

Optimización de la red GPON en un cantón urbano

Optimization of the GPON Network in an Urban Canton

José David Vera Rivera ¹

david_4485@hotmail.com

¹ Universidad Tecnológica Empresarial de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador, 090616

Citación: Vera Rivera, J. D. (2026). Optimization of the GPON Network in an Urban Canton. *EKSIGMA*, 2(2), 6-25. <https://eksigma.com/index.php/principal/article/view/25>

Recibido: 26 febrero 2026

Aceptado: 28 abril 2026

Publicado: 15 mayo 2026

EKSIGMA

ISSN: 3121-2689

Resumen: La presente investigación aborda la creciente demanda de conectividad en zonas urbanas, donde persisten limitaciones en cobertura, estabilidad y calidad del servicio de Internet. El objetivo es optimizar la red GPON de la CNT EP en un cantón urbano, mediante el análisis de su infraestructura, rendimiento y gestión. Se aplicó una metodología de enfoque mixto, con diseño descriptivo y transversal, que combinó recolección documental, observación técnica, encuestas a usuarios y una entrevista al encargado y administrador de la red. Los resultados evidenciaron saturación de splitters, pérdidas ópticas elevadas, falta de reservas en la red y deficiencias de cobertura en sectores de expansión. Como respuesta, se propuso el rediseño de la topología, redistribución de divisores ópticos, ampliación de la red, incorporación de reservas y herramientas de monitoreo proactivo. Se concluye que la optimización técnica mejora la escalabilidad y confiabilidad del servicio, recomendándose su implementación progresiva y la extensión futura del modelo a una muestra más amplia.

Palabras clave: fibra óptica; red de telecomunicaciones; desarrollo urbano; planificación

Correspondencia:

david_4485@hotmail.com



Copyright © 2026. Los autores conservan los derechos de autor y los derechos de publicación. Asimismo, otorgan a EKSIGMA el derecho no exclusivo de primera publicación. Este es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

Abstract: This research addresses the growing demand for connectivity in urban areas, where limitations in coverage, stability, and quality of Internet service persist. The objective is to optimize CNT EP's GPON network in an urban canton through an analysis of its infrastructure, performance, and management. A mixed-method methodology with a descriptive and cross-sectional design was applied, combining documentary review, technical observation, user surveys, and an interview with the network manager and administrator. The results revealed splitter saturation, high optical losses, lack of network reserves, and coverage deficiencies in expansion sectors. In response, the study proposes a topology redesign, redistribution of optical splitters, network expansion, incorporation of reserves, and proactive monitoring tools. It is concluded that technical optimization improves service scalability and reliability; therefore, progressive implementation and future extension of the model to a broader sample are recommended.

Keywords: optical fiber; telecommunications network; urban development; planning.

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el acceso a Internet de alta velocidad ha dejado de ser un privilegio convirtiéndose en una necesidad vinculada al desarrollo social, económico y educativo de la población. En Ecuador, aunque el acceso a los servicios digitales ha aumentado en los últimos años, aún persisten desigualdades en la calidad, estabilidad y velocidad del servicio, especialmente en zonas urbanas en crecimiento como el cantón Esmeraldas. Según datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2024), apenas el 66 % de los hogares urbanos accede a Internet fijo de banda ancha, y de ese porcentaje, muchos lo hacen mediante tecnologías limitadas como ADSL o cable coaxial. Esta situación representa un obstáculo para la inclusión digital, el desarrollo productivo y la equidad social.

Frente a este escenario, las redes GPON (Gigabit Passive Optical Network) se perfilan como una solución tecnológica de alta eficiencia y sostenibilidad. Su arquitectura permite distribuir servicios de voz, datos y video mediante fibra óptica desde una unidad central (OLT) hasta múltiples usuarios, usando divisores pasivos que no requieren alimentación eléctrica intermedia (Shabaneh & Melhem, 2022; Shabaneh, 2020).

Además, cuando se implementa una red GPON bajo esquemas FTTH (Fiber To The Home), la fibra óptica llega directamente al hogar del usuario, asegurando una calidad de servicio superior y más consistente. Estudios recientes refuerzan esta ventaja al demostrar que este tipo de redes no solo destacan por su desempeño técnico, sino también por su sostenibilidad ya que consumen entre 56 y 88 kWh por conexión al año, lo cual se encuentra muy por debajo del consumo energético de alternativas como xDSL y ofrecen un ancho de banda hasta 12 veces mayor (Adhi, 2022).

No obstante, en cantones como Esmeraldas, persisten desafíos significativos para lograr una conectividad óptima. A pesar de su carácter urbano, muchas zonas del cantón enfrentan limitaciones estructurales en la red, altos niveles de latencia y escasa cobertura en sectores de expansión. Según el INEC (2023), menos del 65 % de los hogares de Esmeraldas acceden a Internet fijo con velocidades adecuadas.

A partir de este contexto, se plantea como pregunta central de la investigación: ¿De qué manera una red GPON optimizada puede contribuir a mejorar la calidad de vida en un entorno urbano como el cantón Esmeraldas?

En este sentido, el objetivo del estudio es proponer estrategias de optimización para la red GPON de la CNT EP en el cantón Esmeraldas, mediante un análisis técnico de su infraestructura, el rendimiento actual del sistema y las posibilidades de mejora en la gestión de recursos. El documento se estructura en cinco apartados: una revisión teórica sobre redes ópticas y GPON; la metodología aplicada al diagnóstico de red; el análisis de los resultados obtenidos; la propuesta técnica de mejora; y finalmente, una discusión sobre las implicaciones técnicas, sociales y económicas de su implementación.

2. DESARROLLO

El desarrollo urbano se encuentra estrechamente vinculado a la disponibilidad de infraestructuras digitales robustas, es así como, las redes de acceso representan el vínculo entre los proveedores de servicios y el usuario final, desempeñando un papel relevante en la inclusión digital. Sin embargo, en ciudades intermedias (Adjanohoun et al., 2025), persisten limitaciones en términos de cobertura, velocidad y calidad del servicio, lo que amplía la brecha digital. En este sentido, la tecnología GPON ha emergido como una alternativa eficaz para responder a estas necesidades (Conde-Zhingre et al., 2018). A continuación, se analizan los fundamentos técnicos de esta tecnología, sus principios de funcionamiento, así como su planificación, eficiencia energética y aplicaciones en contextos reales como el del cantón Esmeraldas.

La base conceptual de este trabajo se sustenta en la arquitectura de las redes ópticas pasivas (PON) y su evolución hacia sistemas de alta capacidad como GPON.

