo de curvatura (≥ 30 mm).

Fijar el cable con herrajes certificados.

Instalación de Cajas de Empalme

Ubicar cajas en puntos estratégicos.

Asegurar sellado hermético (IP65 o superior).

Identificar fibras y bandejas.

Empalmes de Fibra Óptica

Limpiar y preparar las fibras correctamente.

Realizar empalmes por fusión.

Verificar pérdidas típicas $\leq 0,1$ dB.

Instalación de NAP / CTO

Instalar a una altura segura.

Etiquetar puertos y fibras.

Verificar organización interna.

Instalación de Acometida (Drop)

Usar fibra G.657.A2.

Evitar curvas cerradas y tensiones.

Instalar ONT en un punto protegido dentro del domicilio.

Pruebas y Certificación

Medición de Potencia Óptica

Verificar potencia de transmisión y recepción.

Comparar con el presupuesto óptico diseñado.

Pruebas OTDR

Identificar empalmes, eventos y pérdidas.

Confirmar longitud total del enlace.

Seguridad y Buenas Prácticas

Uso obligatorio de EPP.

No observar directamente fibras activas.

Mantener limpieza en conectores.

Señalizar zonas de trabajo.

Mantenimiento Básico

Inspección periódica de cajas y NAP.

Limpieza de conectores.

Actualización de registros y planos.

Conclusiones

El diseño de la red de fibra óptica FTTH para el municipio de Convención, Norte de Santander, constituye una propuesta técnica sólida y completamente viable para mejorar la conectividad regional ya que en comparación con las redes de cobre permiten mayores distancias y mayores velocidades, también es resistente a interferencias electromagnéticas teniendo un mejor funcionamiento. El estudio permitió establecer una arquitectura de red eficiente basada en tecnologías GPON y con preparación para migrar a XGS-PON, asegurando escalabilidad, calidad de servicio y compatibilidad con las exigencias futuras de tráfico de datos.

El análisis de las condiciones geográficas, urbanas y de la infraestructura existente del municipio de Convención permitió identificar que la infraestructura aérea apoyada en la red de postes eléctricos es técnicamente viable para el despliegue de una red FTTH. La revisión normativa basada en RETIE, NTC 2050 y lineamientos CRC garantizó el cumplimiento de distancias de seguridad, criterios de instalación y condiciones de operación, asegurando un diseño compatible con la infraestructura eléctrica existente y adecuado a las condiciones ambientales del municipio ya que se cuenta con unas vías urbanas y rurales ya consolidadas que permite el desplazamiento sin inconvenientes una red de infraestructura eléctrica la cual nos permite trabajar sin afectar las redes de fibra.

Se definió una arquitectura de red punto–multipunto (P2MP) basada en tecnología GPON, con capacidad de migración a XGS-PON, lo que permite ofrecer mayores velocidades y escalabilidad futura. La selección de esta topología optimiza el uso de la fibra óptica y reduce costos de despliegue, permitiendo atender múltiples usuarios a partir de un único puerto OLT mediante el uso de splitters pasivos, garantizando eficiencia operativa y crecimiento progresivo de la red.

La selección de componentes como fibra óptica tipo monomodo G.652.D para troncales, G.657.A2 para acometidas, splitters ópticos 1:8 y 1:16 los cuales tienen una pérdida promedio de 10,5 dB y 14 dB, cajas de empalme, NAP y ONT, se realizó conforme a las recomendaciones de las normas ITU-T G.652, G.657, G.984 y G.9807. Esta selección garantiza compatibilidad entre equipos, tolerancia a curvaturas en tramos críticos y un desempeño adecuado para la prestación de servicios de alta velocidad.

El cálculo del presupuesto óptico, considerando la potencia de transmisión según el módulo instalado puede ser de 5 dB o 7 dB, atenuación de la fibra que es de 0,35 o 0,25 según las ventanas de transmisión más utilizadas que son 1310 nm y 1550 nm, pérdidas por empalmes que pueden estar en promedio de 0,1 dB, conectores con pérdidas por inserción de 0,5 dB y splitters con pérdidas de 10,5 y 14 dB, se evidenció que las pérdidas totales del enlace se encuentran dentro de los márgenes operativos permitidos por los equipos OLT y ONT que está en -27 para módulos transceiver B+ y -32 dB para módulos transceiver C+ La inclusión de un margen de seguridad mínimo de 3 dB asegura la estabilidad del sistema frente al envejecimiento de los componentes y posibles ampliaciones futuras, confirmando la viabilidad técnica del diseño propuesto.

