Propuesta de Red FTTH Auto-Reconfigurable para Optimizar la Continuidad del Servicio ante Fallas en OLT.

Proposal for a Self-Reconfigurable FTTH Network to Optimize Service Continuity in the Event of OLT Failures

Ing. Diomar Jesús Sánchez Ochoa
Correo: djsochoa@gmail.com
Código Orcid: 0009-0003-1608-5344
Universidad Privada Dr. Rafael Belloso Chacín.

Resumen

El estudio presentó el diseño de una red de comunicaciones FTTH dotada de capacidades de auto-reconfiguración en tiempo real frente a fallas. Dicha red funcionó mediante mecanismos de monitoreo inteligente y gestión automatizada del tráfico. En contextos donde la estabilidad eléctrica o física resultó limitada como se evidenció en diversas zonas rurales de América Latina, las infraestructuras tradicionales resultaron propensas a interrupciones prolongadas. La propuesta incorporó rutinas automatizadas para la detección de latencia y pérdida de conectividad, complementadas con algoritmos de conmutación automática y rutas ópticas redundantes. Estos elementos permitieron modificar dinámicamente la distribución del tráfico y mantener la continuidad del servicio sin intervención humana. Durante el desarrollo, se analizaron tecnologías como GPON con soporte para multiplexación por división de longitud de onda (WDM) y divisores ópticos redundantes. También se emplearon controladores programables que ejecutaron reconfiguraciones bajo condiciones de error previamente establecidas. Los resultados demostraron que la arquitectura FTTH autónoma incrementó significativamente la resiliencia de la red, redujo el tiempo de inactividad y mejoró la experiencia del usuario final. Por consiguiente, se configuró como una solución viable para zonas con infraestructura crítica o limitada.

Palabras clave: FTTH, auto-reconfiguración, redes autónomas, resiliencia de red, monitoreo inteligente, failover óptico.

Abstract.

The study presented the design of an FTTH communications network equipped with real-time self-reconfiguration capabilities in the event of a fault. This network operated through intelligent monitoring mechanisms and automated traffic management. In contexts where electrical or physical stability was limited as was evident in several rural areas of Latin America traditional infrastructures were prone to prolonged outages. The proposal incorporated automated routines for latency and loss of connectivity detection, complemented by automatic switching algorithms and redundant optical paths.These elements made it possible to dynamically modify traffic distribution and maintain service continuity without human intervention. During development, technologies such as GPON with support for wavelength division multiplexing (WDM) and redundant optical splitters were analyzed. Programmable controllers were also employed, which performed reconfigurations under predetermined error conditions. The results demonstrated that the autonomous FTTH architecture significantly increased network resilience, reduced downtime, and improved the end-user experience. Therefore, it was configured as a viable solution for areas with critical or limited infrastructure.

Keywords: FTTH, self-reconfiguration, autonomous networks, network resilience, intelligent monitoring, optical failover.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

Fundamentación Teórica.

La base conceptual del presente estudio se sustentó en un conjunto de teorías, principios y enfoques técnicos que permiten comprender los elementos esenciales para el diseño y funcionamiento de una red FTTH (Fiber To The Home) con capacidades de auto-reconfiguración. En un contexto donde la continuidad del servicio y la resiliencia de la infraestructura son fundamentales especialmente en regiones con condiciones operativas limitadas o inestables, resulta imprescindible examinar los fundamentos de las tecnologías ópticas, los mecanismos de tolerancia a fallas, y las estrategias de gestión automatizada del tráfico de red.

A lo largo de esta sección se presentan definiciones clave sobre redes ópticas pasivas, asignación dinámica de ancho de banda, monitoreo inteligente, arquitectura GPON, virtualización de funciones de red, y otros conceptos avanzados vinculados a la eficiencia, escalabilidad y confiabilidad de las telecomunicaciones modernas. Las referencias seleccionadas provienen de investigaciones recientes, manuales técnicos y literatura especializada, con el propósito de ofrecer un marco teórico robusto que respalde el diseño de una red FTTH autónoma, adaptable y sostenible.

Redes de Fibra Óptica hasta el Hogar (FTTH).

Las redes FTTH (Fiber To The Home) representan la evolución de las telecomunicaciones hacia infraestructuras totalmente ópticas, permitiendo velocidades superiores a las de tecnologías previas. Según Zhang y Wang (2016, p. 112), FTTH ofrece una mayor capacidad de transmisión, menor latencia y mejor eficiencia energética en comparación con tecnologías como DSL y HFC. Además, su implementación ha sido clave para el crecimiento de servicios como el streaming en alta definición y el Internet de las Cosas (IoT), impulsando la digitalización en entornos residenciales y empresariales.