Redes Ópticas Pasivas (PON)

Estas redes representan un cambio de paradigma frente a tecnologías tradicionales como ADSL o HFC, como una alternativa eficiente para la distribución de servicios de telecomunicaciones sin el uso de componentes activos en el canal de distribución (Ramadan et al., 2024). Este diseño está basado en componentes ópticos que no solo requieren alimentación eléctrica, sino que además, permiten la transferencia de señales digitales mediante fibra óptica, sin necesidad de equipos activos en el recorrido, lo cual reduce el consumo energético y los costos de mantenimiento. Esta arquitectura es ideal para despliegues de última milla (Arya et al., 2024; Garzón et al., 2021).

GPON: Arquitectura y Principio de Funcionamiento

La tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network) constituye una evolución de las redes PON, diseñada para ofrecer altos niveles de eficiencia y velocidad. Una red GPON se compone de una unidad terminal óptica en la central (OLT), divisores pasivos (splitters) y unidades de red óptica en los hogares (ONT). Esta configuración permite la transmisión de hasta 2.488 Gbps en sentido descendente y 1.244 Gbps en sentido ascendente (Abdellaoui et al., 2021; Lu et al., 2024; Shabaneh & Melhem, 2022).

FTTH: Fibra hasta el Hogar

Uno de los elementos que resaltan de la arquitectura GPON es su integración con el modelo FTTH (Fiber to the home), que permite que la fibra óptica llegue directamente al hogar del usuario final. Putra et al., (2022) y Ali et al. (2021) mencionan que FTTH presentan ventajas superiores a las redes híbridas o coaxiales, ya que garantiza mayor ancho de banda, estabilidad y menor latencia; siendo ideal para aplicaciones sensibles como videoconferencias, telemedicina o educación virtual.

Diseño y Planificación de Redes GPON

Topologías: Estrella y Cascada

El diseño de una red GPON está relacionado con su topología. La configuración centralizada (estrella) facilitan el mantenimiento, pero requieren mayor uso de fibra; por otra parte, la topología distribuida (cascada) permite optimizar la infraestructura, especialmente en entornos urbanos con limitaciones geográficas o presupuestarias, pero con alta densidad de usuarios, ya que optimiza el tendido de fibra (ITU-T, 2023).

Split Ratio y Presupuesto Óptico

Unas de las variables indispensables en el diseño de redes GPON es el ratio de división (split ratio), ya que una proporción de 1:32 permite mantener una buena calidad de servicios en zonas densas, mientras que, 1:64 es útil en sectores con mayor demanda (Wei & Lazaro, 2024). La recomendación G.984.2 de la ITU-T establece un presupuesto máximo de pérdida de 28 dB (clase B+) para asegurar un funcionamiento confiable, considerando atenuaciones por distancia, conectores y splitters (Quisnancela & Espinosa, 2016). En esta misma línea, Abdellaoui et al. (2021) indica que, no considerar este parámetro podría provocar saturación de servicios y degradación de señal.

Eficiencia Energética y Sostenibilidad

Uno de los argumentos más sólidos para la implementación de GPON es su rendimiento energético. De acuerdo con Adhi (2021), su consumo anual por conexión es de 56 a 88 kWh en comparación a los 200 kWh de tecnologías como xDSL. Esta ventaja posiciona a GPON en una opción compatible con objetivos de sostenibilidad energética y políticas públicas de reducción de emisiones de carbono en infraestructura pública (Shafik, 2024).

Gestión Inteligente de Redes GPON

La gestión de redes GPON influye directamente en la capacidad de adaptación y mantenimiento la infraestructura de una red, en este sentido, la implementación de herramientas de monitoreo proactivo permite anticipar fallos, optimizar recursos y mejorar la experiencia del usuario. Según Shabaneh (2020) y Demirdöğen et al. (2022), las plataformas de gestión inteligente han reducido en un 30% las interrupciones en redes ópticas, mejorando indicadores de disponibilidad y satisfacción.

Aplicaciones en Entornos Urbanos

El despliegue de redes GPON en ciudades intermedias permite impulsar procesos de transformación digital a través de servicios más robustos y estables, cerrar brechas de acceso y habilitar servicios públicos más eficientes (Adjanohoun et al., 2025). En un cantón donde se combinan tanto zonas de alta densidad como sectores de expansión, la aplicación de un diseño optimizado de red GPON como indica Wei & Lazaro (2024) permitiría extender el alcance de cobertura hacia nuevas zonas, reducir la saturación de nodos existentes e integrar servicios públicos inteligentes como videovigilancia teleeducación o e-Salud.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue de tipo mixto ya que combina métodos cualitativos y cuantitativos. El enfoque mixto se justifica con base en Faneite (2023) ya que, por un lado, el enfoque cuantitativo permitió medir objetivamente el rendimiento de la red GPON mediante encuestas estructuradas a los usuarios y mediciones técnicas sobre la velocidad, latencia y confiabilidad del servicio. Por otro lado, el enfoque cualitativo permitió la comprensión profunda de la percepción de los usuarios y el técnico de la red, a través del análisis documental, la observación directa y la entrevista semiestructurada al encargado técnico de CNT EP.

Se enmarcó en un diseño metodológico no experimental, ya que no se realizó manipulación de las variables; en cambio se observó y analizó el comportamiento de la red GPON de manera orgánica, verificando su estado actual sin intervenir en la estructura de la red. Este enfoque se justifica en la necesidad de analizar un fenómeno como se desarrolla en un contexto natural, sin alteración de sus características (Miles et al., 2014)

El alcance de la investigación fue descriptivo, ya que de acuerdo con Deckert & Wilson, (2023) este tipo de alcance permite conocer detalladamente las características del objeto de estudio; en este sentido se detalló el diagnóstico del estado actual de la infraestructura y el rendimiento de la red GPON de la CNT EP en el cantón Esmeraldas, comprendiendo con precisión sus características, limitaciones y desempeño.

Se utilizó la inducción para el análisis del rendimiento y las limitaciones actuales para la propuesta de soluciones de optimización; esto se realizó, a partir de la observación de los datos y el diagnóstico de la infraestructura de la red GPON. En esta misma línea la deducción permitió la aplicación de teorías y principios analizados de la literatura científica sobre redes ópticas y GPON para la evaluación de la infraestructura que manejaban actualmente y así se logró prever posibles soluciones tecnológicas.