El modelado de la red en software especializado permitió representar de manera precisa la topología, el trazado y la ubicación de los elementos activos y pasivos del sistema. Como resultado, se obtuvieron planos unifilares detallados, los cuales constituyen una herramienta fundamental para la implementación, operación y mantenimiento de la red, reduciendo errores durante el despliegue y facilitando futuras expansiones.

La elaboración de la cartilla técnica de instalación de fibra óptica FTTH consolidó los criterios técnicos, normativos y operativos del proyecto en un documento práctico y aplicable.

Esta cartilla sirve como guía para instaladores, técnicos e ingenieros, estandarizando los procedimientos de instalación, empalme, pruebas y mantenimiento, y asegurando la correcta ejecución del proyecto conforme a las buenas prácticas del sector.

Desde una perspectiva social, la implementación de este proyecto contribuye al cierre de la brecha digital en la región, permitiendo la conectividad residencial, empresarial, educativa y administrativa. Esto impacta directamente en la inclusión digital, la competitividad regional y la disponibilidad de servicios modernos como teleeducación, telemedicina, comercio electrónico y economía digital.

La correcta instalación de una red de fibra óptica FTTH garantiza un servicio confiable, escalable y de alta calidad. Esta cartilla proporciona una guía clara y estructurada que permite ejecutar instalaciones conforme a los estándares técnicos y normativos vigentes, facilitando futuras ampliaciones y asegurando la sostenibilidad de la red.

Referencias Bibliograficas

- Agrawal, G. (2021). *Fiber-optic communication systems*. Wiley.
- Bonelinks. (2024). Herrajes de retención para fibra óptica.
- Cámara Colombiana de la Construcción (Camacol). (2025). Actualización normativa y guías del RETIE.
- Cisco Systems. (2020). Optical fiber transmission and dispersion guidelines.
- Comisión de Regulación de Comunicaciones – CRC. (2021). Manual de diseño de redes de telecomunicaciones.
- CEPAL. (2022). Implementación de redes ópticas rurales en Latinoamérica.
- Corning. (2023). SMF-28e+® Optical Fiber: Technical Specifications.
- Deng, H., et al. (2017). Optical Line Terminal (OLT) Technologies. IEEE.
- FiberLabs Inc. (2021). Principles of Total Internal Reflection.
- GeeksforGeeks. (2025). Software Defined Networking (SDN): Concepts and Architecture.
- Granja Matías, C. (2020). Conectividad en Colombia: avances y desafíos. Ministerio TIC.
- HFCL. (2023). Optical fiber cabling systems.
- Hinostroza, E. (2017). Impacto de las tecnologías digitales en la sociedad. *Revista Latinoamericana de Tecnología*, 12(2), 45–63.
- Humanetics Group. (2024). OTDR Measurement Guide.
- International Organization for Standardization. (2017). ISO/IEC 11801: Information technology – Generic cabling for customer premises.
- International Telecommunication Union (ITU). (2016). Optical fiber splice closures.
- ITU-T. (2024). Recommendation G.652: Characteristics of a singlemode optical fibre and cable.
- Jera Fiber. (s. f.). Drop Cable G.657A2 technical datasheet.
- LightOptics. (2021). GPON Architecture Overview.
- Medina, L. (2020). Informe Digital 2020.

- Ministerio de Comercio, Industria y Turismo de Colombia. (2004). Reglamentos técnicos.
- Ministerio de Minas y Energía. (2024). RETIE – Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas.
- Ministerio TIC. (2020). Plan Nacional de Fibra Óptica.
- Ministerio TIC. (2023). Plan Nacional de Conectividad Digital.
- Neos Networks. (2024). Optical Network Terminal Overview.
- Optcore. (2024). XGS-PON Technology Guide.
- Pérez, J., & Rojas, A. (2021). Implementación de redes GPON en zonas rurales colombianas.
- PVL. (2005). Optical fiber splice tray systems.
- Rodríguez, M. (2019). Diseño e implementación de redes FTTH basadas en GPON.
- SMANOVA SAS. (2025). Interpretación técnica de la NTC 2050.
- STL Tech. (2014). ITU-T G.652 Cabled Fibres.
- Tailwind Voice & Data. (s. f.). Structured cabling guidelines.
- U.S. Commercial Service. (2025). RETIE compliance in Colombia.
- Unión Internacional de Telecomunicaciones. (2016). Splitters ópticos PLC para redes FTTx.