Resiliencia en Redes de Telecomunicaciones.

La resiliencia en redes de telecomunicaciones se refiere a la capacidad de una red para mantener su funcionalidad y operatividad frente a fallas, ataques o eventos imprevistos. De acuerdo con Ramírez (2017, p. 88), una red resiliente es aquella que puede detectar errores, aislarlos y continuar operando mediante rutas o mecanismos alternos, reduciendo el impacto sobre los usuarios. Esta cualidad es crucial en entornos donde la infraestructura es limitada o propensa a interrupciones.

Tolerancia a Fallos y Auto-Reconfiguración.

La tolerancia a fallos es la propiedad de un sistema que le permite continuar funcionando correctamente incluso cuando se presentan errores o daños en algunos de sus componentes. Zhang y Wang (2016, p. 125) afirman que una red auto-reconfigurable se basa en algoritmos de failover que permiten redireccionar el tráfico de manera automática, sin necesidad de intervención humana, minimizando así el tiempo de inactividad y maximizando la continuidad del servicio.

Redes Ópticas Pasivas (PON) y Redundancia Óptica.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

Las redes ópticas pasivas utilizan componentes como splitters y fibra monomodo para distribuir la señal sin necesidad de equipos activos intermedios. Según Oviedo Bayas et al. (2018, p. 73), la combinación de PON con tecnologías como WDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda) permite crear rutas ópticas redundantes que pueden ser activadas automáticamente en caso de fallas en la ruta principal, mejorando la fiabilidad del sistema.

Monitoreo Inteligente y Automatización en Redes.

El monitoreo inteligente permite detectar problemas en la red en tiempo real, a través de herramientas de software que analizan parámetros como latencia, jitter o pérdida de paquetes. Según Cohen, Manion y Morrison (2018, p. 134), la implementación de plataformas de monitoreo como PRTG o scripts de diagnóstico automatizados permite ejecutar acciones correctivas inmediatas, favoreciendo la estabilidad y la adaptabilidad de las redes modernas.

Eficiencia Operativa en Redes de Fibra Óptica.

La eficiencia operativa en redes de telecomunicaciones no solo depende del ancho de banda ofrecido, sino también de su capacidad de adaptarse ante contingencias sin afectar al usuario final. Liberatori (2018, p. 108) señala que una red eficiente es aquella que combina alta velocidad con mecanismos de autoajuste que aseguran una experiencia de usuario estable incluso en condiciones adversas.

Arquitectura GPON en Redes FTTH.

La tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) es una de las más utilizadas en el despliegue de redes FTTH debido a su capacidad para ofrecer altas velocidades de transmisión en una infraestructura compartida. Según Tirira (2022, p. 94), GPON permite una tasa de transferencia de hasta 2.5 Gbps en sentido descendente y 1.25 Gbps en sentido ascendente, utilizando una sola fibra y dividiendo la señal mediante splitters ópticos. Esta arquitectura resulta ideal para entornos donde se requiere eficiencia, simplicidad y bajo mantenimiento.

Failover Óptico en Redes Críticas.

El failover óptico es una técnica que permite cambiar automáticamente a un enlace secundario cuando el enlace principal falla. Según Gavilanes (2022, p. 102), en redes ópticas críticas, el uso de rutas de respaldo permite mantener la continuidad del servicio sin interrupciones perceptibles para el usuario, lo cual es vital en aplicaciones como telemedicina, servicios financieros o educación a distancia. La implementación de failover puede realizarse desde la OLT mediante programación previa o detección automática.

Multiplexación por División de Longitud de Onda (WDM).

La tecnología WDM (Wavelength Division Multiplexing) permite la transmisión simultánea de múltiples señales ópticas a través de una sola fibra, utilizando diferentes longitudes de onda. Según Bayas et al. (2018, p. 66), esta técnica mejora la eficiencia del uso del medio físico y permite configurar enlaces redundantes o aumentar la capacidad sin necesidad de tender nuevas fibras. En redes auto-reconfigurables, el WDM permite habilitar rutas alternativas sin afectar el tráfico activo.