Por último, la investigación fue de corte transversal, ya que se llevó a cabo en un periodo de tiempo comprendido entre marzo a junio de 2025.

Para la parte cualitativa se utilizó la recolección documental (Miles et al., 2014) a través del análisis de informes técnicos de la red GPON de la CNT EP, que incluyó detalles sobre la infraestructura instalada, el rendimiento histórico de la red y registros de mantenimiento. También, para la verificación del estado físico y la capacidad de expansión de elementos como OLT, ONT y divisores ópticos (Anexo 1) se utilizó la observación directa en campo (Miles et al., 2014). Además, se llevó a cabo una entrevista semiestructurada al técnico responsable y administrador de la red CNT EP que permitió identificar limitaciones operativas y posibles áreas de mejora desde una perspectiva técnica (Anexo 3).

En cuanto a la parte cuantitativa, se aplicó una encuesta estructurada a los usuarios de la red GPON de la CNT EP para evaluar el nivel de satisfacción con respecto al servicio recibido (Anexo 2). Se utilizó como instrumento un cuestionario con seis preguntas cerradas con escala de Likert. Los datos obtenidos de las preguntas cerradas de la encuesta y las mediciones técnicas se analizaron mediante estadística descriptiva utilizando el software Excel. Este proceso incluyó el cálculo de promedios para las variables velocidad

de la red, latencia y confiabilidad. Asimismo, el cálculo de desviaciones estándar para determinar la variabilidad de los datos. Finalmente, se determinó la frecuencia y el porcentaje de respuestas de las encuestas para poder identificar los patrones en la satisfacción de los usuarios. A su vez, el análisis cualitativo se centró en las respuestas abiertas obtenidas de la entrevista semiestructurada, siguiendo el proceso de análisis de contenido para los datos (Miles et al., 2014). Las acciones realizadas fueron la Transcripción de las entrevistas, la codificación de las categorías relacionadas con la experiencia de los usuarios (problemas de conexión, alta satisfacción con la velocidad y sugerencias de mejora) e interpretación para la relación de los resultados con las mediciones cuantitativas obtenidas.

Los instrumentos fueron diseñados con base en la literatura científica analizada sobre redes GPON y adaptados a las necesidades específicas del estudio. Se realizó una validación preliminar de los instrumentos (encuesta de satisfacción del usuario, guía de observación técnica, guía de entrevista estructurada) mediante validación por juicio de expertos (encargado de la infraestructura de la CNT EP en el cantón Esmeraldas, técnico especializado en redes GPON), para asegurar la pertinencia de las preguntas como indica Lu et al. (2024).

En este estudio se consideró como población a los usuarios de la red GPON de la CNT EP en el cantón Esmeraldas, así como la infraestructura de la red que incluyó las unidades terminales ópticas (OLT), diversos pasivos (splitters) y unidades de red óptica (ONT), instalados en el cantón. Se utiliza una muestra no probabilística intencional, considerando como criterios de inclusión, la disponibilidad y accesibilidad de los usuarios que utilizan la red y usuarios con servicio completo que tengan acceso a todas las capacidades de la red GPON. Como criterio de exclusión se determinó a los hogares que tuvieran una conexión inestable o interrumpida por fallos técnicos; esto aseguró que las mediciones de rendimiento fueran precisas. La muestra final fue de 20 hogares (usuarios) que utilizan la red, en una distribución geográfica diversa para asegurar la representatividad tanto de zonas de alta densidad como zonas de expansión dentro del cantón Esmeraldas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El diagnóstico inicial se desarrolló mediante la combinación de análisis documental, observación técnica directa (Anexo 1) y entrevistas semiestructuradas a personal de CNT EP (Anexo 3). La documentación técnica incluyó informes de despliegue de la red, planos de distribución, feeder y dispersión, así como el procedimiento oficial para la recepción de redes de fibra óptica GPON.

A partir de este análisis, se identificó el uso predominante de una arquitectura en cascada, con splitters 1:8 y 1:16. De acuerdo con Abdellaoui et al. (2021), esta topología presenta limitaciones, especialmente en zonas de expansión y en sectores con una creciente demanda de conectividad que, aunque es eficiente en términos de costos y espacio en áreas de alta densidad, no está diseñada para un crecimiento sostenido de usuarios. Además, se evidenció una alta ocupación de la red troncal de 144 hilos, especialmente en

la zona centro, donde la capacidad disponible está por debajo del 15%, incumpliendo las recomendaciones técnicas que exigen al menos un 20% de reserva (ITU-T, 2023).

Por último, se constató la ausencia de reservas ópticas en varios tramos de la red de distribución y feeder, lo que contradice los lineamientos establecidos en ITU-T (2023) y Putra et al. (2022), que recomiendan mínimo 15 metros de reserva por punta de cable y 30 metros en los tramos sangrados.

4.1 Resultados de la observación directa en zonas del cantón

Se realizaron 20 recorridos de observación directa en distintas zonas del cantón Esmeraldas, siguiendo los criterios establecidos en la Guía de Observación Técnica (Anexo 1). Se identificaron aspectos que reflejan el estado actual de la red como se presenta en la Tabla 1. Esto evidenció deficiencias técnicas que afectan su funcionamiento y proyección.

Tabla 1 Técnica de Observación Directa de la Red GPON en Esmeraldas

Aspecto Técnico Evaluado	Observaciones Técnicas Detectadas
Estado físico de OLT	Equipos OLT en condiciones aceptables
Condiciones de las Cajas de Distribución (NAP)	Deterioro en cajas NAP, principalmente en zonas expuestas; desgaste en conexiones mecánicas
Distribución y disponibilidad de ONT	Distribución eficiente en zonas urbanas consolidadas; limitada en sectores de expansión
Fijación e instalación de <i>splitters</i> ópticos	Deficiencias en la fijación, aumentando riesgo de pérdidas ópticas
Cobertura de señal en sectores periféricos	Cobertura baja en barrios periféricos y urbanizaciones nuevas no consideradas en el diseño inicial
Capacidad de expansión de la red	Limitaciones de expansión por saturación de ductos y escasa disponibilidad de reservas ópticas

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se aplicó la entrevista al técnico responsable y administrador de la red de CNT EP del cantón Esmeraldas, determinando que uno de los puntos claves que afecta el desempeño de la infraestructura es la saturación de los *splitters* 1:8 y 1:16, lo que ha generado pérdidas ópticas acumuladas que alcanzan hasta 24 dB, acercándose al límite máximo permitido de 25 dB entre la OLT y la ONT, según lo establecido en la normativa vigente. Además, se evidenció que la gestión de incidencias es reactiva, lo que complica la identificación temprana de fallas e incide directamente en la calidad del servicio.

