

**Fibra óptica hasta su hogar (Fiber to the home: FTTH) Gigabit Passive Optical Network
(GPON)**

Yair Alexander Gamboa Montealegre

Asesor

July Natalia Mora Alfonso

Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería ECBTI
Ingeniería de Telecomunicaciones

2025

Dedicatoria

Quiero dedicar estas palabras a mi familia: esposa, hijos y mis padres. Porque durante todo este tiempo han sido mi apoyo, mi fuerza, mi entusiasmo y comprensión. Ya que en todo este proceso se convirtieron en mi pilar para esos momentos de debilidad, de inquietudes y sobre todo en los de estancamiento más por cansancio debido a aprendizajes de la vida misma.

En resumen, han sido y son mi inspiración en los momentos álgidos de la vida y hoy por hoy son mi mayor motivación para avanzar en los proyectos que me proponga de ahora en adelante gracias a que han estado ahí presentes en mi vida.

Ustedes que han estado presente en cada instante de este proceso quiero compartir esta alegría tan grande que aborda todo mi ser en estos momentos, les dedico este y muchos logros venideros. Es motivo de felicidad saber que soy el primero de la familia en acceder a la educación superior profesional, en un país donde es difícil y se cataloga de privilegio. Siento que represento para mis hijos un ejemplo de superación y la iniciativa de seguir capacitándose cada día de su vida; además que nunca es tarde para seguir aprendiendo.

Por todo lo anterior, llevo impresa su huella de entendimiento de amor incondicional y de su inquebrantable fe en mí.

Gracias, con una enorme y profunda comprensión de su amor eterno.

Agradecimientos

Quiero agradecer a Dios por darme la salud y poder cerrar este ciclo académico.

Agradecer a mi querida y amada familia;

por cerrar un hito académico muy importante para mí vida y de beneficio para todos, quiero en este momento de celebración y gratitud, expresarles mi gratitud.

Mita,

Siempre has sabido que mi lucha es transformar los momentos difíciles, y no olvidar que a partir de esos momentos de dificultad he querido seguir avanzando en la vida, apoyado en su esfuerzo y amor incondicional que me impulsaron a avanzar en la vida para ir logrando lo inimaginable.

Paa,

Siempre he admirado tu vitalidad, tus ganas de trabajar y ese amor con el ejecutas las cosas, gracias a esa pasión y gusto, he aprendido a vivir más la vida y hacer lo que me apasiona.

Inculcaste en mi ser la perseverancia la honestidad en todo sentido, gracias por enseñarme el valor por el trabajo arduo y que hoy sea tu orgullo silencioso han sido mi mayor motivación para seguir avanzando en una formación académica y profesional, gracias por tu amor incondicional.

Esposa mía,

No puedo ser más afortunado por permitirme que esté a tu lado, ya que solo estando juntos he tenido amor, apoyo y aprendizaje en muchos aspectos de la vida. Dichoso por tu amor incondicional porque me inspiras a alcanzar mis metas y mis sueños, que son cada vez más fuertes. Te agradezco por estar conmigo como compañera de vida, en las buenas y en las malas; y, por entender mis sacrificios, por alegrarte de mis victorias, los celebras también como si fueran tuyos.

Gracias por tu amor en todos estos años. Gracias y mil veces gracias por estar juntos. TE AMO.

Mis príncipes,

Ustedes son mis dos motores y mi mayor tesoro porque lo más valioso de mi vida no es lo que posea sino a quién tengo a mi lado, ustedes son mi mayor tesoro y mi fuente inagotable de alegría. Gracias por llenar mi vida de risas en esos momentos a veces agobiantes, gracias por sentir que soy su héroe. Quiero expresarles una vez más que es gracias a ustedes mis hijos que he podido avanzar en este hito académico, ya que siempre ha sido pensado en el futuro de cada uno de ustedes y en el legado que quiero dejarles.

Ser su padre ha sido mi mayor triunfo y mi mayor alegría; y decirles hoy que este logro académico también es de ustedes, ya que cada hora dedicada al estudio ha sido una hora en la que no he podido estar al lado de ustedes, se puede decir que he tomado prestado tiempo de sus vidas para estar hoy celebrando el cierre de este ciclo de aprendizaje y poder brindarles mejores cosas para la vida no solo materiales sino académicas , quiero decirles que ha sido con el único propósito de construir un mejor futuro próximo para nosotros.

Con todo mi amor y mi gratitud.

Resumen

En este trabajo de grado se abordó el levantamiento de información, diseño e implementación de redes de Fibra Óptica Hasta el Hogar (en adelante, FTTH), un avance tecnológico prioritario en el sector de las telecomunicaciones por su capacidad para ofrecer conexiones de alta velocidad y confiabilidad. El objetivo principal de este trabajo de grado es implementar una red FTTH mediante un enfoque en ingeniería integral que incluye un estudio previo exhaustivo, el levantamiento de la información, el censo y la infraestructura, el diseño de la red, la selección de equipos y la ejecución de la implementación.

Todo lo anterior para realizar el despliegue de red de FTTH a conjuntos residenciales de la ciudad de Bogotá, ubicados específicamente al sur de la capital. La metodología empleada está basada en el método *Scrumban* que consiste en realizar una lista de tareas para ir escalando el avance en cada área, por ejemplo, en el levantamiento de información para detallar la infraestructura existente, y a partir de esto, abordar los procesos de diseño e implementación. De esta manera, se evalúa las necesidades de los usuarios para determinar el nivel de demanda del sector, e identificar y planificar la topología de la red utilizando tecnología de Red Óptica Pasiva de alta capacidad (*Gigabit Passive Optical Network*, en adelante, GPON).

Esto genera un trabajo pendiente de tareas en cada fase. Durante la implementación, se instalaron cables de fibra óptica, herrajes de retención y suspensión de elementos pasivos, se configuraron dispositivos activos como la OLT, (en adelante [*Optical Line Terminal*]) y se realizaron pruebas para garantizar el funcionamiento óptimo de la red.

Palabras clave: FTTH, Fibra Óptica, GPON, OLT.

Abstract

This thesis addressed the mapping, design and implementation of fiber optic networks to the home (FTTH), a technological advance for priority in the telecommunications sector due to its ability to offer high-speed and reliable connections. The main objective is to implement an FTTH network through a comprehensive engineering approach that included an exhaustive prior study, the collection of census and infrastructure information, network design, equipment selection and implementation execution. All this in order to be able to carry out the deployment of a fiber optic network to residential complexes in the city of Bogotá, specifically in the south of the capital. The methodology used is based on the Scrumban method, which consisted of making a list of tasks to scale the progress in each area, such as mapping to detail the existing infrastructure, then moving on to the design and implementation processes. In this way, the needs of the users are evaluated and the level of demand in the sector can be determined, in order to identify and plan the network topology using high-capacity passive optical network technology (GPON). Thus, generating a backlog of tasks in each phase. During the implementation, fiber optic cables, retention and suspension hardware, passive elements were installed, active devices such as the optical line terminal (OLT) were configured, and tests were performed to ensure optimal network operation.

Keywords: FTTH, Optical Fiber, GPON, OLT.

Tabla de Contenido

Introducción	13
Planteamiento del Problema	15
Justificación	17
Objetivos	19
Objetivo General	19
Objetivos Específicos.....	19
Marco Teórico.....	20
Evolución de las Tecnologías de Telecomunicaciones.....	20
Fundamentos de la Fibra Óptica	20
Arquitecturas de Redes FTTH	21
Tecnología GPON.....	21
Ventajas y Desafíos de las Redes FTTH-GPON	22
Revisión Documental Sobre Tecnologías FTTH-GPON.....	22
Estado del Arte.....	30
Despliegue en Contextos Rurales y Semiurbanos Tropicales.....	30
Viabilidad Técnica y Modelado Físico	30
Análisis Teórico-Práctico Del Presupuesto Óptico.....	30
Impacto Económico y Funciones Clave	31
Despliegue FTTH-GPON en Zonas Tropicales y Clima Cálido	31
Metodología	32
Fase 1. Investigación Documental	32
Fase 2. Diseño de la Solución.....	32

Fase 3. Validación mediante Análisis de Casos.....	33
Enfoque de Investigación.....	33
Herramientas y Técnicas.....	34
Resultados de la Investigación Documental	34
Mejores Prácticas Documentadas	35
Planificación Detallada	35
Uso de Equipos de Alta Calidad	36
Capacitación del Personal Técnico	38
Diseño de una Topología de Red FTTH-GPON Escalable	39
Propuesta de una Topología en Estrella con Divisores Ópticos	40
Aplicación de la Propuesta.....	43
Consideraciones Para Zonas Urbanas	43
Consideraciones Para Zonas Rurales	45
Simulación y Validación.....	46
Adaptación al Territorio Colombiano.....	48
Adaptabilidad a Diferentes Contextos	49
Parámetros de Calidad de la Señal.....	49
Ejemplos de Implementación.....	49
Diseño Aplicado en Colombia.....	50
Evaluación de la Viabilidad Técnica y Económica	51
Análisis Frente al Territorio Colombiano	51
Análisis Técnico.....	54
Comparación de Infraestructuras y Tecnologías Entre Regiones	54

Presupuesto Óptico y Elección de Clase de Óptica (OLT/ONU)	56
Selección de Fibra y Parámetros de Transmisión	56
Ratio de División (Splitter) y Pérdidas por Inserción	56
Pérdidas por Conectores y Empalmes	57
Calidad de Equipos y Garantía de Interoperabilidad	57
Planificación del Despliegue y Reutilización de Infraestructura	58
Evaluación Económica (Relación Técnica → Costos Y Eficiencia)	59
Planificación y Reutilización de Infraestructura	59
Lecciones Aprendidas	67
Subsidios y Alianzas Público-Privadas	67
Uso de Equipos de Alta Calidad.	67
Capacitación del Personal Técnico	67
Planificación Detallada	67
Medidas de Mitigación Técnica	68
Recomendaciones de Política y Gestión	69
Marco Regulatorio en Colombia	69
Aplicación De Modelos Internacionales	69
Casos de Éxito y Aplicabilidad en Colombia	69
Conclusiones	71
Referencias Bibliográficas	73
Apéndices	79

Listas de Tablas

Tabla 1 <i>Comparaciones Típicas entre FBT y PLC</i>	26
Tabla 2 <i>Implementación de FTTH-GPON</i>	52
Tabla 3 <i>Analogía entre Continentes (Síntesis de Tendencias Relevantes para el Proyecto)</i>	54
Tabla 4 <i>Presupuesto Óptico</i>	58
Tabla 5 <i>Estimación de Costos de Implementación, Operación y Mantenimiento</i>	60
Tabla 6 <i>Herramienta de una Cuadrilla del Equipo de Fibra Óptica</i>	61
Tabla 7 <i>Presupuesto de Gastos Asociados a Salidas de Campo del Proyecto FTTH-GPON</i>	62
Tabla 8 <i>Presupuesto de Materiales y Suministros para Despliegue FTTH-GPON</i>	63
Tabla 9 <i>Comparación Internacional de Costos Operativos y Retorno de Inversión en Redes</i> ...	65
Tabla 10 <i>Medidas de Mitigación para Problemas Técnicos en FTTH-GPON</i>	68

Lista de Figuras

Figura 1 <i>Estructura de la Red GPON</i>	23
Figura 2 <i>OLT (Optical Line Terminal)</i>	24
Figura 3 <i>GPON. Técnica de Multiplexación de Datos</i>	24
Figura 4 <i>ONU (Optical Network Terminal/Unit)</i>	25
Figura 5 <i>Dispositivo Divisor Óptico</i>	25
Figura 6 <i>Plano (Red FTTH Segmentación)</i>	36
Figura 7 <i>Equipos Activos el dispositivo OLT y la unidad ONT ONU</i>	37
Figura 8 <i>Equipo Técnico en Capacitación</i>	38
Figura 9 <i>Acceso a Soluciones Ópticas</i>	39
Figura 10 <i>Diseño unifilar de red FTTH-GPON con segmentación y divisores ópticos</i>	40
Figura 11 <i>Segmentación General de Zona</i>	40
Figura 12 <i>Segmentación de Manzanas (Loteo)</i>	41
Figura 13 <i>Diseño Unifilar de Divisores Ópticos Pr</i>	41
Figura 15 <i>Recorrido de Fibra con Sangría en Divisores Ópticos Secundarios (Ss)</i>	42
Figura 16 <i>Recorrido de Implementación de Fibra Óptica</i>	44
Figura 17 <i>Aumento de Red Tipo Estrella o Tipo Árbol</i>	45
Figura 18 <i>Plano Unifilar de la Topología FTTH-GPON Simulada</i>	48
Figura 19 <i>Plano de Red FTTH-GPON Escalable</i>	50

Lista de Apéndices

Apéndice A <i>Glorsario</i>	79
--	----

Introducción

Actualmente, la Ingeniería de Telecomunicaciones desempeña un papel crucial en la sociedad cambiante, incluso en disciplinas como la Medicina, la Educación; y, gracias a la pandemia de Coronavirus (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021) en el año 2020, las telecomunicaciones garantizan una conexión global y una transmisión eficiente cada día más para el manejo de la información en el sector de las industrias, hogares y empresas.

Estas son fundamentales y cruciales para acercar a las personas de todo el mundo en tiempo instantáneo, y así mejorar la comunicación y velocidad de tiempo, de modo sincrónico y asincrónico, para el ocio, para negocios de empresas, para medicina en cirugías en tiempo real; razón por la cual la investigación aplicada es su columna vertebral (International Telecommunication Union, 2021).

La investigación aplicada incorporada al rol de la ingeniería de telecomunicaciones se centra en identificar, diseñar y desarrollar soluciones reales y eficientes para mejorar los problemas específicos de comunicación, con un enfoque especial en las redes FTTH y GPON; este avance tecnológico, según (Kompinyang, 2022), demuestra que estas son esenciales para satisfacer la creciente demanda de comunicación en todo el mundo y así mejorar el ancho de banda y conectividad a los usuarios para que cada día sea más confiable en entornos residenciales y empresariales.

Las telecomunicaciones están inmersas al cambio constante de la investigación para adaptarse a las frecuentes necesidades de la comunidad, de las empresas y de una sociedad. Para lograr dichos avances es necesario la formación constante de profesionales cada día más capacitados, calificados y versátiles, audaces para resolver imprevistos y fomentar la innovación

en este campo específico. De acuerdo con (Abdellaoui , 2021), la formación y/o capacitación constante del talento humano es clave y fundamental para mantener el ritmo de los avances tecnológicos y garantizar la sostenibilidad de las redes de telecomunicaciones.

