



Vol. 2 Núm. 1 2026- ISSN: 3119-7132 (En línea)

Recibido: 24 de abril de 2026

Aceptado: 25 de junio de 2026

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://doi.org/10.58719/e2451k78>

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN HUB DE FIBRA ÓPTICA GPON EN LOS MUNICIPIOS CÁRDENAS Y GUÁSIMOS, VENEZUELA: UNA SOLUCIÓN ECONÓMICAMENTE VIABLE

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF A GPON FIBER OPTIC HUB IN THE MUNICIPALITIES OF CÁRDENAS AND GUÁSIMOS, VENEZUELA: AN ECONOMICALLY VIABLE SOLUTION

Jesús Alejandro Parada Quiñonez¹  Ali Ernesto Vivas Blonila¹  Fernando José Lizcano Sánchez² ¹Universidad Nacional Experimental del Táchira, San Cristóbal, Venezuela.²Universidad Tecnológica del Perú, Lima, Perú.

Autor de Correspondencia:

Ali Ernesto Vivas Bonilla

ali.vivas@unet.edu.ve

Cómo citar este artículo: Parada, J., Vivas, A. & Lizcano, F. (2026). Diseño e implementación de un HUB de fibra óptica GPON en los municipios Cárdenas y Guásimos, Venezuela: Una solución económicamente viable. *Revista de Investigación Intercultural Asampitakoyete*, 2(1), 96 – 114. <https://doi.org/10.58719/e2451k78>

RESUMEN

El objetivo fue diseñar e implementar un nodo central (Hub) de fibra óptica bajo la arquitectura de Red Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (GPON), estandarizada por la recomendación ITU-T G.984.x, para la empresa VNET C.A. en los municipios de Cárdenas y Guásimos, estado Táchira, Venezuela. Mediante metodología de ingeniería concurrente, se solaparon las fases de modelado técnico y adecuación física del recinto de 12 m² ubicado en Táriba, permitiendo reducir el tiempo real de ejecución a cuatro meses y no, a los seis meses requeridos por el enfoque secuencial tradicional (Time-to-Market). El núcleo del nodo se equipó con una terminal de línea óptica (OLT) ZTE ZXA10 C320 y dos tarjetas de 16 puertos PON, habilitando una capacidad inicial para 2,048 abonados mediante dos subtrunkales: Caneyes y Copa de Oro, con una relación de división de 1:64. El modelado matemático del presupuesto óptico arrojó una atenuación total teórica de 20.58 dB para el alcance mínimo de 1 km y de 24.96 dB para el alcance máximo de 12 km. Ambos valores se validaron dentro del umbral de pérdida admisible para transceptores de clase B+. Para mitigar la inestabilidad del sistema eléctrico regional, se implementó una estación híbrida POWEST de 3 kVA con baterías de litio ZTE en configuración paralela de 48 VDC/200 Ah, proporcionando autonomía teórica de 32 h. El presupuesto indicativo del Hub se consolidó en USD 30,507.20, lo que demuestra que constituye una inversión técnica y financieramente viable para contribuir a reducir la brecha digital en la región.

Palabras clave: Hub de fibra óptica, red GPON, OLT, ITU-T G.984.x, FTTH, telecomunicaciones.



ABSTRACT

The aim was to design and implement a central fiber optic hub using the Gigabit Passive Optical Network (GPON) architecture, standardized by ITU-T Recommendation G.984.x, for VNET C.A. in the municipalities of Cárdenas and Guásimos, Táchira State, Venezuela. Using concurrent engineering methodology, the technical modeling and physical adaptation phases of the 12 m² facility located in Táriba were overlapped, reducing the actual execution time to four months instead of the six months required by the traditional sequential (Time-to-Market) approach. The hub core was equipped with a ZTE ZXA10 C320 Optical Line Terminal (OLT) and two 16-port PON cards, enabling an initial capacity for 2,048 subscribers via two subtrunks: Caneyes and Copa de Oro, with a split ratio of 1:64. Mathematical modeling of the optical budget yielded a theoretical total attenuation of 20.58 dB for the minimum range of 1 km and 24.96 dB for the maximum range of 12 km. Both values were validated within the permissible loss threshold for Class B+ transceivers. To mitigate the instability of the regional power grid, a 3 kVA POWEST hybrid station with ZTE lithium batteries in a parallel 48 VDC/200 Ah configuration was implemented, providing a theoretical autonomy of 32 hours. The indicative budget for the Hub was consolidated at USD 30,507.20, demonstrating that it constitutes a technically and financially viable investment to help reduce the digital divide in the region.