Por último, el técnico confirmó que no existe, actualmente, un plan de ampliación, aunque existe un crecimiento sostenido de la demanda, sobre todo en los sectores de reciente urbanización.

El diagnóstico previo evidenció que la infraestructura actual de la red presenta limitaciones estructurales y operativas lo que coincide con Lu et al. (2024), que menciona que esto afecta el rendimiento y la capacidad de expansión de la red.

Seguidamente, se realizó un análisis combinado de los principales indicadores de rendimiento de la red GPON en Esmeraldas y la percepción de los usuarios respecto a la calidad del servicio, utilizando los registros técnicos proporcionados por CNT EP, así como la aplicación de encuestas estructuradas (Anexo 2).

Se recopilaron y analizaron en la Tabla 2 los indicadores de desempeño para evidenciar sus niveles de rendimiento, las limitaciones existentes y el grado de cumplimiento de los estándares establecidos por CNT EP.

Tabla 2 Indicadores técnicos de desempeño de la red GPON en el cantón Esmeraldas

Indicador Técnico	Valor Observado	Parámetro de Referencia CNT	Cumple Normativa
Pérdidas Ópticas Acumuladas (OLT - ONT)	Hasta 24 dB	≤ 25 dB	Límite superior
Atenuación Promedio por Km de Cable	0.35 dB/km	≤ 0.35 dB/km	Aceptable
Pérdidas por Fusión	0.12 dB promedio	≤ 0.10 dB	Excede límite
Pérdidas por Conector en campo	0.65 dB promedio	≤ 0.60 dB	Excede límite
Nivel de Saturación de splitters	Hasta 90% ocupación	$\leq 80\%$ recomendada	No cumple
Reservas ópticas disponibles	< 10 m en promedio	≥ 15 m recomendados	No cumple

Fuente: Elaboración propia

Los datos obtenidos evidenciaron que la red opera dentro de parámetros aceptables en cuanto a atenuación por kilómetro y pérdidas acumuladas, sin embargo, se evidencian problemas en las pérdidas por fusión y conectorización y una alta saturación de splitters. Estos resultados coinciden con lo señalado por Shabaneh & Melhem (2022) que destacan que, estas pérdidas deben mantenerse dentro de los límites estrictos para evitar la degradación de la señal y la latencia.

4.2 Resultados de la encuesta de satisfacción del usuario

Se aplicaron 20 encuestas a usuarios de distintos sectores del cantón Esmeraldas, donde se evidenciaron deficiencias en la percepción sobre el servicio GPON. Los resultados muestran que el 60% de los usuarios considera que la velocidad de conexión es

inadecuada, ya que la califican como lenta o muy lenta. Además, el 80% reporta que experimenta interrupciones frecuentes o permanentes en el servicio. En cuanto a la satisfacción, el 65% indica insatisfecho o muy insatisfecho con la estabilidad de la conexión, el 65% percibe que la red es poco o muy poco confiable y como consecuencia el 65% de los usuarios no recomendaría el servicio a otras personas calificando negativamente la atención al cliente de CNT EP.

Estos resultados, como se ilustra en la Figura 1, reflejan que las deficiencias en velocidad, estabilidad, confiabilidad y atención generan un nivel elevado de insatisfacción y desconfianza en los usuarios, lo que afecta la percepción y aceptación del servicio.

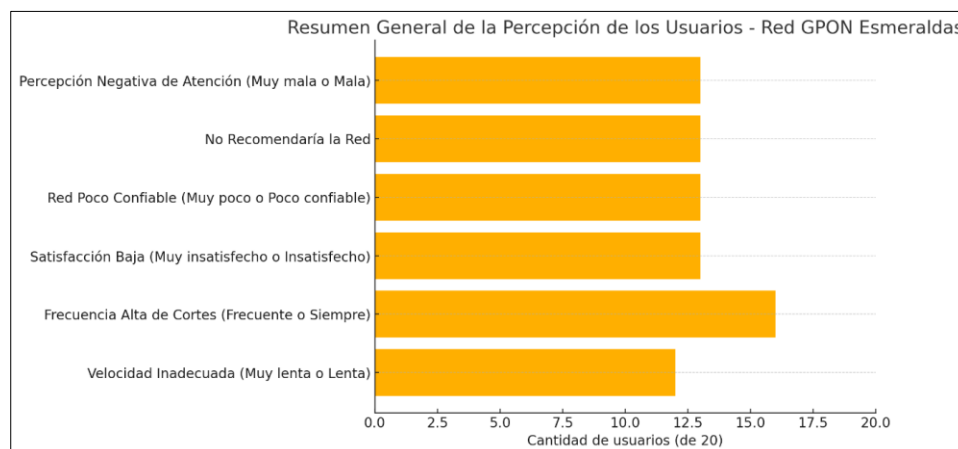


Figura 1 Percepción de los usuarios sobre el servicio GPON en Esmeraldas

Fuente: Elaboración propia

Los resultados de la encuesta revelan una tendencia clara, las deficiencias del servicio se acentúan en los sectores de expansión y urbanizaciones recientes; evidenciando una brecha entre las zonas urbanas consolidadas y los nuevos desarrollos. Esta situación sugiere que la red no ha sido dimensionada de forma proporcional al crecimiento urbano, generando como indica Pandey et al. (2022) una percepción negativa que podría afectar la aceptación y continuidad del servicio en áreas emergentes.

A partir del diagnóstico previo, se evidenciaron deficiencias relacionadas con saturación de elementos pasivos, ausencia de reservas ópticas, pérdidas acumuladas cercanas al umbral técnico permitido y una gestión de incidencias reactiva. Esto justifica la necesidad de una solución tecnológica integral que combine mejoras en la infraestructura física y la incorporación de herramientas avanzadas de monitoreo y gestión, conforme a los estándares internacionales de redes ópticas de última generación. Esto coincide con el enfoque de Zhang et al. (2022) en donde indica que, la implementación de reservas ópticas puede mitigar los riesgos asociados a los fallos de la red y garantizar la redundancia y la confiabilidad.

4.3 Diseño de la solución tecnológica propuesta

La optimización de la red GPON se plantea mediante un enfoque integral que aborda cuatro fases.