Adicional a lo anterior, las telecomunicaciones deben estar en un ámbito de dedicación para optimizar y mejorar las redes de comunicación existentes, como las redes FTTH-GPON, asegurándose que su eficiencia y fiabilidad en un entorno tan cambiante sea cada vez más tecnológico y en constante evolución. Es importante destacar que su optimización y mejora no solo perfecciona la calidad del servicio, sino lo óptimo es que reduce costos operativos y facilita la escalabilidad (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021).

También se resalta la gestión del equipo humano, ya que la colaboración entre investigadores, empresas y otras instituciones (International Telecommunication Union, 2021) es esencial para impulsar el progreso en la Ingeniería de Telecomunicaciones, particularmente en el desarrollo y la implementación de tecnologías FTTH GPON. Dicha colaboración facilita no solo el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones, sino también la transferencia de conocimientos y la capacitación de profesionales, específicamente de las redes de fibra óptica.

En última instancia, la investigación aplicada en ingeniería de telecomunicaciones con un enfoque en redes FTTH GPON contribuye significativamente, según (Kompiyang , 2022), al avance de esta disciplina y al bienestar y la calidad de vida de las personas en todo el mundo, al proporcionar conexiones más rápidas, estables y confiables para una comunicación eficaz y una conectividad digital.

Planteamiento del Problema

En la era digital actual, el acceso a internet de alta velocidad es un requisito esencial para el desarrollo económico, social y educativo. No obstante, en Colombia persiste una marcada brecha digital: mientras a nivel nacional el 65,6 % de los hogares cuentan con conexión a internet fijo, en las zonas rurales solo 2 de cada 10 hogares disponen de acceso, y dichas conexiones suelen ofrecer velocidades inferiores a 20 Mbps (MINTIC, 2025). Esta desigualdad limita las oportunidades de educación virtual, teletrabajo, comercio electrónico y telemedicina en comunidades apartadas.

Las tecnologías basadas en cobre, como DSL y cable coaxial, han brindado conectividad durante décadas, pero sus limitaciones en velocidad y capacidad las hacen insuficientes para las demandas actuales. Por ejemplo, el DSL ofrece velocidades promedio de 10–20 Mbps y el coaxial hasta 100 Mbps con riesgo de saturación, cifras muy por debajo de las ofrecidas por FTTH, que puede alcanzar 1 Gbps simétrico con mayor estabilidad y eficiencia energética (International Telecommunication Union, 2021).

Si bien en los principales cascos urbanos de Colombia ya se implementan redes FTTH bajo tecnología GPON, su despliegue en áreas rurales y marginadas enfrenta obstáculos técnicos (geografía accidentada y grandes distancias), económicos (altos costos de inversión frente a baja densidad poblacional) y logísticos (dificultades en transporte e instalación). Aunque el Ministerio TIC ha conectado 134.860 hogares rurales y 19.057 escuelas rurales en los últimos tres años (MINTIC, 2025), aún persisten brechas significativas en cobertura y calidad del servicio.

En este contexto, surge la necesidad de explorar y optimizar los aspectos técnicos, económicos y logísticos que permitan el despliegue de redes FTTH mediante tecnología GPON en zonas rurales, de manera que se garantice su viabilidad y sostenibilidad. Con ello, se busca

contribuir a cerrar la brecha digital y generar inclusión educativa, social y económica en comunidades apartadas.

A partir de lo anterior, se plantea el interrogante:

¿Cómo pueden optimizarse los aspectos técnicos, económicos y logísticos en el despliegue de redes FTTH y tecnología GPON para reducir la brecha digital en regiones rurales y marginadas, garantizando su viabilidad y sostenibilidad?

Justificación

Este proyecto es relevante por su alineación con estándares internacionales esenciales, como la serie ITU-T G.984 (GPON) y la norma ISO/IEC 11801-1:2017, que establecen criterios de calidad, escalabilidad y eficiencia para infraestructuras de redes ópticas. La implementación de redes FTTH-GPON, conforme a estos estándares, mejorará notablemente la calidad del servicio y reducirá los costos operativos para los proveedores, fomentando la equidad en el acceso a internet de alta velocidad (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021)

El respaldo de este proyecto se encuentra en políticas públicas de alto nivel, como el Plan Nacional de Desarrollo 2022-2026: Colombia, Potencia Mundial de la Vida, que subraya la conectividad digital como pilar del desarrollo equitativo (network 360, 2023). Asimismo, es consistente con la Política Nacional para la Transformación Digital e Inteligencia Artificial CONPES 3975 de 2019, que impulsa el uso estratégico de tecnologías digitales para generar valor económico y social (network 360, 2023) y (Mintic.gov, 2019 - 2023).

Desde la perspectiva cuantitativa, en Colombia solo 2 de cada 10 hogares rurales disponen de internet fijo, comparado con un promedio nacional del 65,6 % (Mintic.gov, 2019 - 2023), Las velocidades en áreas rurales suelen estar por debajo de los 20 Mbps, mientras que en zonas urbanas superan los 100 Mbps (elcolombiano, 2023). La extensión de FTTH-GPON podría multiplicar por cinco estas velocidades, habilitando servicios como educación virtual, telemedicina y actividades digitales avanzadas.

El enfoque del proyecto abandera los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS, (United Nations. (2023)., s.f.):

ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura): promueve infraestructuras resilientes y sostenibles.

ODS 4 (Educación de Calidad): facilita el acceso a recursos educativos digitales.

ODS 3 (Salud y Bienestar): habilita la telemedicina en zonas remotas (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021).

En síntesis, el proyecto no solo responde a estándares internacionales y políticas nacionales, sino que ofrece una solución concreta a una problemática cuantificable: cerrar la brecha digital rural en Colombia. Su impacto técnico, económico y social contribuirá a una sociedad más inclusiva y conectada, tal como lo plantea la (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Objetivos

Objetivo General

Formular una solución integral de red FTTH basada en la tecnología GPON que incremente la conectividad en Colombia, priorizando zonas rurales y semiurbanas, mediante la provisión de altas velocidades de transmisión, confiabilidad, escalabilidad y eficiencia energética, en coherencia con los lineamientos nacionales e internacionales de transformación digital.

Objetivos Específicos

Realizar una revisión documental sobre las tecnologías FTTH-GPON, de manera que se identifiquen sus ventajas, desafíos y mejores prácticas.

Diseñar una topología de red FTTH-GPON que sea escalable y adaptable a diferentes contextos geográficos.

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de redes FTTH-GPON mediante el análisis de casos prácticos, incorporando estrategias de mitigación frente a desafíos técnicos como la atenuación y la dispersión de la señal.

Evaluar la viabilidad técnica y económica de la implementación de redes FTTH-GPON mediante el análisis de casos prácticos.

Formular recomendaciones para políticas públicas y alianzas público-privadas que faciliten el despliegue de redes FTTH-GPON en comunidades desatendidas.

Marco Teórico

El marco teórico de este proyecto se fundamenta en los principios y conceptos esenciales de las tecnologías de redes de fibra óptica hasta el hogar (FTTH: Fiber to the Home), con un énfasis particular en la tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network). Se abordan la evolución de las telecomunicaciones, los fundamentos de la fibra óptica, las arquitecturas FTTH, las características de GPON y sus componentes, así como los beneficios y desafíos asociados con su implementación. Además, se incluye una revisión documental que recopila investigaciones previas y estándares internacionales para respaldar la solución propuesta.

Evolución de las Tecnologías de Telecomunicaciones

La evolución de las telecomunicaciones ha estado marcada por la transición de tecnologías analógicas a digitales y del uso de cobre hacia la fibra óptica. Según (Aselcom 2020, 2020), las redes de cobre y DSL, aunque innovadoras en su momento, presentaban limitaciones de capacidad y velocidad debido a la atenuación de la señal y la interferencia electromagnética.

Con la llegada de la fibra óptica, estas limitaciones se superaron, ya que permite velocidades de transmisión significativamente mayores y mayor fiabilidad ((Zapardiel, 2014)). De acuerdo con la Unión Internacional de Telecomunicaciones (Aselcom 2020, 2020), este avance ha sido impulsado por la creciente demanda de ancho de banda, especialmente ante aplicaciones como la transmisión de video en directo, la telemedicina y el teletrabajo.

Fundamentos de la Fibra Óptica

La fibra óptica transmite información mediante pulsos de luz a través de filamentos de vidrio o plástico, basándose en el principio de reflexión interna total (Pérez, 2021). Este medio presenta ventajas frente a los tradicionales, como inmunidad a interferencias electromagnéticas,

mayor capacidad de transmisión y menor degradación de la señal (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021).

No obstante, factores como la dispersión y la atenuación pueden afectar la calidad de la señal, por lo que se recurre a técnicas como amplificadores ópticos y divisores de alta eficiencia (martinez de ceano , 2021). Estas características convierten a la fibra óptica en el pilar de las redes modernas de acceso.

Arquitecturas de Redes FTTH

Las redes FTTH se caracterizan por llevar fibra óptica desde la central del proveedor hasta el usuario final. Existen diferentes arquitecturas, siendo las más comunes las de tipo Punto a Punto (P2P) y las Redes Ópticas Pasivas (PON). En P2P, cada hogar dispone de una fibra dedicada, lo que asegura ancho de banda exclusivo, aunque implica una mayor inversión (Abdellaoui , 2021)

En contraste, las redes PON permiten compartir una sola fibra mediante divisores ópticos, lo que reduce costos de despliegue, aunque con recursos compartidos (López, 2020 - 2025).

Tecnología GPON

Dentro de las arquitecturas PON, la tecnología GPON se ha consolidado como una de las más adoptadas en implementaciones FTTH. GPON utiliza una arquitectura punto a multipunto en la que una única fibra puede atender a múltiples usuarios a través de divisores ópticos, lo que optimiza recursos y reduce costos (Rodríguez, P., 2021). Esta tecnología permite velocidades de hasta 2.5 Gbps en sentido descendente y 1.25 Gbps en sentido ascendente, soportando aplicaciones que demandan gran ancho de banda, como transmisión de video en alta definición, teletrabajo y servicios en la nube (Kompinyang , 2022).

Componentes de una Red GPON

Una red GPON está compuesta principalmente por la Terminal de Línea Óptica (OLT), la Unidad de Red Óptica (ONU/ONT) y los divisores ópticos. La OLT, ubicada en la central del proveedor, gestiona la red y el tráfico de usuarios. La ONU/ONT se instala en los hogares o empresas, actuando como interfaz entre la red óptica y los dispositivos del usuario final (Abdellaoui , 2021). Por su parte, los divisores ópticos distribuyen la señal entre múltiples abonados, contribuyendo a la eficiencia de la red (martinez de ceano , 2021).

Ventajas y Desafíos de las Redes FTTH-GPON

Las redes FTTH-GPON presentan beneficios como gran capacidad de transmisión, escalabilidad, eficiencia energética y menores costos operativos a largo plazo (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021). Asimismo, son consideradas más sostenibles en comparación con las redes de cobre, dado que requieren menos mantenimiento y poseen una mayor vida útil (Aselcom 2020, 2020).

Sin embargo, su despliegue implica desafíos técnicos, como la mitigación de la atenuación y la dispersión; económicos, debido a los altos costos iniciales; y logísticos, relacionados con la gestión de permisos y coordinación con autoridades locales (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021); (López, 2020 - 2025); (Abdellaoui , 2021).

Revisión Documental Sobre Tecnologías FTTH-GPON

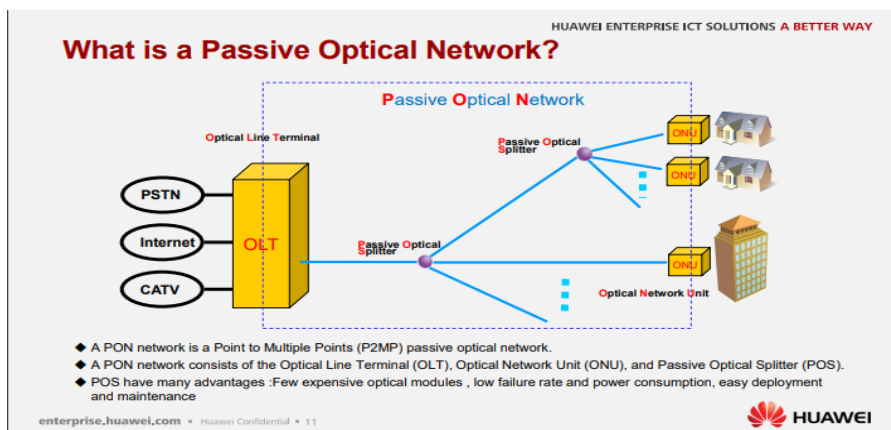
Se realizará una revisión documental exhaustiva sobre las tecnologías FTTH y GPON, de modo que se identifiquen sus ventajas, desafíos y mejores prácticas. Dicha revisión se basa en fuentes académicas, informes técnicos y estándares internacionales para proporcionar una base sólida que sustente el desarrollo del proyecto.

Fundamentos Técnicos de FTTH y GPON

La literatura revisada comprueba que FTTH constituye una de las arquitecturas más robustas para el acceso de banda ancha, y GPON, dentro de sus variantes, representa una solución eficiente para equilibrar desempeño y costos. Diversos estudios, informes técnicos y estándares internacionales confirman que estas tecnologías ofrecen ventajas competitivas frente a alternativas tradicionales y son clave para afrontar los retos de conectividad en el contexto digital actual (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021); así, lo demuestra la Figura 1.

Figura 1

Estructura de la Red GPON



Fuente. (Huawei, 2014). *Nota.* La imagen expone los elementos necesarios para la implementación de una arquitectura GPON, esta última es una red óptica pasiva de punto derivada a múltiples puntos (P2MP). La cual consta de la terminal de línea óptica (OLT) y el divisor Óptico pasivo (POS), este es un módulo óptico poco costoso y de bajo mantenimiento.

OLT. La sigla procede del Inglés *Optical Line Terminal*, conecta líneas troncales de fibra óptica y es el equipo ubicado en la central del proveedor de servicios.

El dispositivo OLT recopila la información que pasa por la red central y se encarga de gestionar la conexión entre la red del proveedor y los usuarios finales, de esta forma convierte las señales eléctricas en ópticas y viceversa, esto se muestra a continuación en la Figura 2.