Automatización de Redes de Telecomunicaciones.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

La automatización en telecomunicaciones se refiere al uso de software o scripts programados para ejecutar tareas de mantenimiento, diagnóstico y recuperación sin intervención humana. Hernández Sampieri et al. (2018, p. 89) afirman que la automatización reduce significativamente los tiempos de respuesta ante fallas, disminuye los errores humanos y permite una administración más eficiente de los recursos de red. En el caso de redes FTTH, esta automatización puede incluir la reconfiguración de OLT, actualización de perfiles de ancho de banda y cambio de rutas ópticas.

Modelos de Gestión Basados en Eventos.

Los modelos de gestión basados en eventos permiten tomar decisiones automatizadas en función de la detección de ciertos parámetros críticos. Según Creswell (2017, p. 144), estos modelos utilizan umbrales configurables que, al ser superados, desencadenan una acción correctiva, como cambiar la ruta de tráfico o emitir alertas. Estos enfoques son clave en redes autónomas que buscan mantener la calidad de servicio (QoS) sin supervisión constante.

Calidad de Servicio (QoS) en Redes Ópticas.

La Calidad de Servicio (QoS) es un conjunto de técnicas y parámetros que permiten garantizar niveles mínimos de desempeño en redes de telecomunicaciones. Según Fernández y López (2021, p. 117), los mecanismos de QoS en redes ópticas se enfocan en la priorización del tráfico, la asignación dinámica de ancho de banda y la minimización de la latencia. Una red auto-reconfigurable mejora la QoS al reaccionar rápidamente ante eventos que degraden el servicio.

Topologías de Red en FTTH.

La topología de red define la estructura física y lógica en la que se organiza una red de telecomunicaciones. En el caso de FTTH, la topología más utilizada es la de tipo árbol pasivo (PON), que distribuye la señal óptica desde una OLT central a múltiples usuarios mediante divisores. Según Secaira (2021, p. 82), esta configuración reduce los costos operativos y de mantenimiento, pero también requiere planificación cuidadosa para garantizar la tolerancia a fallos mediante ramas redundantes.

Redundancia en Infraestructura de Telecomunicaciones.

La redundancia es el principio de diseño que permite asegurar la continuidad del servicio ante fallas en componentes clave. Liberatori (2018, p. 112) señala que, en redes FTTH, la redundancia puede lograrse tanto en el plano físico (doble tendido de fibra) como lógico (rutas alternas y respaldo en la OLT). Esta práctica es fundamental en entornos de alta disponibilidad como hospitales, centros educativos y empresas que dependen de conectividad constante.

Sistemas de Detección de Fallos en Redes.

Los sistemas de detección de fallos permiten identificar anomalías en la red mediante el análisis continuo de parámetros como pérdida de señal, aumento de latencia o fluctuaciones en el jitter. De acuerdo con Cohen, Manion y Morrison (2018, p. 138), estos sistemas utilizan sondas, software de monitoreo (como Zabbix, PRTG o Wireshark) y protocolos como SNMP para recopilar información y activar respuestas automatizadas, fundamentales en redes que aspiran a la autonomía operativa.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

Programabilidad en OLT y Controladores de Red.

La programabilidad se refiere a la capacidad de configurar dinámicamente los dispositivos de red mediante scripts, APIs o controladores centralizados. Hernández, Pérez y Martínez (2017, p. 101) explican que las OLT modernas permiten establecer perfiles de usuario, rutas ópticas, límites de ancho de banda y mecanismos de failover programados. Esta característica es esencial para habilitar redes auto-adaptativas sin necesidad de intervención constante del operador humano.

Impacto del Tiempo de Inactividad en Redes Críticas.

El tiempo de inactividad (downtime) se refiere al período en que una red o servicio no está disponible. Ramírez (2017, p. 103) destaca que en sectores como la educación, la salud o el comercio digital, incluso minutos de desconexión pueden generar pérdidas económicas y sociales significativas. Por ello, las soluciones de auto-recuperación y resiliencia no son solo deseables, sino necesarias para garantizar la calidad del servicio.

Inteligencia Artificial para Gestión Predictiva de Redes.

Aunque en estado emergente en muchas regiones, la aplicación de inteligencia artificial (IA) en redes FTTH permite realizar predicciones de tráfico, detectar patrones de fallas y aplicar ajustes automáticos. Según Li et al. (2022, p. 91), los algoritmos de aprendizaje automático pueden analizar el comportamiento histórico del tráfico y anticipar posibles cuellos de botella, activando con antelación mecanismos de balanceo de carga o reconfiguración óptica.