1. Optimización de la Arquitectura de Red: se propone la migración progresiva de la actual topología en cascada, la cual genera alta dependencia de puntos de concentración, hacia una configuración estrella en los sectores de expansión urbana. Paralelamente, se plantea la redistribución estratégica de los divisores ópticos (splitters), priorizando ratios 1:32 en las zonas urbanas consolidadas y 1:16 o 1:8 en sectores de crecimiento, para garantizar el equilibrio entre cobertura, eficiencia y calidad del servicio, conforme a la Recomendación ITU-T G.984.2 y la normativa técnica vigente de CNT EP.

2. Reforzamiento de la infraestructura óptica: se prevé la ampliación de la red en los sectores de mayor demanda, mediante la instalación de cables de 288, 576 o 864 fibras, asegurando una reserva técnica mínima del 20% de la capacidad instalada, en concordancia con las buenas prácticas de redes FTTH-GPON que coincide con lo mencionado por Abdellaoui et al. (2021) e ITU-T (2023). Adicionalmente, se contempla la implementación de reservas ópticas conforme al procedimiento de recepción de redes de la CNT EP, incorporando 15 metros de reserva en los extremos de los tramos de distribución y 30 metros en cables sangrados, para garantizar flexibilidad operativa y capacidad de expansión sin interrupciones.

3. Actualización de equipamiento activo y pasivo: la propuesta incluye la sustitución progresiva de los equipos OLT obsoletos por unidades de última generación, con capacidad de gestión avanzada, soporte optimizado para configuraciones de split ratios y monitoreo nativo de parámetros críticos de la red. Asimismo, se plantea la implementación de ONT compatibles con los estándares ITU-T G.984.x y G.988, dotadas de capacidades de autodiagnóstico, priorización de tráfico y soporte para servicios de alta demanda como videoconferencias y aplicaciones sensibles al retardo. Los estudios de Shabaneh & Melhem (2022) y Putra et al. (2022) coinciden en que estas funcionalidades permiten optimizar la gestión de la red en servicios sensibles al retardo y mejorar la experiencia del usuario.

4. Incorporación de herramientas avanzadas de gestión y monitoreo proactivo: para garantizar la eficiencia y sostenibilidad de la red, se plantea la integración de una plataforma centralizada de gestión (NMS/EMS), compatible con las especificaciones ITU-T y los sistemas operativos de CNT EP, que permitirá:

Monitoreo en tiempo real de indicadores clave como pérdidas ópticas, atenuación, saturación de puertos y degradación de la señal, empleando protocolos estándar como SNMP v3 y Netconf.

Gestión inteligente basada en analítica avanzada y algoritmos de predicción para anticipar las incidencias y la gestión de los recursos.

Automatización de alarmas y respuesta operativa mediante la configuración de umbrales técnicos conforme a ITU-T G.984.3, con alertas preventivas ante eventos críticos.

Integración con plataformas OSS/BSS, facilitando la gestión integral de recursos, planificación de expansiones y optimización de la experiencia del usuario.

Soporte a la escalabilidad de la red mediante herramientas de simulación de demanda, planificación de rutas ópticas y optimización de la infraestructura en sectores de mayor expansión poblacional.

La solución tecnológica diseñada, como se visualiza en la Figura 2 sigue las mejores prácticas recomendadas por la literatura académica y cumple con los estándares internacionales establecidos por la ITU-T. En este sentido, diversos autores refuerzan lo planteado, tal es el caso de Shabaneh & Melhem (2022) que destacan el uso de plataformas de monitoreo proactivo para una gestión más eficiente de la red, reduciendo las interrupciones y mejorando la fiabilidad del servicio mediante la detección anticipada de fallas. Además, Putra et al. (2022) subrayan la importancia de cumplir con los estándares G.984.x y G.988 para que la interoperabilidad y el rendimiento de las redes GPON sea adecuado, lo que respalda la necesidad de implementar herramientas de gestión inteligente para optimizar la distribución de recursos y asegurar la calidad del servicio. Finalmente, Abdellaoui et al. (2021) refuerzan la idea de que, la implementación de estas herramientas avanzadas, como el monitoreo en tiempo real y la gestión dinámica del tráfico, permite mejorar tanto la eficiencia operativa como la experiencia del usuario en redes de alta demanda, como la que se propone en este estudio.

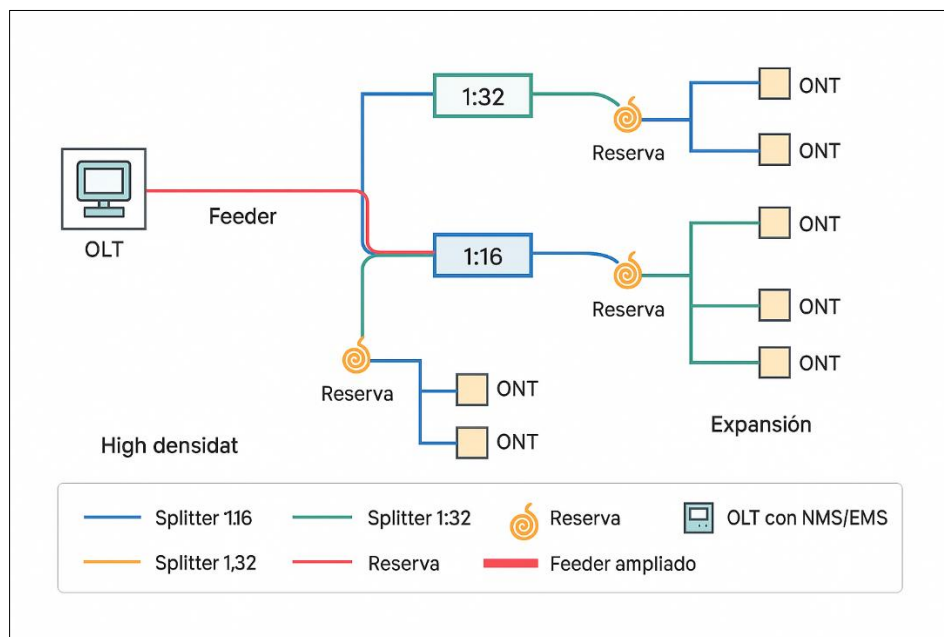


Figura 2 Diseño de la optimización de la red GPON de la CNT EP zona urbana Esmeraldas

Fuente: Elaboración propia

La Figura 2. Ilustra la optimización del diseño de la red GPON mediante una arquitectura que refleja las mejoras propuestas tanto a nivel de infraestructura como de gestión operativa. En este sentido, se observa la incorporación de un OLT de última generación

con capacidades de monitoreo NMS/EMS integradas, para la gestión centralizada y proactiva de la red. Desde el OLT, se refuerza el feeder principal mediante cables de mayor capacidad, representados en color rojo, garantizando reservas técnicas y proyección de expansión. La distribución de los splitters se ha rediseñado estratégicamente: en las zonas de alta densidad, se priorizó el uso de splitters 1:32, identificados con líneas verdes, optimizando la cobertura sin comprometer la calidad del servicio; mientras que en los sectores de expansión se configuraron splitters 1:16, ilustrados en color azul, permitiendo una mayor flexibilidad para futuras conexiones. Además, se incluyeron reservas ópticas en puntos estratégicos de la red, representadas con símbolos de espiral naranja, cumpliendo con los estándares de reserva técnica exigidos. Esta estructura permite una diferenciación clara entre los sectores consolidados y los de expansión, asegurando tanto la eficiencia operativa como la capacidad de crecimiento de la red GPON en el cantón Esmeraldas.