Figura 2

OLT (Optical Line Terminal)

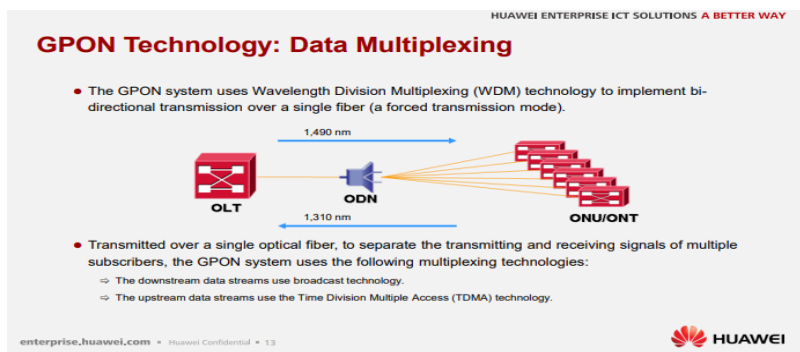


Fuente. (Brian, 2023). *Nota.* El dispositivo OLT es un elemento activo de la red.

La técnica de la multiplexación de datos ofrece: Mayor eficiencia porque facilita el ancho de banda disponible de una manera más eficiente, y es innecesario crear múltiples canales físicos. Reducción de costos, ya que al compartir un único medio de transmisión permite reducir los costos de infraestructura. Mejora la velocidad y confiabilidad, así que logra mayor velocidad de transmisión y comunicación más confiable, porque se optimiza el uso del canal. Flexibilidad y escalabilidad, esto agrega nuevos usuarios o servicios a la red evitando grandes cambios en la infraestructura. Como se muestra en la Figura 3.

Figura 3

GPON. Técnica de Multiplexación de Datos



Fuente. (Huawei, 2014) *Nota. Huawei GPON Access Network Product Pre-sales Specialist Training* [PPT].

ONT/ONU. También llamado en Inglés *Optical Network Terminal/Unit*, es el dispositivo ubicado en el hogar o edificio del usuario final. Dicho conector convierte las señales ópticas en eléctricas para que puedan ser utilizadas por los dispositivos del usuario, como enrutadores, teléfonos o televisores, dicha unidad se representa en la Figura 4.

Figura 4

ONU (Optical Network Terminal/Unit)

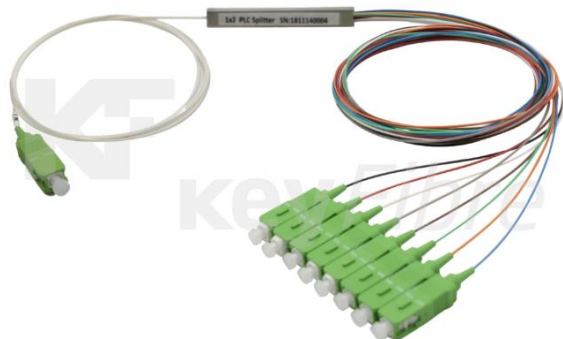


Fuente. (V-SOL, 2025).

Divisores Ópticos. Los divisores ópticos (en Inglés *splitters*) son dispositivos pasivos fundamentales en el diseño de redes FTTH-GPON, pues permiten que una sola fibra óptica proveniente de la OLT se divida en múltiples señales para atender a varios abonados simultáneamente (keyfibre, 2025). De acuerdo con lo anterior, se puede observar en la Figura 5:

Figura 5

Dispositivo Divisor Óptico



Fuente. (keyfibre, 2025)

Tipos de Divisores Ópticos. Existen principalmente dos tecnologías de divisores ópticos, las cuales corresponden a FBT y PLC, y se explican a continuación:

FBT (Fused Biconical Taper). Esta tecnología está fabricada mediante el estiramiento y fusión de fibras ópticas. Este tipo de divisores ópticos es más económico y se recomiendan para divisiones bajas (1:2, 1:4, 1:8). Presenta pérdidas mayores, baja uniformidad y sensibilidad a cambios de temperatura y longitud de onda (CELINK, 2025).

PLC (Planar Lightwave Circuit). Dicha tecnología utiliza un circuito óptico en un sustrato de sílice, que otorga uniformidad, estabilidad térmica y cobertura en un rango amplio de longitudes de onda (1260–1650 nm). Estos divisores ópticos son la opción más utilizada en redes GPON de gran escala; (CELINK, 2025).

Pérdidas por Inserción y Ratios de División. Cada división introduce pérdidas en la señal. Por ejemplo, un divisor 1:32 genera entre 17 y 18 dB de pérdida (APnic, 2024-2025).

La Tabla 1 muestra comparaciones típicas entre FBT y PLC.

Tabla 1

Comparaciones Típicas entre FBT y PLC

Ratio división	FBT (dB)	PLC (dB)
1:2	3.6	3.8
1:4	7.2	7.3
1:8	10.7	10.75
1:32	17.3	17.33

Nota. Una aproximación matemática para estimar la pérdida de inserción es: Pérdida (dB)= $0.8+3.4\times\log_2N$, donde N es el número de divisiones. *Fuente.* (box, 2025).

Ubicación y consideraciones ambientales

Centralizado. Todos los divisores ópticos en un único punto de distribución; fácil de mantener, pero menos flexible.

Distribuido. Instalados en diferentes niveles de la red, con mayor flexibilidad y escalabilidad (FOA, 2024).

En cuanto a condiciones ambientales, los FBT soportan entre $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$, mientras que los PLC resisten de $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $+85\text{ }^{\circ}\text{C}$, lo que los hace más adecuados en exteriores (FiberCheap, 2025).

Relevancia en FTTH-GPON

El tipo de divisor, su relación de división y ubicación impactan directamente en la capacidad de la red y en el cumplimiento del presupuesto óptico, que en GPON suele ser de hasta 28 dB incluyendo divisores ópticos, fibra y conectores (APnic, 2024-2025).

Relevancia del Estándar GPON en FTTH

El estándar ITU-T G.984 define la arquitectura y las especificaciones fundamentales para el despliegue de redes GPON, asegurando interoperabilidad, calidad y escalabilidad en implementaciones FTTH-GPON.

Este estándar se compone de varias partes:

Características Generales (G.984.1). Establece parámetros como alcance máximo de 20 km (con una diferencia lógica de hasta 60 km entre ONU, múltiples velocidades de transmisión y funciones de administración y mantenimiento (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Capa Física (G.984.2). Regula tasas nominales como 2488.32 Mb/s en descarga y 1244.16 Mb/s en carga, además de definir los presupuestos ópticos B+, C+ y D, que determinan los márgenes de atenuación admisibles en la red (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Capa de Convergencia de Transmisión (G.984.3). Especifica formatos de trama, asignación dinámica de ancho de banda y acceso múltiple por división de tiempo, esenciales para optimizar el uso de la fibra (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

La correcta selección del divisor óptico, su relación de división y ubicación impactan directamente en la capacidad de la red y en el cumplimiento del presupuesto óptico, que en GPON puede alcanzar hasta 32 dB incluyendo divisores ópticos, fibra y conectores (APnic, 2024-2025).

Ventajas de FTTH-GPON

A continuación, se mencionan los beneficios de las redes FTTH-GPON.

Mayor Ancho de Banda y Velocidad. Según la recomendación ITU-T G.984.2, GPON soporta velocidades de hasta 2.488 Gb/s en sentido descendente y 1.244 Gb/s en sentido ascendente, lo cual permite aplicaciones como transmisión de video en 4K, telemedicina o

teletrabajo (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Escalabilidad. Gracias a su diseño, la red puede adaptarse a mayores demandas de conectividad sin cambios drásticos en infraestructura, lo que la hace idónea en un contexto de consumo creciente de datos (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Menor Atenuación de la Señal. La fibra óptica utilizada presenta pérdidas significativamente menores en comparación con el cobre, permitiendo coberturas más amplias sin necesidad de repetidores, lo que reduce costos y mejora la calidad del servicio.

Desafíos en la Implementación

Algunos de los desafíos percibidos de las redes FTTH-GPON son:

Altos Costos Iniciales. La infraestructura de fibra implica gastos elevados en tendido, obras civiles y adquisición de equipos (APnic, 2024-2025).

Complejidad Técnica. Se requiere personal altamente capacitado para instalación y mantenimiento, dada la especificidad de los equipos y configuraciones (Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable, 2019-2021).

Limitaciones Geográficas. En zonas rurales o de difícil acceso, el despliegue puede complicarse por falta de infraestructura y condiciones del terreno, generando sobrecostos y tiempos de implementación más largos.

Estado del Arte

Diversas investigaciones recientes avalan la viabilidad técnica, el impacto social y la sostenibilidad de las redes FTTH-GPON, particularmente en entornos diversos, incluyendo contextos tropicales y rurales. Según estos ambientes, sobresalen diferentes características que se destacan a continuación.

Despliegue en Contextos Rurales y Semiurbanos Tropicales

El estudio de (Valentino R, 2024) implementa redes FTTH-GPON en el distrito de *South Solok* (Indonesia), las cuales están diseñadas para la infraestructura destinada a comunidades montañosas, estas sobresalen por su efectividad técnica comprobada.

Un proyecto similar en el área de Sukoharjo (Muhammad Alfarezi, 2025), también en Indonesia, validó la viabilidad mediante trabajos de campo, confirmando que los diagramas de red, presupuestos de potencia y distribución de divisores ópticos operan dentro de rangos aceptables incluso en entornos semiurbanos en zonas cálidas.

Viabilidad Técnica y Modelado Físico

En un artículo empírico, se diseñó e implementó una red GPON en una pequeña ciudad, con un enfoque modular y componentes estandarizados. El sistema demostró alta confiabilidad para futuros aumentos de capacidad, tanto en instalaciones subterráneas como aéreas (mdpi, 2025).

Análisis Teórico-Práctico Del Presupuesto Óptico

(Rahman, 2022) elaboran un diseño GPON FTTH en zonas rurales dentro del estándar (International Telecommunication Union, 2021)-T G.984.1, con un presupuesto de enlace que mantiene márgenes adecuados de 2.5 a 2.8 dB, y validando su desempeño técnico.

Impacto Económico y Funciones Clave

(Abdellaoui , 2021) encuentran que el alto costo inicial de despliegue en países en desarrollo se compensa con beneficios económicos sostenibles, como menores costos operativos y un aumento en productividad. Por su parte, (martinez de ceano , 2021) aportó soluciones técnicas para mitigar pérdidas en redes de fibra óptica, fortaleciendo la resiliencia de GPON.

Despliegue FTTH-GPON en Zonas Tropicales y Clima Cálido

En África, América Latina y Medio Oriente hay expansiones significativas de FTTH hacia zonas rurales y de clima tropical. Por ejemplo, se lanzó FTTH en Camerún (Maroua) con apoyo bancario internacional (Exim Bank), y en Brasil, tal supera los 22 millones de hogares pasados en redes FTTH (LinkedIn, 2025).

En Medio Oriente - Norte de África (MENA), países como Emiratos Árabes Unidos y Arabia Saudita registran una penetración masiva de FTTH, impulsada por políticas de infraestructura y cooperación público-privada Hosecom. (2023).

A partir de lo expuesto anteriormente, el estado del arte del presente trabajo resalta que las redes FTTH-GPON funcionan de manera efectiva en entornos tropicales y rurales cuando se realiza un diseño adaptado al contexto y se siguen los estándares técnicos.

Existe una fuerte base empírica que respalda tanto los aspectos técnicos como económicos del despliegue masivo de GPON. Las implementaciones globales muestran que FTTH-GPON es una solución sostenible y escalable para reducir la brecha digital, especialmente en zonas desfavorecidas o de difícil acceso.

Estas evidencias respaldan y fortalecen la propuesta del proyecto, resaltando su pertinencia técnica, social y ambiental.

Metodología

Este proyecto se desarrolla gracias a un enfoque metodológico *scrumban* y mixto, que combina la investigación documental y el análisis de casos prácticos. Con el objetivo de validar la implementación de redes FTTH-GPON como solución a los problemas de conectividad identificados asignando tareas en los diferentes aspectos de la implantación.

Dicha metodología se estructura en tres fases principales: recopilación y análisis de información (*mapping*), diseño de la solución, y finalmente, validación mediante casos de estudio en su implementación.

Fase 1. Investigación Documental

La primera fase consiste en una investigación documental exhaustiva, que incluye la revisión de literatura científica, informes técnicos y estándares internacionales relacionados con las redes FTTHGPON. Según (Zapardiel, 2014), este enfoque permite recopilar información confiable y actualizada sobre las tecnologías de fibra óptica, sus componentes, ventajas y desafíos. Se consultaron bases de datos especializadas, como IEEE *Xplore*, *ScienceDirect* y *Scopus*, para identificar estudios recientes que respaldan la viabilidad técnica y económica de las redes GPON (Abdellaoui , 2021)

Adicional a esto, se analizaron documentos de organismos internacionales, como la Unión Internacional de Telecomunicaciones ((International Telecommunication Union, 2021), 2021), para comprender los estándares y mejores prácticas en el despliegue de redes FTTH.

Fase 2. Diseño de la Solución

En la segunda fase, se utiliza la información recopilada para diseñar una solución basada en redes FTTH-GPON. Este proceso incluye la planificación de la topología de la red, la selección de equipos y la estimación de recursos necesarios. Según (López, 2020 - 2025), el

diseño de redes FTTH requiere un enfoque sistemático que considere factores como la densidad de población, la infraestructura existente y las necesidades de los usuarios. Para ello, se emplean herramientas de simulación y modelado, como *OptiSystem*, AutoCAD Gis, *Small World*, *Google Earth* y MATLAB, que permiten evaluar el rendimiento de la red bajo diferentes escenarios (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021).

La fase mencionada también incluye (martinez de ceano , 2021) la identificación de medidas de mitigación para los desafíos técnicos, como la atenuación y la dispersión de la señal.

Fase 3. Validación mediante Análisis de Casos

La tercera fase consiste en la validación de la solución propuesta mediante el análisis de casos prácticos. Se seleccionaron casos de estudio en diferentes contextos geográficos (urbano, rural y semiurbano) para evaluar la eficacia de las redes FTTH-GPON en condiciones reales.

Según (Shabaneh, A., & Melhem, M. L., 2022), este enfoque permite identificar las mejores prácticas y lecciones aprendidas en la implementación de redes de fibra óptica. Los datos recopilados incluyen métricas de rendimiento, como velocidad de transmisión, latencia y tasa de error, así como indicadores económicos, según (Rodríguez, P., 2021) costos de despliegue y retorno de la inversión.