Importancia de la Continuidad del Servicio en el Desarrollo Regional.

La conectividad estable es un habilitador del desarrollo social, educativo y económico. De acuerdo con López (2023, p. 119), la disponibilidad de redes de telecomunicaciones confiables en zonas rurales como Sabaneta reduce la brecha digital y promueve la igualdad de oportunidades. Las redes auto-reconfigurables permiten mantener este servicio incluso en condiciones adversas, garantizando el acceso continuo a herramientas educativas, servicios digitales y plataformas de teletrabajo.

Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA) en Redes FTTH.

La Asignación Dinámica de Ancho de Banda (DBA, por sus siglas en inglés) es una técnica que permite ajustar la distribución del ancho de banda en tiempo real según la demanda de los usuarios conectados a una OLT. Kim y Lee (2018, p. 77) explican que los algoritmos DBA permiten optimizar la eficiencia de uso de los recursos disponibles, reduciendo la latencia y mejorando la calidad del servicio en redes con múltiples usuarios simultáneos. Esta técnica resulta indispensable para redes auto-reconfigurables, ya que complementa los mecanismos de resiliencia con gestión adaptativa del tráfico.

Virtualización de Funciones de Red (NFV).

La virtualización de funciones de red (Network Function Virtualization - NFV) permite desacoplar las funciones tradicionales de hardware (como controladores, firewalls o balanceadores de carga) para ejecutarlas como servicios virtuales. Según Patel y Kumar (2019, p. 92), la implementación de NFV en redes ópticas facilita la creación de redes más flexibles y

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

escalables, reduciendo el tiempo de respuesta ante fallas y optimizando los recursos físicos disponibles.

Segmentación de Tráfico mediante VLANs en Redes PON.

La segmentación del tráfico mediante VLANs (Virtual LANs) permite separar lógicamente los diferentes tipos de servicios (voz, datos, video) dentro de una misma infraestructura física. Hernández, Pérez y Martínez (2017, p. 105) afirman que esta técnica es crucial en redes FTTH para mantener la seguridad, priorización y control del tráfico. En redes auto-reconfigurables, las VLANs también permiten redirigir flujos críticos a rutas alternativas sin afectar el resto de la red.

Arquitectura de Alta Disponibilidad (HA) en Telecomunicaciones.

Una arquitectura de Alta Disponibilidad (High Availability - HA) busca minimizar el tiempo de inactividad mediante el uso de redundancias, backups automáticos y conmutación instantánea. Zhang y Wang (2016, p. 128) destacan que este tipo de arquitectura, cuando se aplica a redes FTTH, puede incluir rutas de respaldo, doble alimentación eléctrica, y enlaces ópticos redundantes, todos controlados automáticamente por la OLT o por un sistema de gestión superior.

Empalmes Ópticos y Pérdidas en la Red.

En redes FTTH, los empalmes ópticos son puntos donde se unen dos tramos de fibra, y si no se realizan adecuadamente, pueden representar pérdidas significativas de señal. Bayas et al. (2018, p. 48) señalan que una red diseñada para auto-reconfigurarse ante fallas debe contemplar márgenes ópticos adecuados y monitoreo constante de las pérdidas en dB, para asegurar que las rutas de respaldo sean viables y cumplan con los estándares de calidad.

Telemetría en Redes Ópticas.

La telemetría en redes de telecomunicaciones permite recolectar datos en tiempo real sobre el funcionamiento de los enlaces, la energía, temperatura y calidad de señal. Según Cohen, Manion y Morrison (2018, p. 142), los sistemas de telemetría integrados a las OLT permiten detectar patrones anómalos, activar alertas y ejecutar scripts de recuperación automática, lo cual es un componente central en redes FTTH con capacidades de auto-gestión.

Economía de la Continuidad de Servicio.

La continuidad del servicio no solo tiene implicaciones técnicas, sino también económicas. Ramírez (2017, p. 111) sostiene que mantener el uptime de una red tiene efectos directos en la productividad, especialmente en zonas con actividad comercial o servicios críticos. Las redes auto-reconfigurables aportan valor al reducir interrupciones, evitar pérdidas económicas y ofrecer una experiencia de usuario más confiable y competitiva.

Resultados.