Keywords: Fiber-optic hub, GPON network, OLT, ITU-T G.984.x, FTTH, telecommunications.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la conectividad a internet de alta velocidad constituye un factor crítico para el desarrollo económico y social de las regiones. Los municipios Cárdenas (capital Táriba) y Guásimos (capital Palmira) del estado Táchira, Venezuela, presentan una demanda creciente de servicios de telecomunicaciones, especialmente en sus cascos urbanos, donde se concentra la actividad comercial, educativa y de servicios.

Esta tendencia se alinea con lo reportado por Abreu et al. (2009), quienes evidencian un incremento sostenido en la demanda de ancho de banda por parte de abonados residenciales y comerciales que supera las capacidades de las tecnologías tradicionales como xDSL y DOCSIS. Sin embargo, la infraestructura de internet existente en la zona es limitada y de baja calidad: el servicio predominante es el ADSL de CANTV con velocidades que apenas alcanzan los 2 Mbps, mientras que las ofertas de fibra óptica de proveedores privados son asimétricas y presentan inestabilidad. Esta situación refleja lo señalado por Barba, (2007), quien documentó

que la saturación de las redes de cobre y la obsolescencia tecnológica constituyen barreras significativas para la prestación de servicios de banda ancha de calidad.

Frente a este escenario, la empresa VNET C.A., con trayectoria en el sector de las telecomunicaciones en el estado Táchira, identificó una oportunidad estratégica para expandir su cobertura hacia estos municipios, un mercado donde no contaba con presencia previa. Ante la ausencia de documentación técnica local y de infraestructura propia, se planteó la necesidad de diseñar e implementar un *Hub* de fibra óptica que sirviera como nodo central para una red GPON (Gigabit Passive Optical Network), capaz de ofrecer servicios simétricos de alta velocidad (400 Mbps, 600 Mbps y 1000 Mbps). Las redes ópticas pasivas (PON) se han consolidado como una de las mejores opciones tecnológicas para las redes de acceso, ya que permiten compartir la misma fibra entre múltiples usuarios mediante el uso de splitters ópticos pasivos, reduciendo

significativamente los costos de infraestructura (Abreu et al., 2009; Barba, 2007). Esta ventaja económica es especialmente relevante en despliegues a gran escala, donde el análisis tecno-económico y la optimización de costos en la red de distribución óptica (ODN) son factores críticos para la viabilidad del proyecto, tal como se ha documentado en estudios de planificación de redes PON en entornos urbanos densos (Arévalo et al., 2017).

El estándar ITU-T G.984.x define la tecnología GPON, que admite relaciones de división de hasta 1:64 y alcances de hasta 20 km (Quisnancela & Espinosa, 2016). A diferencia de xDSL, limitada por distancia, atenuación y ruido, GPON ofrece pérdidas de inserción predecibles, inmunidad a interferencias electromagnéticas, escalabilidad y bajo costo por usuario, características que explican su amplia adopción en despliegues FTTH (Abreu et al., 2009).

El presente estudio tiene como objetivo diseñar e implementar un *Hub* de fibra óptica en los municipios Cárdenas y Guásimos, Venezuela, validando su viabilidad técnica, económica y operativa.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología adoptada combina enfoques cuantitativos de caracterización de la demanda, análisis de la infraestructura existente y diseño concurrente, siguiendo las buenas prácticas documentadas en despliegues FTTH previos (Abreu et al., 2009; Barba, 2007). Para ello, se aborda el estudio de la demanda, la selección de equipamiento bajo estándares GPON, el dimensionamiento de sistemas de respaldo eléctrico y climatización, y la estimación analítica de costos.

El proyecto se desarrolló siguiendo una metodología de cuatro fases, con un enfoque cuantitativo y de investigación aplicada. Debido a la urgencia de la demanda, las fases de diseño (Fase II) e implementación (Fase III) se

ejecutaron de manera concurrente (paralela), reduciendo significativamente los tiempos de despliegue.

Fase I: Estudio de necesidades y demanda

Se realizó un análisis demográfico de los municipios Cárdenas y Guásimos, utilizando las proyecciones oficiales del Instituto Nacional de Estadística (INE) para 2023, basadas en el último censo oficial de población y vivienda en Venezuela en 2011 (INE, 2011a, 2011b). A partir de estos datos, el órgano rector elaboró las proyecciones demográficas correspondientes, caracterizándose la actividad comercial y los establecimientos clave como comercios, oficinas, centros de salud e instituciones educativas en los cascos urbanos de Táriba y Palmira, los cuales constituyeron el área de interés estratégica para la expansión de la infraestructura de servicios de la empresa VNET C.A.