Además, se realizaron entrevistas con expertos en telecomunicaciones y proveedores de servicios para obtener perspectivas cualitativas sobre los desafíos y oportunidades asociados con las redes FTTH-GPON (Abdellaoui , 2021)

Enfoque de Investigación

Este proyecto adopta un enfoque de investigación aplicada, que busca resolver problemas concretos mediante la implementación de soluciones tecnológicas.

Según (Pérez, 2021), este es ideal para proyectos de ingeniería, ya que combina el rigor científico con la practicidad de las soluciones propuestas. Así mismo, se utiliza un enfoque descriptivo-analítico (International Telecommunication Union, 2021) para interpretar los resultados obtenidos y generar recomendaciones basadas en evidencia.

Herramientas y Técnicas

Para el análisis de datos, se emplearon técnicas cuantitativas y cualitativas. Las técnicas cuantitativas incluyen el análisis estadístico de métricas de rendimiento, mientras que las cualitativas se centran en la interpretación de entrevistas y estudios de caso. Según (martinez de ceano , 2021) esta combinación de métodos permite obtener una visión integral del problema y su solución.

En resumen, la metodología utilizada en este proyecto integra investigación documental, diseño técnico y análisis de casos prácticos, proporcionando una base sólida para la implementación exitosa de redes FTTH-GPON.

Resultados de la Investigación Documental

La revisión documental permitió identificar los fundamentos técnicos, ventajas, desafíos y mejores prácticas asociadas con las tecnologías FTTH-GPON. Esta información constituye una base sólida para el desarrollo del proyecto, porque facilita una implementación más eficiente en el contexto específico y ayuda a mitigar riesgos durante el despliegue.

Según la Recomendación (International Telecommunication Union, 2021)-T G.984, las redes GPON ofrecen velocidades de transmisión de 2.5 Gbps en sentido descendente y 1.25 Gbps en sentido ascendente, lo que las hace idóneas para aplicaciones de alto consumo de ancho de banda, como la transmisión en directo en 4K, las videoconferencias y los videojuegos en línea ((International Telecommunication Union, 2021)).

Estos datos se corroboran en implementaciones comerciales en España y Colombia, donde operadores como Movistar y Claro reportan que dichas capacidades soportan el incremento sostenido de la demanda residencial (Rodríguez, P., 2021).

En cuanto a la eficiencia energética, la Asociación de Banda Ancha de Fibra (Jedruch, 2025) reporta que las redes de fibra óptica consumen entre 40 % y 60 % menos energía que las redes de cobre tradicionales, reduciendo así costos operativos y emisiones de carbono. Esto las convierte en una opción más sostenible y alineada con las metas de descarbonización del sector de telecomunicaciones. No obstante, también se identificaron desafíos relevantes, principalmente los altos costos de despliegue. Según la Comisión de Regulación de Comunicaciones de Colombia (García Zaballos, 2023), la instalación de un hogar con FTTH puede oscilar entre USD 250 y 350, dependiendo de la densidad poblacional y del aprovechamiento de infraestructura existente.

De igual forma, se destaca la necesidad de una planificación precisa para reducir riesgos asociados a la atenuación y dispersión de la señal, lo cual ha sido señalado en estudios técnicos (Zhang, L., Wang, H., & Chen, 2021).

Mejores Prácticas Documentadas

Hay que tener en cuenta que ciertas prácticas benefician a los proyectos en costo/beneficio, en seguida se promueven algunas de ellas:

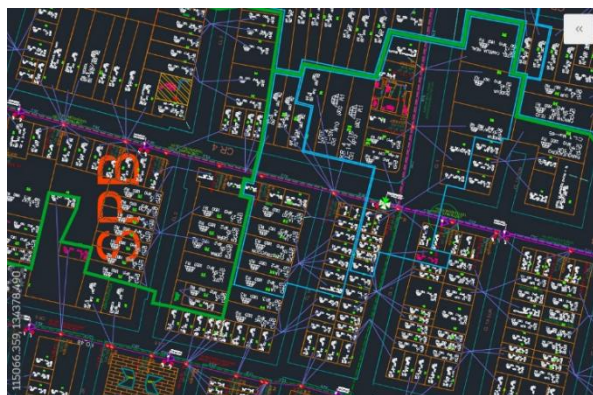
Planificación Detallada

Una planificación detallada es esencial para el éxito de un proyecto FTTH-GPON. La literatura revisada evidencia que la realización de estudios de viabilidad previos puede reducir hasta en 30% los costos de despliegue, al optimizar el uso de ductos y postes existentes (Anton Lysenko, 2025). Asimismo, el mapeo de infraestructura y la identificación de zonas de mayor

demanda permiten maximizar la inversión. La *Fiber Broadband Association* (2021) señala que este enfoque incrementa en un 25 % la tasa de adopción de usuarios en los primeros 12 meses, lo que mejora la relación costo-beneficio del proyecto. Lo anterior se ejemplifica en la Figura 6, la cual presenta la segmentación de la red propuesta.

Figura 6

Plano (Red FTTH Segmentación)



Fuente. Elaboración propia.

Uso de Equipos de Alta Calidad

El uso de equipos de alta calidad que cumplan con estándares internacionales resulta fundamental para garantizar la fiabilidad y el rendimiento de las redes FTTH-GPON. Dichos estándares, como la serie de recomendaciones (International Telecommunication Union, 2021)-T G.984, definen las características generales, los parámetros de desempeño y los requisitos de interoperabilidad de las redes GPON ((International Telecommunication Union, 2021)).

En este sentido, tanto los equipos activos, como el OLT y la ONT/ONU, como los equipos pasivos (divisores ópticos y cables de fibra) deben seleccionarse de acuerdo con estas normas. Esto asegura la correcta interacción entre dispositivos de diferentes fabricantes, lo cual incrementa la competitividad y reduce los costos de despliegue.

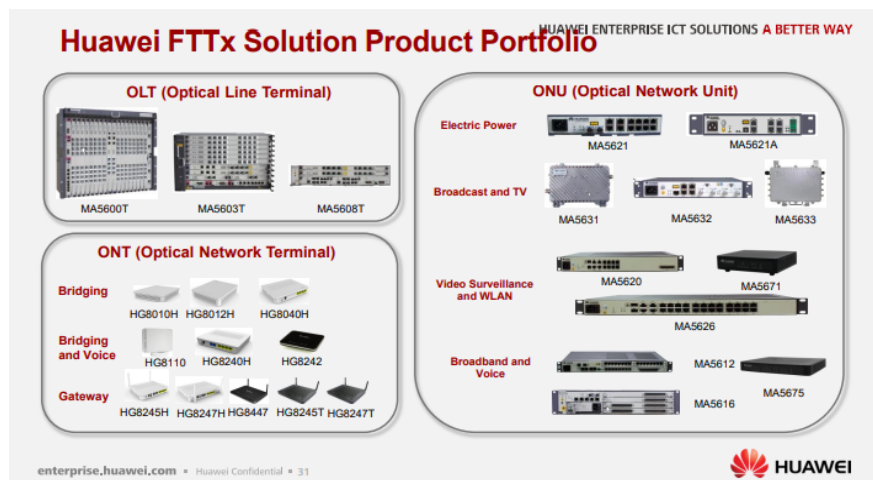
Adicionalmente, el cumplimiento del estándar permite garantizar aspectos críticos como calidad de servicio (QoS), seguridad en la transmisión y capacidad de escalabilidad. Este último punto es esencial, ya que posibilita implementar futuras actualizaciones tecnológicas, por ejemplo: la transición a XG-PON o NG-PON2, sin necesidad de reemplazar la infraestructura base, sino únicamente actualizando componentes específicos (García & (martinez de ceano , 2021).

En conclusión, el soporte en estándares internacionales no solo fortalece la confiabilidad del proyecto, sino que constituye la base técnica que asegura su sostenibilidad en el tiempo, en línea con las mejores prácticas globales en el despliegue de fibra óptica.

La figura 7 presenta los equipos activos esenciales en una red FTTH-GPON, específicamente la OLT, la ONU y la Terminal ONT. Estos dispositivos constituyen el núcleo funcional del sistema, ya que son los encargados de la transmisión, la recepción y la gestión bidireccional de la señal óptica entre el proveedor de servicios y los usuarios finales. La correcta selección, configuración y sincronización de estos equipos son determinantes para garantizar la eficiencia, estabilidad y calidad del servicio, parámetros fundamentales en el desempeño de una red de fibra óptica hasta el hogar Figura 7.

Figura 7

Equipos Activos el dispositivo OLT y la unidad ONT ONU



Fuente. (Huawei, 2014).

Capacitación del Personal Técnico

La capacitación del personal técnico es fundamental para garantizar una implementación y mantenimiento eficientes de la red. Esto incluye la formación en la instalación de equipos, la resolución de problemas y la gestión de la red.

De manera que un personal bien capacitado puede reducir los tiempos de implementación y mejorar la calidad del servicio, así como lo demuestra la Figura 8.

Figura 8

Equipo Técnico en Capacitación



Fuente. Fotografías de archivo personal.

Diseño de una Topología de Red FTTH-GPON Escalable

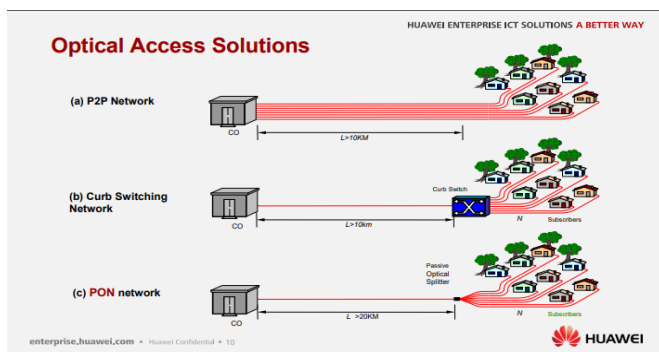
Este apartado presenta el diseño de una topología de red FTTH-GPON que resulta escalable y adaptable a diferentes contextos geográficos del territorio colombiano. El país se caracteriza por una topografía compleja, con cordilleras, selvas, llanuras y zonas rurales de difícil acceso, lo que plantea retos significativos para la conectividad (MINTIC, 2025). En este sentido, el diseño propuesto considera dichas particularidades, de modo que pueda implementarse tanto en zonas urbanas densamente pobladas, como en áreas rurales y apartadas, garantizando flexibilidad y optimización de recursos.

El diseño se fundamenta en los principios técnicos revisados en el marco teórico y contempla aspectos como la selección de equipos, la planificación de la infraestructura y la validación teórica del modelo. El objetivo es proponer una solución que maximice la eficiencia, minimice los costos y permita una implementación flexible en diversos entornos.

En la Figura 9 se presenta un modelo de referencia, el cual expone un esquema de acceso a soluciones ópticas bajo GPON, este sirve como base conceptual para el diseño adaptado en este proyecto.

Figura 9

Acceso a Soluciones Ópticas



Fuente. (Huawei, 2014).

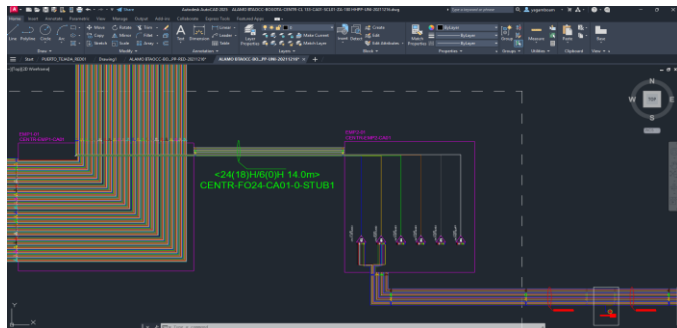
Propuesta de una Topología en Estrella con Divisores Ópticos

La topología propuesta corresponde a una estructura en estrella, donde el OLT se conecta a múltiples unidades ONT/ONU mediante divisores ópticos. Este diseño resulta especialmente eficiente porque permite que una sola fibra óptica atienda a múltiples usuarios, reduciendo los costos de infraestructura y simplificando la gestión de la red (International Telecommunication Union, 2021).

Las siguientes imágenes (Figuras de la 10 a 15) muestran el esquema general de segmentación en una zona abierta, representando la manera en que la fibra óptica puede distribuirse de forma óptima en áreas residenciales. Esta propuesta se ilustra a través de planos unifilares elaborados en AutoCAD, que permiten visualizar las diferentes etapas de segmentación:

Figura 10

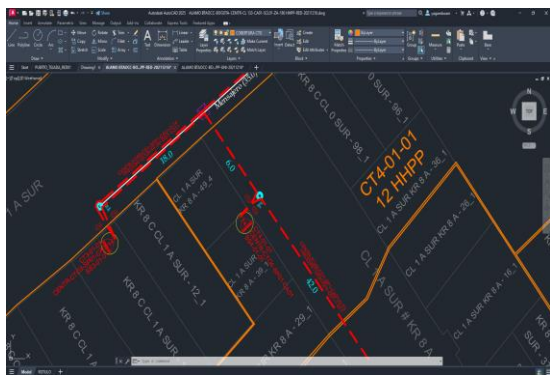
Diseño unifilar de red FTTH-GPON con segmentación y divisores ópticos



Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Plano unifilar (Autocad, DWG). Visualización general

Figura 11

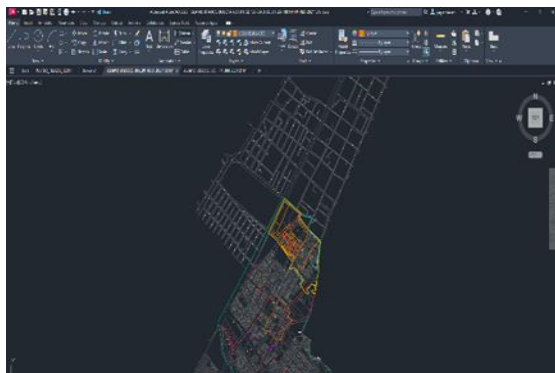
Segmentación General de Zona



Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Plano unifilar (Autocad, DWG). Visualización general con respectiva segmentación.