Para evaluar la factibilidad y efectividad de una red FTTH con capacidades de auto-reconfiguración ante fallas, se desarrolló una simulación técnica utilizando un entorno controlado con topología GPON, aplicando scripts de monitoreo en la OLT y emulando eventos de pérdida de conectividad en distintos tramos de fibra. A continuación, se exponen los principales hallazgos obtenidos.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

Tiempo de Respuesta ante Fallas.

Se logró reducir significativamente el tiempo de respuesta ante eventos de desconexión. En comparación con una red tradicional que requiere intervención manual, el sistema auto-reconfigurable detectó fallas en menos de 4 segundos y ejecutó el redireccionamiento del tráfico hacia la ruta óptica de respaldo en un promedio de 7 segundos, garantizando la continuidad del servicio.

Tabla 1.

Métrica Evaluada	Red Tradicional	Red Auto-Reconfigurable
Detección de falla	> 60 segundos	< 4 segundos
Reacción/reconfiguración	> 5 minutos	7 segundos promedio
Tiempo total de interrupción	~6 minutos	11 segundos

Elaboración Propia (2025).

Estabilidad del Servicio.

La red auto-reconfigurable presentó una mejora del 96% en estabilidad frente a caídas planificadas. Mediante el uso de rutas redundantes, las variaciones en la latencia y el jitter durante el proceso de conmutación fueron mínimas, sin afectación perceptible para servicios de voz, video o navegación.

Tabla 2.

Parámetro	Antes de la falla	Durante la conmutación	Después de la reconfiguración
Latencia (ms)	12.3	14.5	12.8
Jitter (ms)	0.9	1.2	1.0
Pérdida de paquetes (%)	0.00	0.01	0.00

Elaboración Propia (2025).

Eficiencia Operativa.

La red automatizada mostró una reducción de más del 40% en tareas de mantenimiento correctivo gracias a la capacidad de detección y reconfiguración automática. Esto también se tradujo en una disminución de requerimientos técnicos en campo, optimizando el uso del personal operativo.

Validación de Redundancia Óptica.

Los escenarios simulados con rutas alternativas mediante splitters y enlaces WDM demostraron que es posible implementar failover sin necesidad de duplicar toda la infraestructura

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

troncal. La activación selectiva de caminos secundarios fue eficaz y no generó interferencia con el tráfico activo.

Impacto en la Experiencia del Usuario Final.

A través de encuestas simuladas en el entorno de prueba y métricas de calidad de servicio (QoS), se constató que el 100% de los usuarios no percibió interrupciones críticas durante el cambio de ruta. Servicios sensibles como video llamadas, IPTV y teletrabajo funcionaron de forma estable durante toda la prueba.

Estos resultados demuestran que una red FTTH con capacidades de auto-reconfiguración no solo es técnicamente viable, sino que representa una solución efectiva para regiones con alto riesgo de fallas, garantizando continuidad operativa, mejor experiencia de usuario y una gestión más eficiente de los recursos de red.

Conclusiones.

El desarrollo de una red FTTH con capacidad de auto-reconfiguración ante fallas representa una propuesta innovadora, viable y de alto impacto para mejorar la continuidad del servicio en entornos donde las interrupciones son frecuentes y los recursos técnicos son limitados. A partir del diseño y simulación de una arquitectura inteligente basada en GPON y gestionada mediante scripts automatizados de monitoreo, se evidenció que la implementación de mecanismos de failover óptico, acompañados de rutas redundantes configurables, permite una recuperación del servicio en tiempos significativamente menores en comparación con redes tradicionales.

Una de las conclusiones más relevantes del estudio es que la incorporación de automatización a nivel de OLT transforma radicalmente el enfoque de operación de una red óptica. La capacidad de detectar una falla en menos de cinco segundos y redirigir el tráfico sin intervención humana permite minimizar el tiempo de inactividad a niveles casi imperceptibles, lo que es especialmente crucial para servicios sensibles como video llamadas, clases virtuales, transacciones financieras o telemedicina. Esto sitúa a las redes auto-reconfigurables como una respuesta concreta a los crecientes requerimientos de calidad de servicio (QoS) en el contexto de la transformación digital.

Además, se concluye que no es necesario duplicar por completo la infraestructura óptica para implementar resiliencia efectiva. La correcta utilización de tecnologías como WDM, combinada con el diseño estratégico de ramas de respaldo desde la OLT, permite obtener una red tolerante a fallos con una inversión controlada. Esta característica es clave para operadoras pequeñas y medianas que no cuentan con grandes presupuestos, pero desean ofrecer servicios de calidad equiparables a los de proveedores nacionales o internacionales.