De acuerdo con estas estimaciones para el año 2023, el municipio Cárdenas contaba con una población de 147,584 habitantes, donde el 85 % se concentraba en el núcleo central de Táriba y sus inmediaciones; mientras que, el 15 % restante residía en zonas rurales. Por su parte, el municipio Guásimos registró una población estimada de 50,873 habitantes para el mismo período, exhibiendo un comportamiento predominantemente urbano con un 90 % concentrado en Palmira y un 10 % en áreas rurales o montañosas.

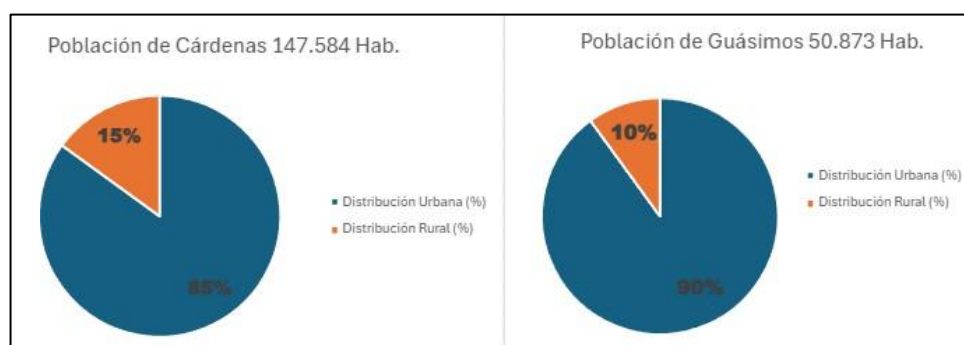
La densidad poblacional obtenida reforzó la viabilidad de concentrar la infraestructura en las capitales municipales, siendo este un parámetro crítico para la planificación geométrica de la red de fibra óptica. En Cárdenas, la densidad calculada fue de aproximadamente 563.30 hab./km², con una alta concentración en Táriba debido a su rol comercial y su cercanía con la ciudad de San Cristóbal. Guásimos presentó una densidad considerablemente mayor en sus zonas

urbanas, alcanzando aproximadamente 1,589.78 hab./km² en Palmira, con una expansión activa hacia corredores viales como la Carretera Panamericana. Esta elevada densidad en el nodo Palmira subrayó su

importancia como punto de alta demanda de conectividad. Para observar de forma detallada la distribución proporcional de estos habitantes y su concentración por entornos geográficos (Fig. 1).

Figura 1

Demografía y Distribución de la Población en Cárdenas y Guásimos



Nota: INE (2011a, 2011b)

Fase II: Diseño del Hub de fibra óptica

Diagnóstico Técnico y Selección de la Ubicación Estratégica

Para definir la ubicación se realizaron entrevistas semiestructuradas con el Coordinador de Infraestructura y el Ingeniero de Red de VNET C.A. Luego se evaluaron inmuebles en Táriba y Palmira según accesibilidad, centralidad respecto a la demanda, proximidad a la troncal principal, altura mínima de 2.4 m, ausencia de humedad, piso antiestático y disponibilidad eléctrica. Se seleccionó una arquitectura centralizada con dos subtrunkales, Caneyes y Copa de Oro, para maximizar la cobertura desde un solo Hub.

Dimensionamiento y Especificación del Equipamiento

La selección del equipamiento principal se realizó bajo los lineamientos de la recomendación ITU-T G.984.x, la cual normaliza los parámetros de certificación y el desempeño de las redes GPON (Quisnancela & Espinosa, 2016). Se seleccionó una arquitectura pasiva debido a que el divisor óptico intermedio no requiere una fuente eléctrica, reduciendo los costos operativos (Cortés, 2016). El equipamiento seleccionado se detalla en la Tabla 1.

Tabla 1

Componentes principales del Hub

Subsistema	Elemento Técnico / Modelo	Especificación y Capacidad
Transmisión (OLT)	ZTE ZXA10 C320	Chasis compacto con 2 tarjetas GPON de 16 puertos PON cada una. Capacidad nominal para 2,048 usuarios bajo split 1:64.
Distribución (ODF)	Fiber System (2 unidades)	Dos gabinetes de distribución óptica con capacidad de 48 hilos cada uno.
Medio de Transmisión	Cable Monomodo Prisma G.657	Fibra óptica de 48 hilos con baja pérdida por flexión.
Respaldo Energético	Inversor POWEST + Baterías ZTE	Inversor híbrido de 3 kVA con dos baterías de litio ZTE ZXDC48 FB100B3 (48 VDC, 100 Ah c/u) en paralelo → 48 VDC, 200 Ah.
Climatización	Daewoo DA-24BWSAC23	Sistema de aire acondicionado de 24,000 BTU/h.