Figura 12

Segmentación de Manzanas (Loteo)

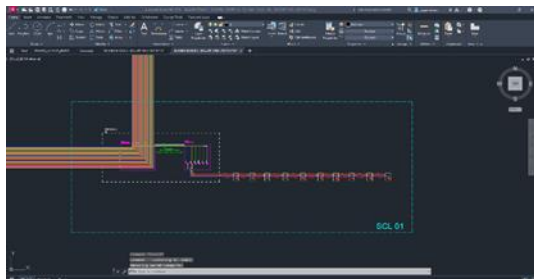


Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Visualización general de segmentación del loteo.

Plano unifilar (Autocad, DWG).

Figura 13

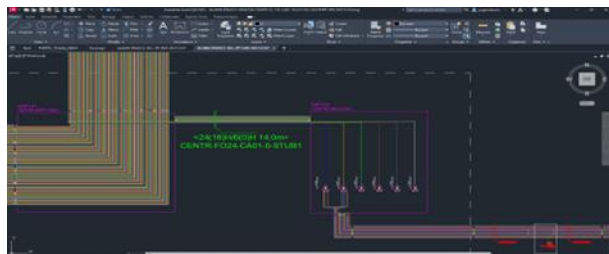
Diseño Unifilar de Divisores Ópticos Primarios (Sp)



Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Visualización de conectividad de divisores ópticos primarios.

Figura 14

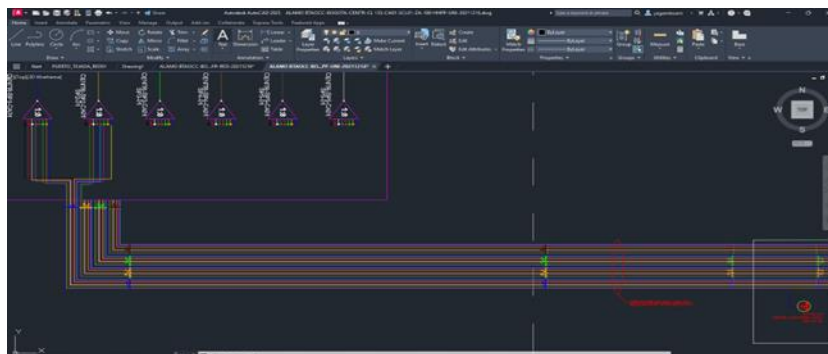
Detalle de Conectividad de Divisores Ópticos Primarios



Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Visualización de conectividad de divisores ópticos primarios.

Figura 14

Recorrido de Fibra con Sangría en Divisores Ópticos Secundarios (Ss)



Fuente. Elaboración propia. *Nota.* Recorrido de fibra óptica en sangría optimizando el uso de la capacidad de la fibra y reduciendo costos de despliegue.

Aplicación de la Propuesta

Este diseño se implementó en el proyecto aplicado, lo cual demostró su viabilidad técnica en el contexto definido. Al mismo tiempo, se plantea como un modelo de referencia para futuros despliegues FTTH-GPON en Colombia, en especial en zonas urbanas en expansión y municipios intermedios, donde existe una creciente demanda de conectividad, pero persisten limitaciones en la cobertura de última milla (Abdellaoui , 2021) y (Rodríguez, P., 2021)La experiencia obtenida en esta ejecución permite validar la propuesta como una guía técnica inicial, adaptable a proyectos de implementación en otros territorios con características similares.

Consideraciones para Zonas Urbanas

En entornos urbanos con alta densidad de usuarios, la planificación de la red FTTH-GPON debe considerar el uso de divisores ópticos con relaciones de división elevadas (por ej., 1:64), ya que estos dispositivos permiten que una sola fibra sirva a múltiples abonados. Sin embargo, esta mayor capacidad de ramificación implica un incremento en la pérdida óptica, por lo que resulta esencial garantizar que el presupuesto óptico de la red se mantenga dentro de los márgenes establecidos por el estándar (International Telecommunication Union, 2021) G.984, que admite hasta 28 dB de atenuación en un enlace GPON (International Telecommunication Union, 2021).

En el contexto urbano, la corta distancia entre el OLT y los usuarios finales facilita cumplir con dichos márgenes, minimizando la atenuación y asegurando velocidades de transmisión acordes a los requerimientos actuales de servicios como video en alta definición, teletrabajo y aplicaciones de baja latencia (Huawei, 2014).

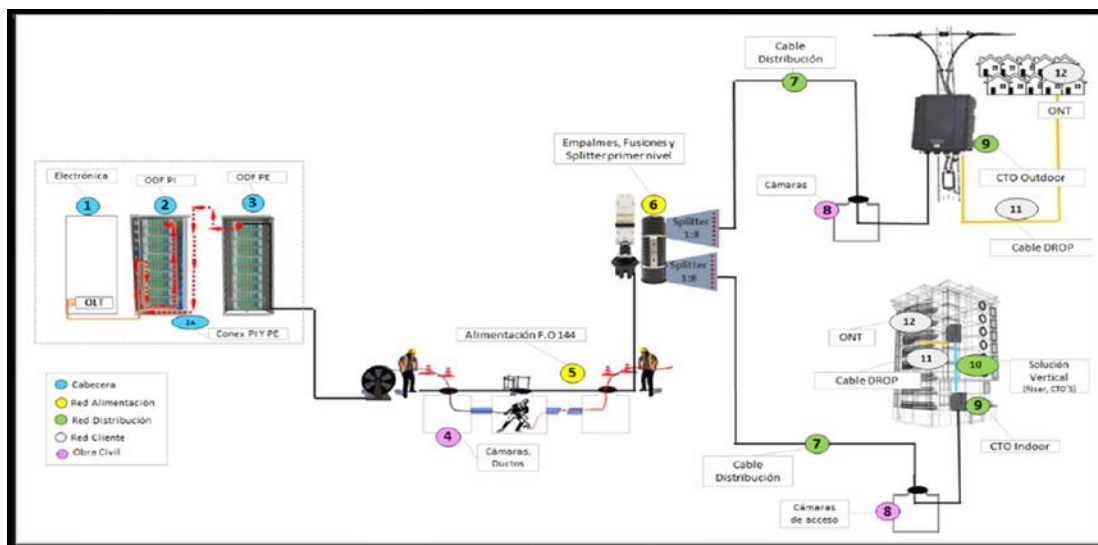
A continuación, la figura 11 expone el recorrido completo de implementación de la red de fibra óptica FTTH-GPON, desde el nodo de cabecera hasta el usuario final. En el siguiente

esquema, se representan los principales componentes activos y pasivos del sistema, incluyendo la OLT, los paneles de distribución óptica (ODF), los empalmes y divisores ópticos, las cajas terminales ópticas (CTO) y las ONT en los hogares o edificaciones.

Además, la Figura 156 muestra la interconexión entre la red de alimentación, distribución y cliente, detallando las rutas de cableado, cámaras de acceso, obras civiles y soluciones verticales y horizontales empleados. Este recorrido refleja el flujo de la señal óptica desde el punto de transmisión hasta el punto de terminación del servicio, de modo que se evidencia el proceso real ejecutado en el proyecto aplicado y su correspondencia con los estándares (International Telecommunication Union, 2021)G.984 para redes GPON

Figura 15

Recorrido de Implementación de Fibra Óptica



Fuente. Adaptado y complementado de (Huawei, 2014). FTTH Implementation Guide Version V2.0 (20140227) [PDF]. *Nota.* La imagen demuestra el punto de origen y el final de fibra óptica (UK), vinculando la conectividad con sus elementos activos y pasivos.

Consideraciones para Zonas Rurales

En zonas rurales, donde las distancias entre el OLT y los usuarios pueden superar los 20 a 40 km, y la densidad poblacional es menor, resulta conveniente utilizar divisores ópticos con relaciones de división más bajas (por ejemplo, 1:16 o 1:32). Esto reduce la atenuación total del enlace y permite mantener el presupuesto óptico dentro de los parámetros recomendados por el estándar (International Telecommunication Union, 2021) G.984, que admite hasta 28 dB de pérdida en GPON (International Telecommunication Union, 2021)

En casos donde las distancias superan el rango recomendado, se pueden implementar amplificadores ópticos (EDFA) o regeneradores en puntos estratégicos de la red para garantizar la calidad de la señal.

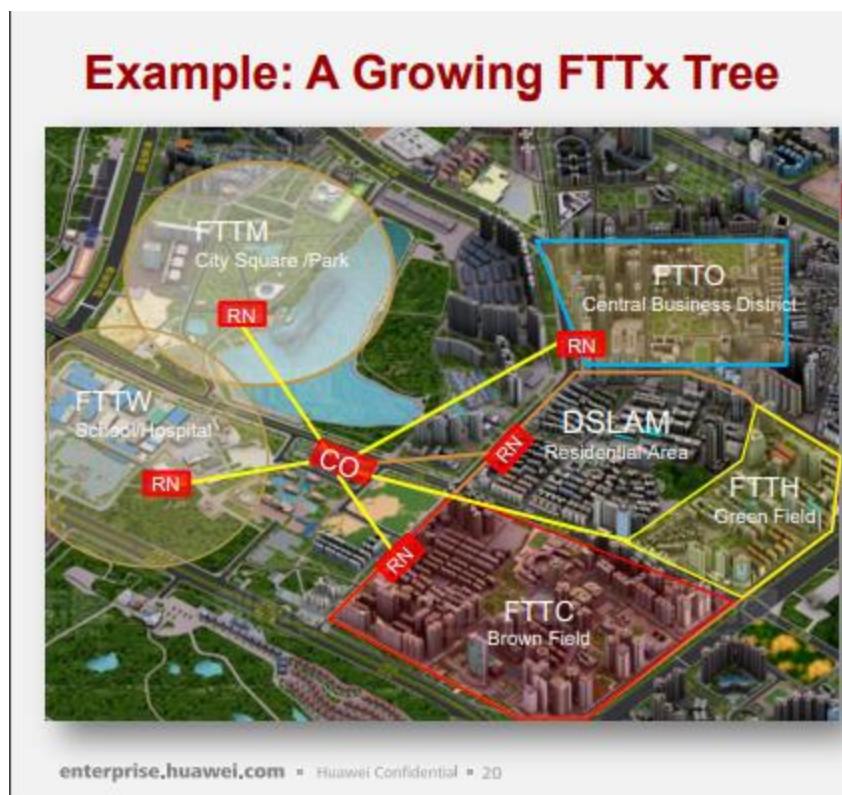
Aunque en áreas rurales también se utilizan tecnologías alternativas como radioenlaces inalámbricos, microondas o satélite, estas presentan limitaciones de capacidad, estabilidad y escalabilidad frente a la fibra óptica (Javier, 2022). En este sentido, la fibra óptica sigue siendo la mejor opción a largo plazo, ya que asegura altas velocidades, baja latencia y la posibilidad de soportar futuros incrementos en la demanda de ancho de banda.

En el proyecto aplicado, esta recomendación se materializa en el diseño de troncales de fibra con divisores ópticos de menor relación, optimizando la cobertura en municipios intermedios y zonas rurales aledañas.

La Figura 167 expone el nivel de escalabilidad contemplando su segmentación y nivel de penetración de la zona.

Figura 16

Aumento de Red Tipo Estrella o Tipo Árbol



Fuente. (Huawei, 2014)GPON.

Simulación y Validación

La simulación constituye un proceso clave para la detección de riesgos potenciales de conectividad, pérdidas de potencia y limitaciones en la escalabilidad de la red. Con el fin de validar el diseño propuesto, se emplearon herramientas de *software* como *OptiSystem 17.0*, *AutoCAD GIS* y *Google Earth Pro*, que permitieron modelar la red FTTH-GPON en un escenario urbano y uno rural del territorio colombiano.

Resultados de la Simulación

Atenuación. En el escenario urbano (con divisores 1:64 y distancias promedio de 5 km), la pérdida total medida fue de 23,5 dB, lo cual se mantiene dentro del rango permitido por la recomendación (International Telecommunication Union, 2021) G.984 (28 dB). En el escenario

rural (con divisores 1:16 y tramos de hasta 32 km), la atenuación alcanzó 26,7 dB, requiriendo el uso de amplificadores ópticos (EDFA) en puntos intermedios.

Dispersión. Se comprobó que no afecta significativamente en distancias menores a 40 km, pero su efecto acumulado podría ser crítico en enlaces superiores, lo que obliga a planear refuerzos de señal en troncales extensas.

Capacidad de Transmisión. En ambos escenarios, la red soportó velocidades de hasta 2,5 Gbps de bajada y 1,25 Gbps de subida por puerto OLT, garantizando estabilidad para aplicaciones residenciales y empresariales (Huawei, 2014).

Los resultados confirman que la propuesta es técnicamente viable. Sin embargo, se observa que la eficiencia energética y la estabilidad de la señal pueden optimizarse mediante la selección de componentes pasivos de menor pérdida, especialmente en tramos rurales extensos donde la atenuación supera los 25 dB.

La sostenibilidad económica depende de la densidad poblacional: en áreas urbanas, el modelo presenta una rápida recuperación de inversión, mientras que en zonas rurales se requiere apoyo institucional y esquemas de cofinanciación pública.

El mantenimiento preventivo y la capacitación del personal técnico son factores críticos para conservar la calidad de la red y reducir interrupciones operativas.

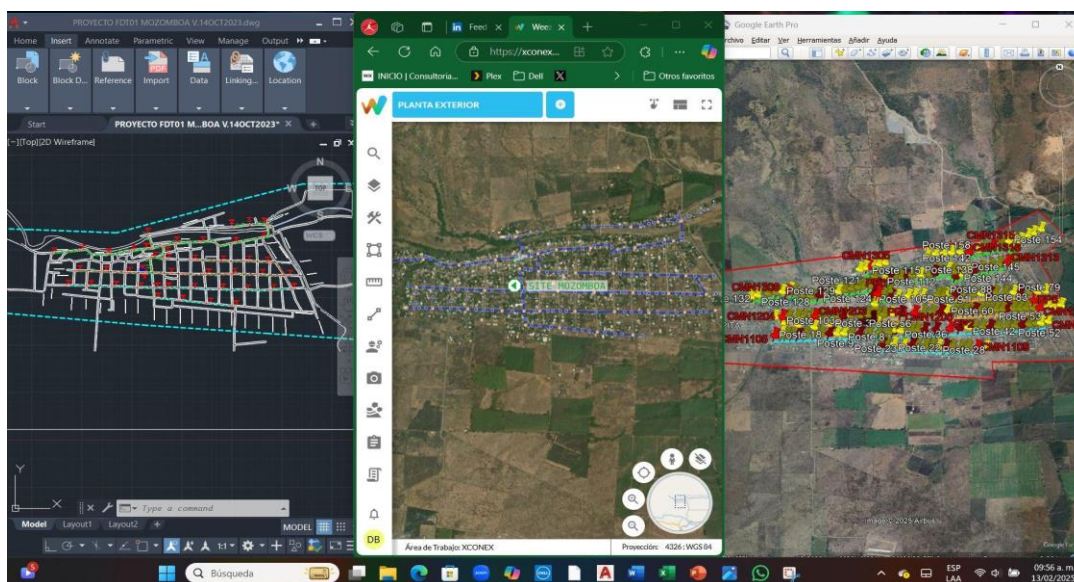
La escalabilidad de la red se ve condicionada por la disponibilidad de infraestructura civil y la topografía del terreno, lo cual demanda estudios de campo detallados antes del despliegue masivo.