Metodología de implementación para la optimización y actualización de los planos de la red GPON

Como parte de la aplicación operativa de la solución propuesta, se establecen los lineamientos técnicos específicos para la actualización de los planos de la red GPON del cantón Esmeraldas. Estas acciones están orientadas a garantizar la materialización de las mejoras en la infraestructura, la optimización de la topología y la incorporación de herramientas de monitoreo avanzado, conforme a los estándares internacionales y las normativas internas de CNT EP.

Redistribución de splitters (FDH): los divisores ópticos 1:32 actualmente instalados (FDH01 a FDH09) se mantienen únicamente en las zonas de alta densidad urbana, donde su configuración es técnicamente adecuada para garantizar la cobertura sin comprometer la calidad del servicio. En cambio, en los sectores de expansión, urbanizaciones nuevas y áreas periféricas, se reemplazan los splitters 1:32 por configuraciones de 1:16 o 1:8, para de evitar la saturación de la red y proporcionar mayor flexibilidad para atender el crecimiento proyectado. Esta redistribución como se representa utilizando simbología diferenciada, como se muestra en la Figura 3 los splitters 1:32 se indican mediante un trazo o símbolo de color verde, mientras que los splitters 1:16 o 1:8 se identifican con un trazo o símbolo de color azul, garantizando así una interpretación visual clara y coherente con los criterios de optimización establecidos.

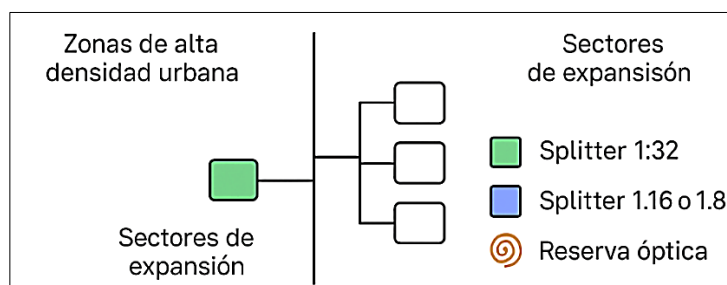


Figura 3 Redistribución de splitters (FDH)

Fuente: Elaboración Propia

Incorporación de reservas ópticas: se contemplan 15 metros en los extremos de cada tramo de distribución y 30 metros en los cables feeder que incluyen tramos sangrados conforme a los criterios técnicos establecidos. Estas reservas se representan como indica la Figura 4 mediante el uso de un símbolo de espiral o anotaciones técnicas visibles en el plano, permitiendo la rápida identificación durante procesos de construcción, mantenimiento o futuras expansiones. Adicionalmente, en los gabinetes de distribución FDH se asegura la inclusión de reservas internas de fibra, en cumplimiento de las normativas internas de CNT EP, lo que permite disponer de la flexibilidad operativa necesaria y la continuidad del servicio ante intervenciones o imprevistos en la infraestructura.

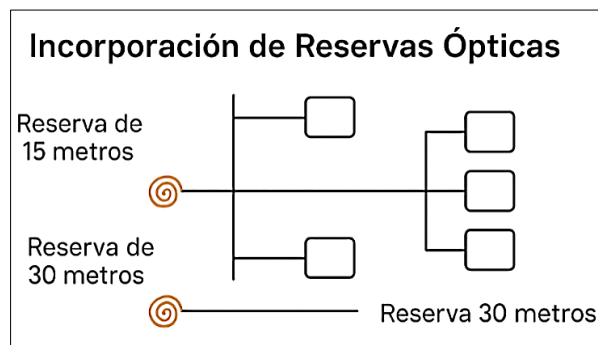


Figura 4 Incorporación de reservas ópticas

Fuente: Elaboración propia

Ampliación del feeder: en los sectores Centro de Esmeraldas, Sur de Esmeraldas - La Tolita, Barrio 15 de marzo y Periférico Norte, donde el diagnóstico técnico evidenció saturación o riesgo de saturación, es necesaria la ampliación de la red feeder mediante la instalación de cables ópticos de 576 o 864 fibras, utilizando fibra óptica monomodo G.652D. Esta ampliación, como se presenta en la Figura 5, quedará reflejada mediante un trazo de color rojo grueso en los planos, facilitando la identificación visual inmediata. Además, se incluyen las especificaciones técnicas correspondientes, detallando la cantidad de fibras y el tipo de cable utilizado, conforme a los estándares establecidos para la red GPON.

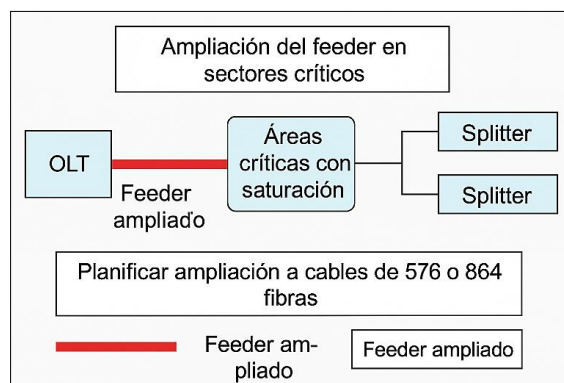


Figura 5 Ampliación del feeder

Fuente: Elaboración propia

Reconfiguración de la topología: este aspecto es necesario en los sectores de expansión donde sea técnicamente viable. Se migra la topología de la red de la actual configuración en cascada hacia un modelo híbrido o en estrella, donde la disposición de las conexiones directas desde el OLT hacia los splitters optimiza la distribución de la fibra, esto mejora la eficiencia de la red, reduce pérdidas ópticas y facilita la expansión de la red.