Cabe destacar que, a diferencia de Alanguia, (2024), quien utilizó una OLT de menor capacidad (32 puertos GPON para 385 abonados) y no contempló sistemas de respaldo eléctrico ni climatización en su diseño, el presente estudio incorpora un sistema de energía ininterrumpida con autonomía de 32 horas, un elemento crítico en contextos de inestabilidad eléctrica como el venezolano. Vera, (2026) reportó una inversión CAPEX de USD 17,250 para 100 usuarios en XGSPON, con un costo por usuario de USD 172.50, comparable al costo estimado en este estudio.

Sin embargo, la tecnología XGSPON utilizada por Vera, (2026) ofrece velocidades simétricas de 10 Gbps, superando ampliamente los 2.5 Gbps downstream y 1.25 Gbps upstream de GPON, pero a un costo de equipamiento activo significativamente mayor (OLT XGSPON ≈ USD 12,000–18,000 frente a USD 4,400 del OLT GPON utilizado en este Hub). Por lo tanto, la elección de GPON responde a un balance óptimo entre capacidad de cobertura (2,048 usuarios) y costo de inversión.

Presupuesto de Potencia Óptica

Para certificar la viabilidad de la ODN y garantizar que los niveles de atenuación se mantengan dentro de los rangos admisibles, se calculó el presupuesto teórico de pérdidas ópticas utilizando el modelo lineal propuesto por Quisnancela & Espinosa, (2016) representado en la ecuación 1.

$$A_T = a + b + (c \times d) + (e \times f) + (g \times h) \quad (1)$$

Donde:

- a = atenuación splitter 1 (9 dB para 1:8)
- b = atenuación splitter 2 (9 dB para 1:8)
- c = atenuación fibra G.657 a 1310 nm (0.38 dB/km)
- d = distancia (km)
- e = atenuación por fusión (0.05 dB/fusión)
- f = número de fusiones
- g = atenuación por conector (0.50 dB/conector)
- h = número de conectores

Con el propósito de mitigar fallas por degradación o futuras intervenciones en la red, la distancia máxima de diseño se sobredimensionó a 12 km. Este cálculo contempla una reserva técnica del 10 % y márgenes preventivos por pérdidas de retorno (ORL) y macrocurvaturas, cumpliendo de manera estricta con las tolerancias de la norma ITU-T G.984.x para asegurar el margen de pérdidas admisible (Quisnancela & Espinosa, 2016).

Fase III: Implementación concurrente

Para aminorar las ventanas de indisponibilidad del servicio y acelerar el despliegue de la infraestructura de transporte, el diseño y la adecuación física del Centro de Conexión (*Hub*) se ejecutaron de manera paralela. Esta implementación concurrente integró los requerimientos espaciales, eléctricos y térmicos analizados previamente, definiendo la organización de los equipos activos y pasivos dentro del nodo ubicado en la carrera 5 con calle 6 de Táriba. De acuerdo con la taxonomía estructural expuesta por Pacio, (2014), el recinto adecuado se clasifica técnicamente como un Centro de Cómputos, caracterizado por una dimensión espacial de planta interna optimizada menor a 40 m², la centralización de los elementos de red en estructuras

estandarizadas y la incorporación de condiciones regulatorias de seguridad y control ambiental básico.

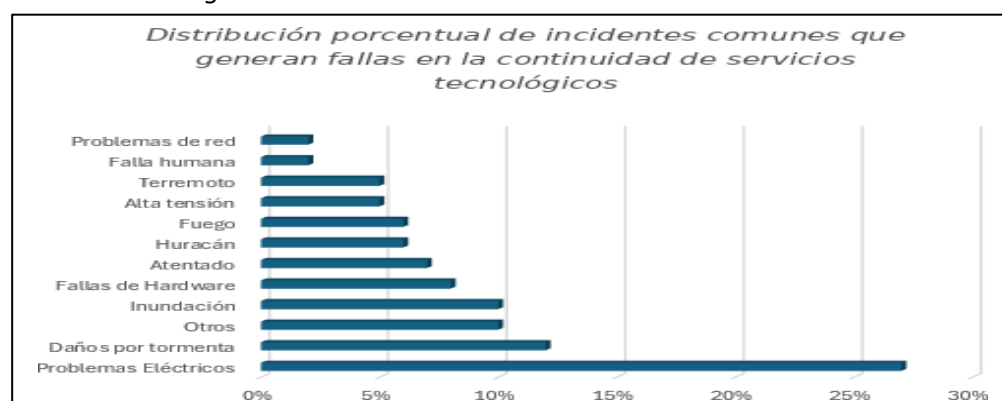
La infraestructura de soporte físico se consolidó mediante la instalación de dos gabinetes metálicos robustos tipo rack de 2.5 m de altura, cuya segregación física minimiza las interferencias electromagnéticas (EMI) y optimiza las rutinas de mantenimiento.