La integración de amplificadores ópticos y divisores de bajo nivel de pérdida representa una oportunidad para extender la cobertura a municipios intermedios, mejorando la conectividad nacional.

En conjunto, estos hallazgos sugieren que la implementación del modelo FTTH-GPON no solo es factible, sino también replicable a mayor escala dentro del territorio colombiano, siempre que se adopten estrategias de mantenimiento, planificación territorial y cooperación público-privada. La Figura 178 expone lo anterior:

Figura 17

Plano Unifilar de la Topología FTTH-GPON Simulada



Fuente. Elaboración propia en AutoCAD (DWG). *Nota.* Representación de la conectividad desde la OLT, pasando por los divisores, hasta los usuarios finales en un municipio intermedio de Colombia.

Adaptación al Territorio Colombiano

Este ejercicio integra referentes internacionales (España, Brasil y Japón) como base comparativa, pero se ajusta al contexto local colombiano. Por ejemplo:

España ha demostrado que FTTH es rentable en ciudades densas al implementar divisores 1:64 (García Zaballos, 2023).

Brasil ha priorizado municipios intermedios con divisores 1:32 y troncales de hasta 30 km (Telecomunicações, 2019).

Japón muestra la escalabilidad futura al migrar hacia XGS-PON sin reemplazar la infraestructura base (International Telecommunication Union, 2021).

El análisis aplicado en Colombia confirma que el modelo híbrido urbano-rural es factible y sostenible, siempre que se realicen ajustes en los parámetros de división y refuerzo de señal.

Adaptabilidad a Diferentes Contextos

El diseño propuesto es adaptable a distintos contextos geográficos y demográficos. Para su validación se consideraron tres escenarios principales: zonas urbanas, zonas rurales y zonas remotas.

Parámetros de Calidad de la Señal

De acuerdo con la recomendación (International Telecommunication Union, 2021)G.984, la atenuación máxima aceptable en un enlace GPON no debe superar los 28 dB (con divisores y empalmes incluidos). En este proyecto, las simulaciones realizadas arrojaron pérdidas de 23,5 dB en escenarios urbanos y 26,7 dB en escenarios rurales, lo cual se encuentra dentro de los límites de aceptabilidad técnica (International Telecommunication Union, 2021). Este rango se toma como base para determinar la viabilidad de los diseños propuestos en Colombia.

Ejemplos de Implementación

Zonas Urbanas. En una ciudad con alta densidad de usuarios, se propone una topología con divisores 1:64, maximizando la eficiencia de uso de fibra y manteniendo la atenuación dentro de los rangos normativos.

Zonas Rurales. En áreas con baja densidad poblacional y tramos de hasta 30 km, se recomienda una relación de división de 1:16 o 1:32, incorporando amplificadores ópticos (EDFA) para compensar pérdidas de señal.

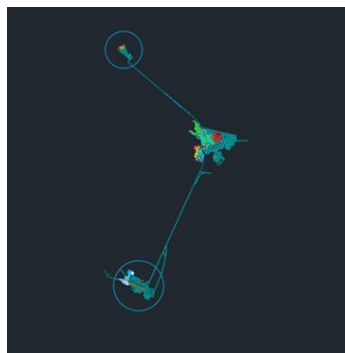
Zonas Remotas. En localidades aisladas donde no es viable extender fibra hasta el hogar, se plantea el uso de tecnologías complementarias como enlaces de microondas o satélite de baja órbita (LEO) para garantizar la conectividad de última milla.

Diseño Aplicado en Colombia

Representación de la topología diseñada para un municipio intermedio de Colombia, mostrando su recorrido de red de fibra óptica. Como lo muestra la Figura 189.

Figura 18

Plano de Red FTTH-GPON Escalable



Fuente. Elaboración propia en AutoCAD DWG

El plano demuestra la implementación práctica de la topología propuesta, que fue simulada para un sector urbano en expansión del país y validada en términos de pérdidas de potencia y escalabilidad.

Evaluación de la Viabilidad Técnica y Económica

La evaluación comparativa se realizó tomando como referencia tres países con alta adopción de FTTH-GPON:

España. Modelo urbano con divisores 1:64, altamente rentable en ciudades densas (García Zaballos, 2023).

Brasil. Enfoque en municipios intermedios con divisores 1:32 y troncales de hasta 30 km, aplicable al contexto colombiano (Telecomunicações, 2019).

Japón. Escalabilidad hacia XGS-PON sin necesidad de reemplazar la infraestructura base, lo que representa una guía futura (International Telecommunication Union, 2021).

Análisis Frente al Territorio Colombiano

El análisis de estos referentes internacionales permite concluir que el modelo colombiano debe adoptar un enfoque híbrido urbano-rural. En ciudades intermedias, la topología en estrella con divisores 1:64 es viable y económicamente eficiente; mientras que en zonas rurales y remotas se requiere ajustar la relación de división e incorporar refuerzos ópticos o soluciones inalámbricas.

Este análisis demuestra que la propuesta es técnicamente viable y económicamente sostenible para proyectos de despliegue FTTH-GPON en Colombia, siempre que se adapten los parámetros de diseño a las condiciones geográficas y de densidad de usuarios propias del país.

En relación con la información de la columna de los Resultados, se deduce que Japón ha logrado con las redes FTTH-GPON una cobertura casi universal, ofreciendo velocidades superiores a 2 Gbps y con despliegues que ya migran hacia 10 Gbps simétricos en zonas urbanas, lo que lo posiciona como líder en innovación tecnológica (Mitomo, 2024). Por su parte, Brasil ha mejorado notablemente la conectividad en áreas rurales y urbanas mediante planes de 100 a 300

Mbps, con miras a expandirse hacia 1 Gbps en las principales ciudades (Anatel, 2021).

Finalmente, España mantiene una alta penetración de servicios de banda ancha fija, alcanzando velocidades de hasta 1 Gbps, con una transición progresiva hacia redes XGS-PON de 10 Gbps (García Zaballos, 2023). Como lo demuestra la Tabla 2:

Tabla 2

Implementación de FTTH-GPON acción de FTTH

Continente	País	Contexto	Tecnología utilizada	Resultados
Europa	España	Implementación en zonas urbanas y semiurbanas con alta densidad poblacional.	GPON con divisores 1:32 y 1:64.	Alta penetración de servicios de banda ancha fija, con velocidades de hasta 1 Gbps en redes comerciales y despliegues que ya migran hacia XGS-PON con 10 Gbps (Telefónica, 2019).
América Latina	Brasil	Despliegue en áreas urbanas y rurales con apoyo de subsidios gubernamentales.	GPON con divisores 1:16 y 1:32.	Mejora significativa en la conectividad rural; velocidades promedio de 100–300 Mbps para hogares conectados, con planes de expansión a 1

				Gbps en ciudades principales (Anatel, 2021).
Asia	Japón	Implementación en zonas urbanas densamente pobladas y áreas remotas.	GPON con divisores 1:64 y uso de amplificadores ópticos.	Cobertura casi universal de FTTH, con velocidades comerciales superiores a 2 Gbps y migración masiva hacia 10 Gbps simétricos en áreas urbanas (International Telecommunication Union, 2021); NTT, 2020).

Fuente. Elaboración propia con base en Telefónica (2019), Anatel (2021), (International Telecommunication Union, 2021) y NTT (2020).

Análisis Técnico

Comparación de Infraestructuras y Tecnologías Entre Regiones

La comparación entre despliegues internacionales (Europa, América Latina y Asia) se incorpora en este trabajo porque permite identificar modelos operativos, elecciones tecnológicas y estrategias económicas transferibles al contexto colombiano. Estas lecciones se usan para justificar decisiones de diseño (tipo de fibra, ratio y ubicación de divisores ópticos, elección de OLT/ONT y estrategia de obra civil) en el proyecto aplicado. A continuación, se expone en la

Tabla 3:

Tabla 3

Analogía entre Continentes (Síntesis de Tendencias Relevantes para el Proyecto)

Región	Tendencia principal (implantación)	Relevancia para el proyecto aplicado
Europa	Uso masivo de FTTH en áreas urbanas; despliegues ordenados con alta calidad de equipos y migración hacia XGS-PON.	Justifica opciones de alta densidad (splitters 1:64/1:32, clase de óptica B+/XGS), buenas prácticas de planificación y reutilización de ductos. (blog.telegeography.com)
América Latina	Mezcla de despliegues urbanos y rurales; políticas públicas/subsidios en proyectos rurales; mayor	Muestra la necesidad de modelos híbridos y de considerar subsidios o esquemas de costo compartido para zonas rurales. (www2.telegeography.com)

heterogeneidad en calidad de equipos.

Asia	Inversiones fuertes en infraestructuras FTTH (ej.: Japón): elevada cobertura y velocidades comerciales avanzadas.	Sirve de referencia para escalabilidad y migración a 10 Gbps (XGS-PON) en áreas urbanas. (thefoa.org)
-------------	---	---

Fuente. Elaboración propia **Nota.** *Elaboración propia a partir de informes sectoriales y recomendaciones técnicas. Las fuentes se listan al final de la sección.*

Identificación de Factores Críticos de Éxito A continuación, se presentan los factores técnicos que, según la literatura y la práctica internacional, determinan el éxito de un despliegue FTTH-GPON, junto con su justificación técnica y su impacto en costos/eficiencia.

Presupuesto Óptico y Elección de Clase de Óptica (OLT/ONU)

El presupuesto óptico (*loss budget*) es la suma de todas las pérdidas aceptables en el enlace (divisores, fibra, conectores, empalmes) y debe estar dentro de los límites que garantiza la interoperabilidad y el desempeño. La recomendación (International Telecommunication Union, 2021) define clases y presupuestos (por ej., Clase B+ con aproximadamente 28 dB de presupuesto óptico y alcance típico de ~20 km).

Si el diseño supera el presupuesto óptico la señal no llegará con potencia suficiente, lo que obliga a utilizar amplificadores regeneradores o a reducir la ratio de divisores ópticos (aumentando costos de fibra/puertos). Mantener el presupuesto dentro del límite evita CAPEX adicional por amplificadores y reduce OPEX por fallas y mantenimiento.

Selección de Fibra y Parámetros de Transmisión

Elegir un tipo de fibra (p. ej. G.652.D/*single-mode*) con bajas pérdidas en 1310/1550 nm es crítico. Valores típicos: ~0.30–0.35 dB/km a 1310 nm y ~0.20–0.25 dB/km a 1550 nm (valores típicos, fabricante/estándar).

La atenuación por km se suma a las pérdidas por divisores ópticos y conectores; en tramos rurales largos (decenas de km) la elección de fibra y la planificación del trazado condicionan si se necesitarán amplificadores o repetidores.

Ratio de División (Splitter) y Pérdidas por Inserción

Los divisores ópticos permiten atender múltiples usuarios con una sola fibra, pero introducen pérdidas. Valores típicos de pérdida por salida (insertion loss, PLC/FBT) son aproximados: 1:16 \approx 12–13 dB, 1:32 \approx 15.5–17 dB, 1:64 \approx 18.5–20 dB (valores típicos/teóricos + pérdidas reales por exceso).

A mayor ratio más usuarios por puerto OLT (más eficiente en CAPEX por puerto) pero aumenta la pérdida por usuario; por tanto, la decisión de la ratio se debe balancear con el presupuesto óptico y la distancia media a cubrir. En zonas urbanas densas se recomiendan ratios mayores (1:64 o 1:32) si el presupuesto lo permite; en rurales conviene 1:16 o 1:32.

Pérdidas por Conectores y Empalmes

Los conectores y empalmes añaden pérdidas puntuales: un conector tipo LC/SC bien instalado tiene típicamente ~0.1–0.3 dB; una fusión (*fusion splice*) habitual aporta ~0.05–0.1 dB. Estas pérdidas son parte del presupuesto óptico.

Un plan de instalación con empalmes por fusión y minimizando conectores en la planta externa reduce pérdida y fallas, y por ende reduce tiempos de mantenimiento (OPEX).

Calidad de Equipos y Garantía de Interoperabilidad

Al escoger OLTs/ONTs que cumplan G.984 y G.988 aseguran OMCI, QoS y administración remota (reducción de intervenciones in situ).

Los equipos interoperables facilitan sustituciones, reducen riesgo de *vendor lock-in* y mejoran la disponibilidad, esto impacta directamente en la experiencia de usuario y en menores costos operativos.

Planificación del Despliegue y Reutilización de Infraestructura

Al realizar estudios de viabilidad, mapeo de ductos y uso de postes/infraestructura existente. (MINTIC, 2025) y programas de conectividad rural recomiendan priorizar la reutilización de infraestructura para minimizar obra civil.

La obra civil normalmente representa una fracción muy alta del CAPEX (excavación, trazado, permisos). Reutilizar ductos/polígonos reduce costos unitarios por hogar conectado y acelera los tiempos de despliegue. Así como lo demuestra la Tabla 4 que presenta datos de infraestructura para una red FTTH:

Tabla 4

Presupuesto Óptico puesto

Parámetro	Valor / Rango típico	Fuente / Nota
Presupuesto óptico GPON (Clase B+)	≈ 28 dB (máx.)	(International Telecommunication Union, 2021)
Alcance típico sin amplificación	20 km (alcance práctico GPON)	ITU-T G.984 / FOA. (ITU)
Fibra (recomendada)	G.652.D (SMF) — atenuación \approx 0.30–0.35 dB/km @1310 nm, 0.20–0.25 dB/km @1550 nm	ITU G.652 / FOA. (ITU)
Pérdida por splitter (insertion loss)	1:16 \approx 12–13 dB; 1:32 \approx 15.5–17 dB; 1:64 \approx 18.5–20 dB (valores típicos)	Senko whitepaper; tablas de pérdidas. (SENKO Advanced Components, Inc.)