En cuanto a los planos de diseño, como se presenta en la Figura 6 se trazan líneas directas desde los nodos principales o desde el feeder hacia los splitters, reflejando la nueva disposición topológica. Este cambio no solo optimiza la infraestructura de la red, sino que también permite la integración de nuevos usuarios sin comprometer la calidad del servicio. Además, esta nueva configuración debe ser representada gráficamente con un trazo claro y preciso, diferenciando visualmente las conexiones directas.

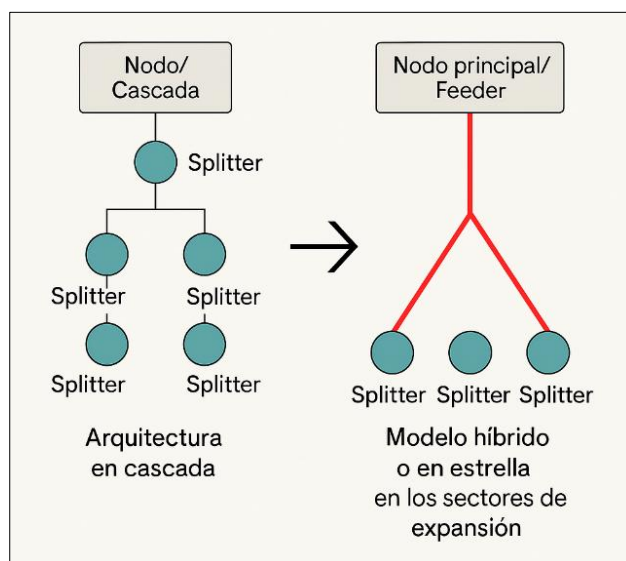


Figura 6 Reconfiguración de la topología

Fuente: Elaboración propia

Incorporación de elementos de monitoreo proactivo: este aspecto se aplica a través de la identificación de los puntos de instalación de los equipos OLT o nodos que integran funcionalidades de monitoreo inteligente a través de sistemas de gestión de red (NMS/EMS). Estas son áreas clave para el control y la administración de la red, como se visualizan en la Figura 7, se destacan con la leyenda técnica del plano (Tabla 3), especificando el equipamiento con capacidades avanzadas de detección temprana de pérdidas ópticas, generación automática de alarmas ante fallas y la gestión remota de la red. Estos aspectos mantienen la supervisión proactiva, ante cualquier incidente y la eficiencia operativa mediante la administración centralizada de la red.

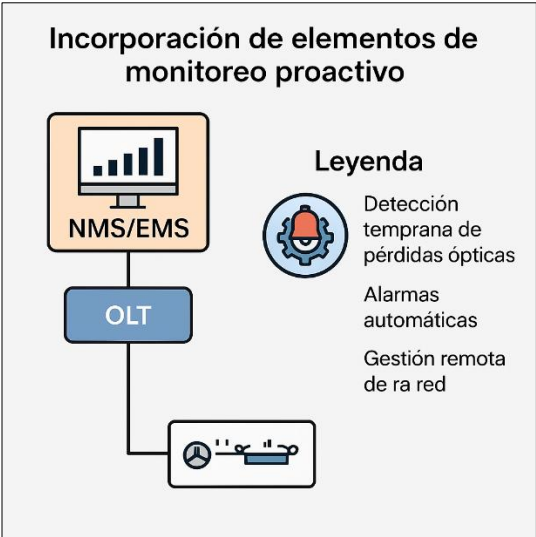


Figura 7 Incorporación de elementos de monitoreo proactivo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3 Leyenda técnica recomendada para los planos de red GPON

Símbolo / Color	Descripción
Línea Verde	Splitter 1:32 (Zonas de alta densidad urbana)
Línea Azul	Splitter 1:16 o 1:8 (Zonas de expansión o periferia)
Espiral Naranja	Reserva óptica de 15 metros (distribución) o 30 metros (feeder)
Línea Roja Gruesa	Feeder ampliado (576 o 864 hilos)
Nodo con Icono	Punto con monitoreo proactivo y gestión NMS/EMS

Fuente: Elaboración propia

5. CONCLUSIONES

El presente estudio evidenció que la red GPON de la CNT EP en el cantón Esmeraldas presenta limitaciones técnicas que afectan el rendimiento, cobertura y escalabilidad de la red. De la misma manera, el diagnóstico inicial reveló una arquitectura en cascada saturada, splitters con hasta el 90% de ocupación y pérdidas ópticas por fusión y conectorización que exceden los parámetros recomendados.

Adicionalmente, se detectó la falta de reservas ópticas en tramos críticos, lo que limita la capacidad de expansión de la red. En este sentido, los indicadores técnicos confirmaron que, aunque la atenuación por kilómetro está dentro de los valores aceptables, las pérdidas acumuladas alcanzan los 24 dB, acercándose al umbral máximo de 25 dB. En cuanto a la percepción de los usuarios, el 60% calificó la velocidad como inadecuada y el 80% reportó

interrupciones frecuentes o permanentes, lo que coincide con los problemas técnicos detectados y refuerza la necesidad de intervención.

Desde una perspectiva teórica, esta investigación aporta al conocimiento actual sobre redes GPON en contextos urbanos de expansión, al evidenciar cómo la saturación de splitters, la ausencia de reservas ópticas y la topología en cascada afectan el rendimiento y la escalabilidad, coincidiendo con estudios previos (Abdellaoui et al., 2021; Putra et al., 2022; Shabaneh & Melhem, 2022).

Por otra parte, en el ámbito práctico, el diseño de la solución tecnológica, que integra herramientas de monitoreo proactivo, redistribución estratégica de splitters y ampliación de la red, representa un modelo replicable para optimizar redes GPON en ciudades intermedias. Es por esto que la presente propuesta contribuye al desarrollo social, ya que facilita el acceso a servicios de alta demanda como videoconferencias, telemedicina y educación virtual, que son aspectos claves para reducir la brecha digital en zonas urbanas.

Aunque la investigación presenta ciertas limitaciones inherentes a su alcance, por su diseño transversal, ya que se trabajó con una muestra de 20 usuarios para representar tanto zonas urbanas consolidadas como sectores de expansión dentro del cantón. Esta muestra permitió obtener resultados relevantes y una primera aproximación técnica y perceptual al problema, su tamaño restringe la posibilidad de generalizar los resultados al total de usuarios de la red. No obstante, la metodología y los instrumentos diseñados permiten su aplicación directa en estudios de mayor escala, lo que posibilita una ampliación futura.