El primer gabinete se destinó exclusivamente al sistema de soporte energético y resiliencia eléctrica, albergando un inversor de voltaje híbrido de 3 kVA acoplado a un banco de dos baterías de almacenamiento de iones de litio con una capacidad nominal total de 48 V / 200 Ah.

Esta configuración de contingencia resulta imperativa en la ejecución de nodos de telecomunicaciones; según indicadores de *Contingency Planning Research* (Pacio, 2014), los problemas eléctricos representan la principal causa de fallas críticas en entornos de misión crítica con un 27 % de los incidentes globales, seguidos por daños derivados de tormentas con un 12 %. Para contextualizar la criticidad y la distribución de estos factores de riesgo que justifican la robustez del sistema de respaldo implementado de forma simultánea, se presenta el diagrama de frecuencias (Fig. 2).

Figura 2

Distribución porcentual de incidentes y causas comunes que generan fallas en la continuidad de servicios tecnológicos



Nota: Pacio, (2014), basados en registros históricos de *Contingency Planning Research*.

Por su parte, el segundo gabinete metálico se utilizó para la incorporación de los Distribuidores Ópticos (ODF) de 48 puertos y el equipo activo Terminal de Línea Óptica (OLT) compacto de arquitectura modular, el cual opera bajo los lineamientos globales de la recomendación ITU-T G.984.x para redes GPON (Quisnancela & Espinosa, 2016).

Esta ordenación por subsistemas (eléctrico y de telecomunicaciones) responde a los criterios de alta disponibilidad civil y arquitectónica descritos en la norma ANSI/TIA/EIA-942, asegurando que la trayectoria de las corrientes transitorias y el cableado de datos mantengan canaletas específicas para evitar la degradación de la señal por acoplamiento de ruido (Rubio, 2012).

De igual forma, el chasis de los equipos activos y las estructuras de los gabinetes se integraron a un sistema de puesta a tierra conforme a la norma ANSI/TIA/EIA-607, creando un camino de baja impedancia para disipar voltajes pasajeros, resguardando la vida útil del hardware ante cortes inesperados en la red comercial (Rubio, 2012).

La preservación de las condiciones ambientales de operación y la disipación del calor sensible generado por las tarjetas de línea de la OLT se gestionaron mediante una unidad de climatización dedicada de tipo profesional Split con una capacidad frigorífica de 24,000 BTU/h. Este equipo se fijó a una distancia geométrica de 1 m respecto a los gabinetes metálicos para asegurar un flujo de aire uniforme y mantener la temperatura ambiente estable, evitando fallas por sobrecalentamiento térmico.

La transición conmutada entre la red comercial y el sistema de respaldo eléctrico se delegó a un módulo de transferencia automática instalado en la pared frontal de los racks, garantizando un monitoreo visual directo y un restablecimiento del flujo de potencia sin interrupciones lógicas en el OLT.

En lo que respecta a la planta externa inicial, se canalizó el cable de fibra de alimentación (*feeder*) de 48 hilos con tecnología monomodo y baja sensibilidad a curvaturas (G.657) desde la troncal del Distribuidor Cordero hasta los ODF del Hub, cubriendo una distancia total de cableado sobredimensionada a 12 km para incluir reservas técnicas y márgenes de degradación natural.

El proceso de ordenación, etiquetado y fusión de los filamentos mediante *pigtails* dentro de las bandejas de empalme se ejecutó siguiendo las directrices de administración de la norma ANSI/TIA/EIA-606, facilitando las tareas de identificación de hilos durante los mantenimientos preventivos (Rubio, 2012). Para la portadora principal se asignó un hilo específico conectado a la OLT mediante un patch cord con conectores SC/APC y LC/UPC. Desde el chasis del equipo activo se estructuraron dos sub-troncales (Caneyes y Copa de Oro) mediante una relación de división de 1:64, habilitando una capacidad de direccionamiento para 2,048 usuarios.