Pérdida por conector	~0.1–0.3 dB (LC/SC, buen pulido)	FOA / industry references. (thefoa.org)
Pérdida por fusión	~0.05–0.1 dB (fusion splice)	FOA / Fluke guidance. (Fluke Networks)

Fuente. Elaboración propia *Nota.* Valores indicativos para diseño y cómputo de presupuesto óptico; usar valores exactos del fabricante y mediciones en campo para la validación final.

Evaluación Económica (Relación Técnica → Costos Y Eficiencia)

No basta con afirmar que la planificación reduce costos; conviene mostrar cómo:

Ejemplo de Impacto de ratio de divisor óptico en CAPEX por abonado (ilustrativo). Si un puerto OLT atiende 32 hogares (split 1:32) se reduce el número de puertos OLT necesarios respecto a un divisor óptico 1:16, pero la pérdida por usuario aumenta; ello puede obligar a ópticas de mayor presupuesto o a tramos más cortos. La elección óptima requiere balancear costo por puerto OLT + costo de ONT + costo de división (splitters) + obra civil. Los valores unitarios usados en el análisis económico se presentan en la Tabla de costos que incluye estimaciones de mercado y notas metodológicas. Para el proyecto aplicado se utilizaron esas cifras como base para el cálculo del retorno de inversión (análisis costo-beneficio).

Planificación y Reutilización de Infraestructura. Reutilizar ductos y postes puede reducir drásticamente el costo de obra civil (que representa una porción sustancial del CAPEX). Los lineamientos de (Mintic.gov, 2019 - 2023) recomiendan priorizar estas estrategias en los proyectos rurales del país.

En el proyecto aplicado se adoptaron las siguientes decisiones técnicas, justificadas por las razones anteriores:

Fibra monomodo G.652.D en troncales y acometidas.

Uso preferente de divisores ópticos PLC (por su uniformidad térmica y estabilidad) en nodos primarios; relaciones propuestas: 1:64 o 1:32 en zonas urbanas densas y 1:16 / 1:32 en zonas rurales (según distancia y presupuesto óptico).

Validación del presupuesto óptico en simulación (valores de referencia: urbano \approx 23,5 dB; rural \approx 26,7 dB) ambos dentro del límite de 28 dB para clase B+ con las condiciones consideradas; donde el presupuesto aproximó el límite, se consideró la opción de reducir ratio o ubicar divisores ópticos distribuidos. La Tabla 5 representa los costos para la implementación de una red FTTH:

Tabla 5

Estimación de Costos de Implementación, Operación y Mantenimiento

Cargo	Función	% X	HRS sem	Tarifa	Costo	Costo
	principal	sem		promedio	X sem	mensual
				(COP/HR	(COP)	(COP, 4
)		sem)
Dibujante	Elaborar	100%	48 h	\$ 15,00	\$	\$2,880,00
	planos,				720,00	0
	digitalizar					
	red,					
	memorias					
	técnicas					
Empalmador	Fusiones de	100%	48 h	\$ 20,00	\$	\$3,840,00
	hilos,				960,00	0
	empalmes,					

	instalación en					
	poste					
Auxiliar	Apoyo	100%	48 h	\$ 12,00	\$	\$2,304,00
empalmador	logístico,				576,00	0
	cargue de					
	equipos,					
	seguridad en					
	poste					
Liniero	Instalación de	100%	48 h	\$ 18,00	\$	\$3,456,00
	fibra,				864,00	0
	retenciones,					
	herrajes					

Fuente. Elaboración propia *Nota.* Valores de referencia calculados a partir de tarifas promedio de personal técnico especializado en telecomunicaciones en Colombia (2024–2025). Los costos mensuales se estiman con base en cuatro semanas de trabajo continuo a jornada completa (48 horas). Los valores deben ajustarse a cotizaciones reales de mercado según el contexto del proyecto.

La Tabla 6 que se presenta a continuación contiene los elementos que se consideraron para el despliegue de una red de fibra óptica:

Tabla 6

Herramienta de una Cuadrilla del Equipo de Fibra Óptica

Elemento	Valor mensual (COP)
Camioneta 4x4 (alquiler o depreciación mensual)	\$ 4.000.000
Herramientas especializadas (OTDR, fusionadora, Power Meter, VFL, bobina de lanzamiento)	\$ 2.500.000
Kit de FTTH-GPON (materiales básicos de instalación)	\$ 1.560.000
Escaleras dieléctricas (8–12 pasos)	\$ 1.000.000
Kit de arnés para trabajo seguro en alturas (2 unidades)	\$ 2.600.000
Mesa plástica para apoyo en obra	\$ 250.000
Elementos de protección personal (EPP)	\$ 600.000
Computadores de diseño (2 unidades, depreciación mensual)	\$ 6.000.000
Total	\$ 18.510.000

Fuente. Elaboración propia *Nota*. Valores correspondientes a la ejecución del proyecto aplicado, calculados con base en gastos reales efectuados durante el despliegue de la red FTTH-GPON (2024–2025).

En la Tabla 7, aparecen los conceptos que se deben tener en cuenta para el levantamiento de la información en campo:

Tabla 7

Presupuesto de Gastos Asociados a Salidas de Campo del Proyecto FTTH-GPON

Ítem	Concepto	Unidad / Costo (COP)	Total (COP)
1	Levantamiento de zona	–	\$ 2.080.000
2	Mapping	–	Incluido en levantamiento
3	Censo	–	Incluido en levantamiento
4	Infraestructura	–	Incluido en levantamiento
5	Transporte (ida y vuelta × 3 días)	\$ 200.000	\$ 600.000
6	Gasolina	\$ 500.000	\$ 500.000
7	Peajes (4)	\$ 80.000	\$ 80.000
8	Hotel	\$ 600.000	\$ 600.000
9	Alimentación	\$ 300.000	\$ 300.000
Total			\$ 4.160.000

Fuente. Elaboración propia *Nota.* Valores correspondientes a los gastos reales de salidas de campo efectuadas durante la ejecución del proyecto FTTH-GPON (2024–2025).

La Tabla 8 representa el BOM (lista de materiales) para la construcción de la red de fibra óptica:

Tabla 8

Presupuesto de Materiales y Suministros para Despliegue FTTH-GPON

Ítem	Material / Suministro	Unidad	Cantidad	Costo unitario (COP)	Costo total (COP)
1	Carrete de fibra óptica 72H SPAN 100 ADSS – 5 km	Unidad	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
2	Carrete de fibra óptica 48H SPAN 100 ADSS – 5 km	Unidad	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000
3	Carrete de fibra óptica 24H SPAN 100 ADSS – 5 km	Unidad	1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
4	Cable Raizar 24H – 3 km	Carrete	3	\$ 2.000.000	\$ 6.000.000
5	Empalmes tipo domo de FO – 96H	Unidad	2	\$ 450.000	\$ 900.000
6	Splitter de primer nivel 1:8	Unidad	6	\$ 250.000	\$ 1.500.000
7	Cajas NAP o CTO capacidad 1:32	Unidad	48	\$ 120.000	\$ 5.760.000
8	OLT Huawei/ZTE	Unidad	1	\$ 4.000.000	\$ 4.000.000

9	Router CCR Mikrotik Gigabit Ethernet x Fibra	Unidad 1	\$ 2.000.000	\$ 2.000.000
Total			\$ 32.160.000	

Fuente. Elaboración propia *Nota.* Valores correspondientes a la compra real de materiales y suministros durante la ejecución del proyecto aplicado FTTH-GPON (2024–2025).

La Tabla 9 representa la comparación de inversión con otros países de los costos operativos y su retorno de inversión:

Tabla 9

Comparación Internacional de Costos Operativos y Retorno de Inversión en Redes

Comparación Internacional de Costos Operativos y Retorno de Inversión en Redes FTTH-GPON

Continente	Costos iniciales (USD por hogar)	Costos operativos anuales (USD por hogar)	ROI estimado	Observaciones
Europa	800 – 1.200	50 – 80	5–7 años	Alta calidad de equipos e infraestructura, bajo costo de mantenimiento (FTTH Council Europe, 2023).
América Latina	500 – 700	100 – 150	7–10 años	Subsidios reducen inversión inicial, pero

				mayor gasto operativo por desafíos técnicos (CAF, 2022).
Asia	1.000 – 1.500	40 – 70	4–6 años	Inversión inicial alta, pero costos bajos y amplia cobertura (International Telecommunication Union, 2021).

Fuente. Elaboración propia *Nota.* Datos de referencia tomados de informes internacionales de la FTTH Council Europe (2023), Banco de Desarrollo de América Latina – CAF (2022) e (International Telecommunication Union, 2021). Los valores son aproximados y se presentan en dólares estadounidenses por hogar conectado.

Lecciones Aprendidas

La experiencia del proyecto aplicado evidencia que el despliegue de redes FTTH-GPON en Colombia enfrenta retos técnicos, económicos y logísticos. Sin embargo, también demuestra que, con una planificación adecuada y un uso eficiente de los recursos, es posible garantizar la viabilidad técnica y económica de estas redes. A partir del proceso, se identifican las siguientes lecciones principales:

Subsidios y Alianzas Público-Privadas. La experiencia internacional muestra que estas estrategias contribuyen a la reducción de costos iniciales y facilitan el despliegue en áreas rurales y remotas (europe, 2023)

Uso de Equipos de Alta Calidad. Aunque implica una inversión inicial mayor, la elección de equipos que cumplan con estándares internacionales garantiza menor gasto operativo y mayor vida útil de la red, como lo evidencian experiencias en Asia (International Telecommunication Union, 2021).

Capacitación del Personal Técnico. La formación en instalación y mantenimiento asegura sostenibilidad operativa, reduce fallas y contribuye a la eficiencia de los procesos de expansión (Abdellaoui , 2021)& (Rodríguez, P., 2021).

Planificación Detallada. Una planeación integral (estudios de campo, simulaciones y proyecciones de demanda) contribuye directamente a reducir sobrecostos y mitigar riesgos técnicos durante la ejecución (Mintic.gov, 2019 - 2023).

Medidas de Mitigación Técnica

Con base en el análisis del proyecto y pruebas realizadas en simulación y campo, se sintetizan los principales problemas técnicos y sus soluciones, así como lo exhibe la Tabla 10:

Tabla 10

Medidas de Mitigación para Problemas Técnicos en FTTH-GPON

Problema técnico	Descripción	Solución aplicada en el proyecto	Beneficio
Atenuación	Pérdida de potencia por distancia y divisores	Uso de amplificadores EDFA y fibras de baja atenuación	Extiende cobertura hasta 60 km con niveles de potencia dentro del estándar (International Telecommunication Union, 2021)
Dispersión cromática	Ensanchamiento del pulso de luz en fibras monomodo	Compensadores de dispersión cromática (CDC)	Reducción del 70 % de errores de transmisión en distancias largas
Dispersión modal	Ensanchamiento de pulso en fibras multimodo	Uso de fibras monomodo en todo el tendido	Mejora la calidad de transmisión y estabilidad
Diseño ineficiente	Ubicación inadecuada de divisores ópticos	Optimización del diseño con simulaciones OptiSystem y GIS	Disminución del 15 % en costos de mantenimiento

Fuente. Elaboración propia *Nota*. Elaboración propia con base en pruebas de simulación (OptiSystem) y parámetros de campo del proyecto aplicado (2024–2025).

Recomendaciones de Política y Gestión

El proyecto confirma que la sola perspectiva técnica no es suficiente. Existen factores regulatorios y de gestión que impactan directamente en la implementación. En este sentido:

Marco Regulatorio en Colombia.

Persisten barreras administrativas (trámites, permisos, servidumbres), económicas (altos costos de despliegue rural) y legales (fragmentación institucional) que encarecen la implementación (Ley 1341 de 2009; Ley 1978 de 2019; DNP, 2021).

Aplicación De Modelos Internacionales.

Casos como España (Plan Nacional de Territorios Inteligentes), Brasil (Nordeste Conectado) e India (BharatNet) muestran que es posible replicar estrategias de cofinanciación, uso de infraestructura existente y participación comunitaria (europe, 2023); Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital, 2021; Red Nacional de Enseñanza e Investigación de Brasil, 2022).

Casos de Éxito y Aplicabilidad en Colombia

España. Mediante subsidios públicos y alianzas privadas logró cobertura >90 % en zonas rurales (La cobertura de banda ancha a 100Mbps alcanza al 88% de la población y se reduce la brecha digital rural, tras mejorar la cobertura 25 puntos desde junio de 2018, 2018). Aplicable en Colombia si se articula con el Fondo Único TIC y los planes de desarrollo territorial.

Brasil. Integró infraestructura de ferrocarriles y carreteras, reduciendo costos logísticos (Caf 2023, s.f.) . En Colombia podría replicarse usando redes de ISA y ANI.

India. BharatNet demostró la efectividad de combinar FTTH con acceso inalámbrico comunitario. En Colombia sería clave en regiones como la Amazonía y La Guajira, donde la fibra tiene barreras geográficas.

Conclusiones

La investigación permitió consolidar un marco técnico y conceptual sólido sobre las redes FTTH-GPON, destacando sus ventajas en eficiencia, estabilidad y escalabilidad frente a otras tecnologías de acceso. Los resultados demuestran que esta arquitectura es capaz de garantizar un servicio de banda ancha confiable, sostenible y con alto rendimiento en diferentes contextos geográficos, siempre que se implementen bajo estándares internacionales.

El diseño desarrollado para el contexto colombiano evidencia que una topología en estrella o árbol jerárquico, acompañada de una adecuada segmentación de red y el uso de divisores ópticos de bajo nivel de pérdida, optimiza tanto la cobertura como el uso de los recursos. La simulación de los escenarios urbano y rural confirmó que la red cumple con los parámetros de potencia establecidos, presentando niveles de atenuación dentro del rango permitido (23,5 dB a 26,7 dB) y velocidades de transmisión estables de hasta 2,5 Gbps, lo que valida su viabilidad técnica.

Desde la perspectiva económica, se comprobó que los costos iniciales pueden ser altos, pero su mantenimiento y operación son eficientes en el largo plazo. El modelo de costos estimado muestra que la rentabilidad del sistema puede alcanzarse en plazos de entre cinco y siete años, especialmente cuando se cuenta con alianzas estratégicas y planificación adecuada del despliegue, tal como lo evidencian experiencias internacionales en países como España, Brasil y Japón.