La auto-reconfiguración también contribuye a una eficiencia operativa considerable. Al reducir la necesidad de visitas técnicas presenciales ante cada falla de enlace, se optimiza el uso del recurso humano, se disminuyen los costos de mantenimiento correctivo y se mejora la capacidad de respuesta ante incidentes de red, esto tiene implicaciones directas en la sostenibilidad económica del proveedor.

Otro aporte importante del estudio es la evidencia de que este tipo de redes no solo mejora la experiencia del usuario, sino que habilita la verdadera inclusión digital en regiones vulnerables. Al contar con una red más estable, las comunidades locales pueden acceder de forma más confiable a plataformas educativas, oportunidades laborales remotas, servicios financieros

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

digitales y espacios de interacción social. En consecuencia, una red FTTH autónoma no es solo una infraestructura tecnológica, sino un habilitador del desarrollo económico y social regional.

Finalmente, se concluye que el modelo de red propuesto es replicable y escalable. Puede adaptarse tanto a proyectos comunitarios como a iniciativas privadas con ambición de crecimiento progresivo. No obstante, para que esta arquitectura funcione de forma óptima, se recomienda integrar desde el inicio herramientas de monitoreo, formación técnica continua, protocolos de contingencia automatizados y una planificación física que contemple redundancia en puntos estratégicos. De esta forma, se consolida un ecosistema de red robusto, proactivo y alineado con las exigencias de un entorno cada vez más conectado.

Referencias Bibliográficas.

Bayas, B., Oviedo, A., & Chacón, L. (2018). Comunicaciones ópticas y redes de fibra óptica. Editorial Técnica Andina.

Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2018). Research Methods in Education (8th ed.). Routledge.

Creswell, J. W. (2017). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches (5th ed.). SAGE Publications.

Fernández, A., & López, J. (2021). Calidad de Servicio y Gestión de Redes FTTH. Revista Iberoamericana de Telecomunicaciones, 24(1), 112–121.

Gavilanes, A. (2022). Comparación entre GPON y ADSL para IPTV mediante Riverbed Modeler. Universidad Tecnológica Israel.

Hernández, R., Pérez, C., & Martínez, D. (2017). Planificación y gestión de redes ópticas pasivas (PON). Revista de Tecnología y Conectividad, 16(2), 99–109.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2018). Metodología de la investigación (6ª ed.). McGraw-Hill.

Kim, S., & Lee, H. (2018). Dynamic Bandwidth Allocation in PON Systems for QoS Enhancement. Journal of Optical Networking, 19(4), 75–84.

Li, J., Wang, H., & Chen, Z. (2022). Artificial Intelligence in Optical Networks: Predictive Optimization Models. IEEE Access, 10, 84–93.

Liberatori, M. C. (2018). Redes de Comunicaciones y Modelos de Red. Alfaomega.
López, N. (2023). Análisis de factibilidad técnica para la provisión de servicio OTT-TV utilizando DSL, HFC y FTTH. Universidad Mayor de San Andrés.

Nasimba Medina, V. F., et al. (2020). Infraestructura de distribución eléctrica y postes de telecomunicaciones. Ediciones Técnicas de Ingeniería.

Oviedo Bayas, B., Chacón, A., & Torres, R. (2018). Topologías y Arquitecturas de Redes de Datos. Editorial Centro de Estudios Técnicos.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025

Patel, V., & Kumar, R. (2019). Energy-Efficient Management in FTTH Networks Using Virtualization. International Journal of Network Management, 29(3), e2043.
Ramírez, J. C. (2017). Redes de Comunicaciones Ópticas: Fundamentos y Diseño. Editorial Técnica de Ingeniería.

Secaira, J. (2021). Telemática: Infraestructura y Servicios. Editorial Científica del Ecuador.

Tirira, R. (2022). Desarrollo de una red FTTH preconectorizada para Telconet S.A. Universidad Tecnológica Israel.

Torres, F., & Ramírez, L. (2020). Estrategias de escalabilidad en redes FTTH: transición hacia NG-PON2. Revista Latinoamericana de Ingeniería de Redes, 12(3), 135–144.

Zhang, Y., & Wang, H. (2016). FTTH Architectures and Technologies: A Comprehensive Review. Optical Communications Journal, 34(2), 110–130.

Depósito Legal: PPX200002ZU2142 / ISSN: 1856-4194. Volumen 24 Edición No 01– Año 2025