Si bien tecnologías de nueva generación como XGS-PON (10 Gbps simétricos) o NG-PON2 (hasta 40 Gbps con multiplexación por longitud de onda) ofrecen anchos de banda superiores, su implementación en este contexto resultaría sobredimensionada y económicamente menos viable. Como señala Soria, (2023), estas tecnologías demandan componentes activos más costosos (OLT y ONT) y, en el caso de NG-PON2, transmisores sintonizables que incrementan la complejidad operativa sin que la demanda actual de los usuarios (velocidades promedio requeridas por debajo de 100 Mbps según las encuestas) lo justifique. Además, la infraestructura pasiva desplegada bajo estándares GPON es plenamente compatible con una eventual migración futura hacia XGS-PON, siguiendo el modelo *brownfield* documentado

por Soria, (2023), lo que garantiza la escalabilidad de la inversión sin necesidad de rediseñar la red de distribución óptica (ODN). Por ello, la elección de GPON representa un equilibrio óptimo entre capacidad técnica, costo de inversión y adaptación a la realidad del mercado objetivo.

Fase IV: Evaluación y documentación

Una vez consolidada la infraestructura física, el proceso avanzó hacia la fase de evaluación del rendimiento, optimización y documentación exhaustiva del diseño definitivo. En primera instancia, se procedió a la validación empírica en campo mediante la medición de la atenuación real del tramo de alimentación (*feeder*) utilizando un medidor de potencia óptica (Power Meter). Este procedimiento técnico permitió contrastar las pérdidas por inserción medidas frente a los cálculos teóricos del presupuesto óptico simulados en etapas previas, identificando desviaciones espurias y ejecutando los ajustes físicos de alineación necesarios en los conectores para garantizar la máxima eficiencia en la transmisión de la señal portadora antes del aprovisionamiento de los usuarios comerciales.

Desde la perspectiva de la gestión de infraestructuras, esta compilación responde a los lineamientos de administración del estándar ANSI/TIA/EIA-606; tal como concluye Rubio, (2012), mantener un registro codificado y actualizado del sistema de cableado y los nodos activos constituye una herramienta estratégica de referencia que reduce drásticamente los tiempos de respuesta ante traslados o contingencias, garantizando la continuidad operativa de la red incluso ante la ausencia del personal que ejecutó el despliegue inicial. Para salvaguardar la longevidad del hardware instalado en el Hub y resguardar la inversión financiera de la organización, se estructuró un plan de mantenimiento integral programado, combinando rutinas preventivas y correctivas con metodologías predictivas avanzadas. La

adopción de técnicas predictivas como la termografía infrarroja se fundamenta en la necesidad de anticipar modos de falla en componentes críticos.

Como destaca Pacio, (2014), un porcentaje significativo de las interrupciones mayores en Centros de Cómputos se derivan de fallas de hardware (8 %) y anomalías en los sistemas de potencia (27 %). La inspección termográfica periódica permite detectar perfiles térmicos anómalos o "puntos calientes" por resistencia de contacto en los bornes del inversor de 3 kVA, las baterías de litio o las tarjetas de la OLT, mitigando riesgos de degradación acelerada y cortocircuitos térmicos.

Por último, el plan incorporó pautas rigurosas para la verificación del sistema de puesta a tierra conforme a la norma ANSI/TIA/EIA-607, la revisión del ciclo de conmutación de la transferencia automática y el monitoreo de los rangos de climatización del Split (Rubio, 2012). Esta documentación integral actúa como un manual operativo para mitigar el consumo innecesario de potencia y optimizar la eficiencia energética del recinto, y a su vez establece los criterios técnicos y las directrices de escalabilidad indispensables para soportar de manera segura la expansión futura del sistema y la adición de nuevas tarjetas PON (Pacio, 2014).

RESULTADOS

Estudio de demanda

La población estimada para 2023 fue de 147,584 habitantes en Cárdenas (85 % urbano) y 50,873 en Guásimos (90 % urbano). La densidad poblacional en Palmira alcanzó 1,589.78 hab/km², una cifra sustancialmente superior a la de otras zonas donde se han diseñado redes GPON en la región andina.

Alanguia, (2024) trabajó en Pomata (Perú) con una población total de solo 13,707 habitantes distribuidos en 35 localidades, lo que implicó una densidad mucho menor y, en consecuencia, una

red con relación de división 1:16, mientras que, la alta densidad de Palmira justifica el uso de splitters 1:64 en el presente diseño. Asimismo, Quintanilla & Cifuentes, (2022) en Ayacucho (Perú)

densidades superiores a 1,000 hab/km², lo que evidencia un contexto urbano menos concentrado que el de los municipios estudiados. La Tabla 2 muestra la distribución de los 127 encuestados por tipo de usuario y municipio.