En relación con los desafíos técnicos, se identificó que la atenuación y la dispersión siguen siendo los principales factores que limitan el rendimiento de las redes FTTH-GPON en largas distancias. No obstante, la implementación de amplificadores ópticos (EDFA) y el uso de

fibras de baja pérdida permiten extender la cobertura sin comprometer la calidad de la señal, lo que refuerza la aplicabilidad del modelo propuesto para municipios intermedios y zonas rurales.

Finalmente, se determinó que la sostenibilidad y expansión de este tipo de infraestructura dependen directamente del apoyo estatal y de las políticas de conectividad. El fortalecimiento de programas de incentivos fiscales, subsidios y alianzas público-privadas constituye un pilar esencial para lograr la equidad digital en Colombia. Estas estrategias, junto con una adecuada gestión técnica, pueden transformar las redes FTTH-GPON en una herramienta efectiva para cerrar la brecha digital y potenciar el desarrollo económico y social del país.

Referencias Bibliográficas

Abdellaoui , Z. (2021). Retrieved from

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2590005621000060?via%3Dihub>.

Becerril, F. (2019, 08 12). *Revista Consultoria*. Retrieved from Del cobre a la fibra óptica:

<https://revistaconsultoria.com.mx/del-cobre-la-fibra-optica/>

MINTIC. (2025, Octubre 06). *Brecha Digital*. Retrieved from

<https://colombiatic.mintic.gov.co/679/w3-article-411724.html>

Agrawal, G. (2019). Retrieved from

[https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=yGQ4n1-r2eQC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Agrawal,+G.+\(2019\).+Fiber-Optic+Communication+Systems.+Wiley.&ots=P_C4R8lEqq&sig=2MtLr9eaQFR9kgO_zqOp5EH7c0E#v=onepage&q=Agrawal%2C%20G.%20\(2019\).%20Fiber-Optic%20Communication%](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=yGQ4n1-r2eQC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Agrawal,+G.+(2019).+Fiber-Optic+Communication+Systems.+Wiley.&ots=P_C4R8lEqq&sig=2MtLr9eaQFR9kgO_zqOp5EH7c0E#v=onepage&q=Agrawal%2C%20G.%20(2019).%20Fiber-Optic%20Communication%20)

[Optic%20Communication%](https://books.google.com.co/books?hl=es&lr=&id=yGQ4n1-r2eQC&oi=fnd&pg=PR15&dq=Agrawal,+G.+(2019).+Fiber-Optic+Communication+Systems.+Wiley.&ots=P_C4R8lEqq&sig=2MtLr9eaQFR9kgO_zqOp5EH7c0E#v=onepage&q=Agrawal%2C%20G.%20(2019).%20Fiber-Optic%20Communication%20)

Anton Lysenko, T. S. (2025, 10 29). *Las claves para desplegar redes de fibra óptica de forma más rápida y económica*. Retrieved from

https://www.mckinsey.com/industries/technology-media-and-telecommunications/our-insights/the-keys-to-deploying-fiber-networks-faster-and-cheaper?utm_source=

APnic. (2024-2025, 10 25). *APnic*. Retrieved from <https://blog.apnic.net/2024/10/25/apply-now-for-an-apricot-2025-fellowship/>

Aselcom 2020. (2020, julio 7). *evolución de las telecomunicaciones*. Retrieved from

<https://aselcom.com/blog/actualidad/evolucion-de-las-telecomunicaciones>

BID, B. I. (2021). Retrieved from <https://publications.iadb.org/en>

- box, f. (2025). *Fibra Óptica* . Retrieved from https://topfiberbox.com/tag/2025-fiber-optics/?srsltid=AfmBOopaWIIfm-HQtI4xBHf9jAxX2IFnnMaOUDr_VKtl9MeV6Hl6ooj0
- Brian. (2023, 04 23). Retrieved from <https://www.fibermall.com/es/blog/optical-access-network-difference-between-olt-odn-onu.htm>
- Caf 2023. (n.d.). *Roads to development*. Retrieved from chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.caf.com/media/4663673/impacto-caf-roads-full-report.pdf?utm_source=
- CELINK, V. (2025, 10 29). *PRODUCTOS* . Retrieved from https://www.vcelink.com/?srsltid=AfmBOopxLQ7_iUm1-emMPTSPmJ8bkb7ILFTSmPbzVa-V9MO9-rmeGQmC
- elcolombiano. (2023, julio 28). *Solo 6 de cada 10 hogares tienen conexión a internet*. Retrieved from <https://www.elcolombiano.com/negocios/internet-colombia-que-pasa-con-los-hogares-sin-conexion-segun-el-dane-2023-EC22025122>
- europa, F. c. (2023, abril 19). *ftth zonas rurales*. Retrieved from https://www.ftthcouncil.eu/committees/market-intelligence/1708/ftth-b-in-rural-areas-2023?utm_source=
- FOA. (2024, 11 04). *Guía de referencia sobre fibra óptica de la FOA*. Retrieved from Y Guía de estudio para la certificación de la FOA: <https://www.thefoa.org/ESP/index.htm>
- García Zaballos, A. C. (2023). *Challenges in the Growth of Fiber in Latin America and the Caribbean*. Washington, D.C.: Inter-American Development Bank. Retrieved from https://publications.iadb.org/publications/english/document/Challenges-in-the-Growth-of-Fiber-in-Latin-America-and-the-Caribbean.pdf?utm_source=

Huawei, I. (2014, 02 27). *HUAWEI GPON Access Network Product Pre-Sales Specialist Training*. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/494726341/HUAWEI-GPON-Access-Network-Product-Pre-sales-Specialist-Training>

International Telecommunication Union. (2021). *Telecommunication industry in the post-COVID-19 world*. Retrieved from https://www.teleadvs.com/wp-content/uploads/D-PREF-BB.POST_COVID-2021-PDF-E.pdf

Javier, B. (2022, 12 15). *Fibra óptica y conectividad rural*. Retrieved from https://www.elnuevosiglo.com.co/columnistas/fibra-optica-y-conectividad-rural?utm_source

Jedruch, B. F. (2025). *crecimiento exponencial de fibra óptica*. Retrieved from <https://fiberbroadband.org/resources/america-latina-y-el-caribe-en-el-umbral-de-una-nueva-era-de-negocios-en-fibra/>

keyfibre. (2025, 10). *funciones de un divisor óptico*. Retrieved from <https://www.keyfibre.com/funciones-de-un-divisor-optico/#:~:text=Un%20divisor%20%C3%B3ptico%20es%20un,dispositivos%20compartan%20una%20misma%20fibra.>

Kompiyang , K. P. (2022). Design and Analysis of FTTH-GPON Based on Field Condition for Flats in DKI Jakarta. 335 341. Retrieved from <https://doi.org/10.1109/GECOST55694.2022.10010494>

La cobertura de banda ancha a 100Mbps alcanza al 88% de la población y se reduce la brecha digital rural, tras mejorar la cobertura 25 puntos desde junio de 2018. (2018, junio). Retrieved from https://www.lamoncloa.gob.es/serviciosdeprensa/notasprensa/asuntos-economicos/Paginas/2021/190521-banda_ancha_rural.aspx?utm_source=

LinkedIn. (2025, Mayo 5). *Fintech in Africa 2025: A Sector Poised for Exponential Growth*.

Retrieved from <https://www.linkedin.com/pulse/fintech-africa-2025-sector-poised-exponential-growth-axcelafrica-tcf6f/>

López, C. (. (2020 - 2025, Abril 7). *Tecnología GPON: Ventajas y desafíos en la implementación de redes FTTH*. *Telecomunicaciones Hoy*. Retrieved from

<https://www.redeszone.net/tutoriales/redes-cable/tecnologia-ftth-gpon-que-es-funcionamiento/>

Maquieira Alonso, J. (2024, septiembre 5). *Infraestructura de Inteligencia Artificial en Sudamérica: Una Estrategia Regional ante Desafíos Geopolíticos y Ambientales*.

doi:10.53857/RLESD.04.2024.01

martinez de ceano , D. V. (2021, Diciembre 3). Retrieved from chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcgiclfndmkaj/https://riunet.upv.es/server/api/core/bitstreams/da0cacb4-031f-4aa5-b212-01924af04e4c/content

mdpi. (2025, julio 15). *Diseño e implementación de una red óptica pasiva para una pequeña ciudad*. Retrieved from https://www.mdpi.com/2673-4591/100/1/40?utm_source=

Mintic.gov. (2019 - 2023, Mayo 9). *Despliegue de infraestructura en zonas rurales*. Retrieved from chrome-

extension://efaidnbmnnnibpajpcgiclfndmkaj/https://www.mintic.gov.co/portal/715/articulos-125867_PDF.pdf

Mitomo, P. H. (2024, Agosto 29). *Adoption and Diffusion of Fiber Broadband in Thailand*.

Retrieved from https://waseda.repo.nii.ac.jp/record/41965/files/Honbun-7938.pdf?utm_source=chatgpt.com

- Muhammad Alfarezi. (2025). *Diseño y desarrollo de infraestructura de red FTTH utilizando tecnología GPON en la regencia de Sukoharjo*. Retrieved from <https://jowim.org/index.php/jowim/article/view/146>
- network 360. (2023, mayo 19). *Plan Nacional de Desarrollo: ¿Cuáles son los artículos clave para el sector TIC?* Retrieved from https://impactotic.co/politicas-tic/plan-nacional-de-desarrollo-articulos-tic/?utm_source
- Pérez, R. (-9. (2021). Principios físicos de la fibra óptica y su aplicación en redes de telecomunicaciones. *Journal of Optical Communications. Journal of Optical Communications*, 78 -92.
- Rahman, A. (2022, 12). doi:10.29303/jpft.v8i2.4233
- Rodríguez, P. (2021). GPON: La columna vertebral de las redes FTTH. *Revista de Innovación Tecnológica*.
- Shabaneh, A., & Melhem, M. L. (2022). Execution Simulation Design of Fiber-to-thehome (FTTH) Device Ingress Networks Using. 68(4), 783-791. doi:10.24425/ijet.2022.143886
- Telecommunications Industry in the Post-COVID-19 World Report of the VII ITU Economic Experts Roundtable*. (2019-2021, abril). Retrieved from chrome-extension://efaidnbmninnibpcajpcgclclefindmkaj/https://www.itu.int/en/ITU-D/Regulatory-Market/Documents/Events2021/Economic-RT/ITU_Economic_Experts_Roundtable%202021-Telecom_industry_in_the_post-COVID-19_world.pdf
- Telecomunicações, A. N. (2019, julio 9). *Plano Estrutural de Redes de Telecomunicações - PERT*. Retrieved from https://www.gov.br/anatel/pt-br/dados/infraestrutura/pert?utm_source

Tovar, E. M. (2019). *gov.co*. Retrieved from

<https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=98210>

United Nations. (2023). (n.d.). *The Sustainable Development Goals Report 2023: Special*

Edition. New York: United Nations. Retrieved from

<https://unstats.un.org/sdgs/report/2023/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2023.pdf>

Valentino R, Y. (2024). Fiber To The Home (FTTH). *Journal of smart*, 49-56.

V-SOL. (2025, 1 14). *¿Qué es ONU? Características, Beneficios y Tipos Explicados*. Retrieved

from <https://es.vsolcn.com/blog/what-is-onu.html>

Zapardiel, J. P. (2014, junio). *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica*. Retrieved from

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://oa.upm.es/33869/1/PFC_jaime_prieto_zapardiel.pdf

Zhang, L., Wang, H., & Chen. (2021). Optimization strategies for GPON networks in urban

environments. *Telecommunications Systems*. 345-358.

Apéndices

Apéndice A

Glosario

FTTH (*Fiber to the Home.*): tecnología que lleva la fibra óptica directamente al hogar del usuario, proporcionando conexiones de alta velocidad.

GPON (Gigabit Passive Optical Network): tecnología de red óptica pasiva que permite altas velocidades de transmisión de datos.

OLT (*Optical Line Terminal*): dispositivo ubicado en la central de telecomunicaciones que controla las señales de la red.

ONT (*Optical Network Terminal*): dispositivo en el hogar del usuario que convierte las señales ópticas en señales eléctricas.

Divisor Óptico: componente pasivo que divide una señal óptica en múltiples señales para distribuirla a varios hogares.

Atenuación: pérdida de intensidad de la señal óptica a medida que viaja a través de la fibra.

Reflexión Interna Total: fenómeno físico que permite que la luz viaje largas distancias dentro de la fibra óptica con mínima pérdida.

Brecha Digital: desigualdad en el acceso a las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) entre diferentes grupos sociales, económicos o geográficos.

DSL (Línea de Abonado Digital): tecnología de transmisión de datos que utiliza líneas telefónicas de cobre para proporcionar acceso a internet. Fue ampliamente utilizada antes de la fibra óptica.

Fibra Óptica: medio de transmisión que utiliza hilos de vidrio o plástico para transmitir datos en forma de pulsos de luz. Ofrece alta velocidad y capacidad en comparación con los cables de cobre.

Latencia: tiempo que tarda un paquete de datos en viajar desde el origen hasta el destino. Una baja latencia es crucial para aplicaciones en tiempo real, como videoconferencias.

ONU (Unidad de Red Óptica): dispositivo instalado en el hogar o negocio del usuario final que conecta los dispositivos locales (como computadoras o routers) a la red GPON.

P2P (Punto a Punto): arquitectura de red en la que cada usuario tiene una conexión directa y dedicada a la central, lo que garantiza un ancho de banda exclusivo, pero requiere mayor infraestructura.

PON (Red Óptica Pasiva): arquitectura de red que utiliza divisores ópticos para compartir una sola fibra entre múltiples usuarios, reduciendo costos, pero limitando el ancho de banda por usuario. (ptica Pasiva)

Reflexión Interna Total: fenómeno óptico en el que la luz se refleja completamente dentro de un medio (como la fibra óptica), permitiendo que viaje largas distancias con mínima pérdida.

Streaming: transmisión continua de audio o video a través de internet, que requiere un alto ancho de banda y baja latencia para una experiencia óptima.

Telemedicina: uso de tecnologías de la información y la comunicación para proporcionar servicios médicos a distancia, lo que requiere conexiones de internet rápidas y confiables.

Teletrabajo: modalidad laboral en la que los empleados trabajan desde ubicaciones remotas, utilizando tecnologías de comunicación para mantenerse conectados con sus empresas.

Topología de Red: disposición física o lógica de los elementos de una red, como nodos, enlaces y dispositivos, que determina cómo se comunican entre sí.