6. CONFLICTO DE INTERÉS

El autor declara que no existen conflictos de interés de ninguna naturaleza en la presente investigación.

7. REFERENCIAS

- Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., & Aleya, A. (2021). Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON. *Array*, 10, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- Adhi, M., Abi Rafdi, E., Halimsurya, E., Imran, M., Hutasuhut, M., Putra, A. R., & Apriono, C. (2021). Design of fiber to the home (FTTH) for urban housing of Griya Mukti residence. In 2021 International Conference on Electrical and Information Technology (IEIT) (pp. 257-262). IEEE. <https://doi.org/10.1109/IEIT53149.2021.9587339>

- Adjanohoun, D. S., Mbengue, T. P., Sow, D., Wade, C. S., Seye, M. R., Mbaye, D., ... & Chenal, J. (2025). The digital policies in the face of access and usage inequalities among young people in intermediate cities in Senegal: The case of Saint-Louis. *Journal of Infrastructure, Policy and Development*, 9(1), 10899. <https://doi.org/10.24294/jipd10899>
- Ali, M., ALkargole, H., & Hassan, T. (2021). A Review of immigration obstacles to PON-FTTH and its evolution around the world. *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, 19(2), 645-663. <http://doi.org/10.12928/telkomnika.v19i2.16444>
- Arya, V., Kumari, M., & Rana, A. K. (2024). Historical development of passive optical network (PON): a review. *Journal of Optical Communications*. 9. 1-15. <https://doi.org/10.1515/joc-2024-0177>
- Chedia, N., & Chkhartishvili, M. (2023). Study of the Telecommunication Networks Performance and Reliability Indicators. *WSEAS Transactions on Systems and Control*, 18, 204-217. <https://doi.org/10.37394/23203.2023.18.21>
- Conde-Zhingre, L. E., Quezada-Sarmiento, P. A., & Leonardo, M. (2018). Interconexión mediante tecnología GPON en una ciudad Inteligente: Caso de estudio Ciudad de Loja (Ecuador). *Espacios*, 39(3). <http://www.1.revistaespacios.com/a18v39n03/a18v39n03p12.pdf>
- Deckert, J. & Wilson, M. (2023). Descriptive research methods. En T. Welsh, J. P. Ambegaonkar, y L. Mainwaring (Eds.), *Research methods in the dance sciences* (cap. 11). Gainesville, FL, USA: University Press of Florida. <https://doi.org/10.5744/florida/9780813069548.003.0011>
- Demirdöğen, G., Işık, Z., & Arayıcı, Y. (2022). Determination of business intelligence and analytics-based healthcare facility management key performance indicators. *Applied Sciences*, 12(2), 651. <https://doi.org/10.3390/app12020651>

- Faneite, S. (2023). Los enfoques de investigación en las Ciencias Sociales. *Revista Latinoamericana Ogmios*, 3(8), 82-95.
<https://idicap.com/ojs/index.php/ogmios/article/view/226>
- Garzón, J., Jaimes, R., Padilla, L., & Vergel, G. (2022). Banco de pruebas didáctico para implementación y testeo de una red óptica pasiva para acceso banda ancha hasta el hogar. *I+ D Revista de Investigaciones*, 17(1), 143-154.
<https://doi.org/10.33304/revinv.v17n1-2022011>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2024). Tecnologías de la Información y Comunicación -TIC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/tecnologias-de-la-informacion-y-comunicacion-tic/>
- ITU-T. (2023). Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification. Recommendation G.984.3.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3>
- Lu, J., Fu, J., Li, X., & Liang, Y. (2024). Innovative Hard Isolation Techniques in GPON for Modern Power Distribution Networks. *IEEE Access*.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3521866>
- Milanovic, S. (2014). Case study for a GPON deployment in the enterprise environment. *Journal of networks*, 9(1), 42.
- Miles, M., Huberman, A., & Saldaña, J. (2014). *Qualitative Data Analysis: A Methods Sourcebook*. 3rd ed. Arizona State University, CA: Sage.
<https://us.sagepub.com/en-us/nam/qualitative-data-analysis/book246128>
- Pandey, B., Brelsford, C., & Seto, K. (2022). Infrastructure inequality is a characteristic of urbanization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 119(15), e2119890119. <https://doi.org/10.1073/pnas.2119890119>

- Putra, A., Agtusia, A., & Apriono, C. (2022). Design and Analysis of FTTH GPON Based on Field Condition for Flats in DKI Jakarta. In 2022 International Conference on Green Energy, Computing and Sustainable Technology (GECOST) (pp. 335-341). IEEE. <https://doi.org/10.1109/GECOST55694.2022.10010494>
- Quisnancela, E., & Espinosa, N. (2016). Certificación de redes GPON, normativa ITU G. 984. x. Enfoque UTE, 7(4), 16-30. <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v7n4.111>
- Ramadan, Z., Yulindon, Y., Yustini, Y., & Asril, A. A. (2024). Installation and Activation of Fiber To The Home (FTTH) Network Using Gigabit Passive Optical Network (GPON) Technology and Quality of Service (QoS) Analysis. JATAED: Journal of Appropriate Technology for Agriculture, Environment, and Development, 2(1), 17-24. <https://doi.org/10.62671/jataed.v2i1.62>
- Shabaneh, A. (2020). Investigative Modeling of Symmetric Fiber Bragg Grating as Dispersion Compensation for Optical Transmission System. Optica pura y aplicada, 53(4). <https://doi.org/10.7149/OPA.53.4.51052>
- Shabaneh, A., & Melhem, M. (2022). Execution Simulation Design of Fiber-to-the-home (FTTH) Device Ingress Networks Using GPON with FBG Based on OptiSystem. International Journal of Electronics and Telecommunications, 783-791. <https://doi.org/10.24425/ijet.2022.143886>
- Shafik, W. (2024). Energy policies and infrastructure requirements for efficient green buildings. In Sustainable Technologies for Energy Efficient Buildings (pp. 212-240). CRC Press.
- Wei, F., & Lazaro, J. P. (2024). University campus network planning and design based on GPON technology. International Journal of Emerging Technologies and Advanced Applications, 1(1). <https://doi.org/10.62677/IJETA.A.2401103>

Zhang, Y., Hu, N., Verge, C., & O'Brien, S. (2022). Cross-layer diagnosis of optical backbone failures. In Proceedings of the 22nd ACM Internet Measurement Conference (pp. 419-432). <https://doi.org/10.1145/3517745.3561447>