Tabla 2

Perfil de los encuestados

Tipo de usuario	Cárdenas (81) n (%)	Guásimos (46) n (%)
Residencial	55 (68)	33 (72)
Comercial	18 (22)	9 (20)
Mixto	8 (10)	4 (8)

El tamaño de muestra utilizado (127 encuestas) es inferior al de otros estudios similares, como el de Carrillo, (2024) en Salcedo (350 encuestas) y el de Vera, (2026) en Vines (103 encuestas). Esta diferencia responde a que en el presente estudio se priorizó un nivel de confianza del 85-90 % y un margen de error del 10-15 %, parámetros más flexibles que el 95 % de confianza y 5 % de error empleados por Carrillo, (2024) La decisión metodológica obedeció a

restricciones logísticas y de tiempo propias del contexto venezolano, lo que constituye una diferencia práctica frente a los estudios ecuatoriano y peruano.

La Tabla 3 resume la tecnología de conexión actual. El 60-65 % de los usuarios dependen de ADSL de CANTV (≤ 2 Mbps). Solo el 30-35 % tienen fibra óptica de proveedores privados, pero de tipo asimétrico.

Tabla 3

Tecnología de conexión actual

Proveedor/Tecnología	Velocidad típica (Mbps)	Cárdenas (81) n (%)	Guásimos (46) n (%)
CANTV (ADSL)	≤ 2	49 (60)	30 (65)
Netuno/Cablenorte/Inter (Fibra asimétrica)	20-1,000	28 (35)	14 (30)
Sin servicio	—	4 (5)	2(5)

A diferencia de lo reportado por Vera (2026) en Vines, donde el 89,3 % de los hogares ya contaban con fibra óptica (aunque a velocidades bajas), en los municipios Cárdenas y Guásimos la

penetración de fibra es mucho menor (30-35 %). Esta diferencia fundamental implica que, mientras que en Vines la migración a XGS-PON solo requería cambiar elementos activos (OLT y

ONT), en el presente proyecto fue necesario desplegar fibra feeder desde la troncal principal hasta el Hub; así como, toda la red de distribución, lo que representa una inversión inicial mayor en obra civil y cableado. Por otra parte, a diferencia de Carrillo, (2024), quien partió de una infraestructura de radio enlaces existente que requería ser reemplazada

totalmente, este estudio encontró una coexistencia de tecnologías (ADSL y fibra asimétrica) que permite una migración gradual por sectores, ofreciendo una ventaja operativa en la planificación del despliegue. Esta flexibilidad para adaptar el despliegue a diferentes tipos de edificaciones y densidades de población es una de las ventajas clave de las redes GPON en entornos urbanos y rurales, tal como se ha documentado en despliegues exitosos en ciudades pequeñas (Sapundzhi et al., 2025). El 90 % de los usuarios en Cárdenas y 88 % en Guásimos realizan streaming en 4K/HD, requiriendo >25 Mbps estables. El 70 % y 65 % utilizan internet para teletrabajo/educación, necesitando al menos 10 Mbps simétricos. Estas exigencias de ancho de banda son comparables a las documentadas por Quintanilla & Cifuentes, (2022) en Ayacucho, donde el teletrabajo y la educación virtual impulsaron el diseño de una red GPON. Sin embargo, a diferencia de ese estudio, que optó por una topología en anillo con divisores primarios 2x2 para garantizar redundancia, la alta densidad de Palm ira llevó a elegir una topología de árbol con splitters 1:64, maximizando la capacidad por puerto OLT aunque con menor redundancia. La satisfacción general fue muy baja, 75 % en Cárdenas y 80 % en Guásimos se declararon "Muy insatisfechos" o "Insatisfechos". Las principales quejas fueron baja velocidad (85-82 %), inestabilidad y falta de simetría (70 % de usuarios con fibra privada reportaron frustración por no poder subir archivos rápidamente). Este nivel de insatisfacción es superior al 74,8 % reportado por Vera, (2026) y al encontrado

por Carrillo, (2024) en Salcedo. La diferencia podría explicarse porque en Vines y Salcedo ya existía una base más amplia de fibra óptica (aunque deficiente); mientras que, en Táriba y Palmira la mayoría seguía usando ADSL, cuya velocidad máxima de 2 Mbps resulta insuficiente incluso para navegación básica.

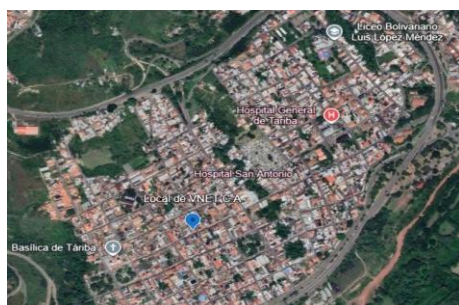
El interés en los planes simétricos de VNET C.A. fue alto: 45 % interesados en 400 Mbps, 30-35 % en 600 Mbps y 15-20 % en 1,000 Mbps. Solo el 10 % y 5 % no mostraron interés. Este nivel de aceptación supera al reportado por Carrillo, (2024), quien encontró un interés del 66 % en el segmento de hogares con estudiantes y por Vera, (2026), que identificó que solo el 7,8 % de los hogares accedían a planes de 1 Gbps. La mayor disposición a contratar planes de alta velocidad en este estudio podría estar influenciada por la acumulación de insatisfacción con servicios deficientes y la ausencia de una oferta competitiva de fibra simétrica en la región, una oportunidad de mercado que otros autores no destacaron con la misma intensidad.

Diseño técnico

Ubicación del Hub: Se seleccionó un local en la carrera 5 con calle 6 de Táriba (coordenadas: ver Figura 3). Esta ubicación es céntrica respecto a las zonas de alta demanda (Monseñor Briceño, Villa Maritza, Calle 14, Las Palmas, Patiecitos, Palmira, El Abejal, Copa de Oro, Basílica de Táriba, Coconito, Las Margaritas, Bella Vista, Caneyes). El local cumple con altura mínima de 2.5 m, piso antiestático, ausencia de ventanas y fácil acceso. Como señalan Adiaty et al. (2022), "el diseño y la planificación representados en esta investigación son para uso futuro, calculando el número de casas y agrupándolas en ODPs, donde se espera un uso mínimo de materiales", lo que subraya la importancia de una planificación cuidadosa de la infraestructura física, tal como se ha realizado en la selección de este Hub céntrico y técnicamente adecuado.

Figura 3

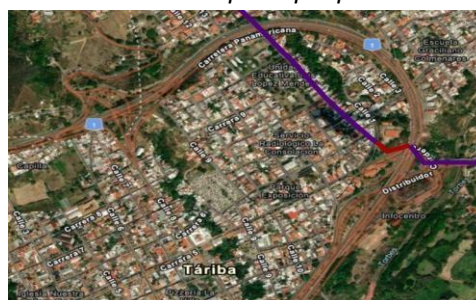
Ubicación del local de VNET C.A.



Nota: Google Earth.

Figura 4

Paso de la Troncal principal por Táriza



Nota: Google Earth

Punto de fusión con la troncal principal: Se identificó el punto en el Distribuidor Cordero (Fig. 4), donde la troncal de 48 hilos de VNET C.A. desciende desde El Vigía hasta San Cristóbal. La distancia desde este punto hasta el Hub es de aproximadamente 1 km.

Medición de atenuación: La atenuación medida en campo para el tramo *feeder* (1 km, 1310 nm) de fibra G.657 fue de 0.36 dB (Tabla 4), valor muy cercano a la estimación teórica (0.38 dB/km) y que indica una fusión de alta calidad.

Medición de atenuación: La atenuación medida en campo para el tramo *feeder* (1 km, 1310 nm) de fibra G.657 fue de 0.36 dB (Tabla 4), valor muy

cercano a la estimación teórica (0.38 dB/km) y que indica una fusión de alta calidad.

Tabla 4

Atenuación del tramo *feeder*

Parámetro	Valor teórico	Valor medido
Atenuación lineal	0.38 dB	0.36 dB
Pérdida por fusión (estimada)	—	<0.05 dB

Cálculo del presupuesto de potencia óptica:

Aplicando la ecuación de atenuación total para un enlace típico con dos *splitters* 1:8 (división total 1:64) y distancia de hasta 12 km (sobredimensionada), se obtuvo:

Para $d = 1$ km:

$$AT = 9 + 9 + (0.38 \times 1) + (0.05 \times 4) + (0.50 \times 4) = 9 + 9 + 0.38 + 0.20 + 2.00 = 20.58 \text{ dB.}$$

Para $d = 12$ km:

$$AT = 9 + 9 + (0.38 \times 12) + (0.05 \times 4) + (0.50 \times 4) = 9 + 9 + 4.56 + 0.20 + 2.00 = 24.96 \text{ dB.}$$

Estos valores están dentro del rango de la Clase B+ de GPON (13-28 dB), validando la selección de módulos ópticos Clase B+ para todos los enlaces proyectados (alcance máximo real de 9 km, sobredimensionado a 12 km con reserva). Como se demuestra en el análisis de Ubaidillah et al. (2018), la verificación del presupuesto de enlace óptico mediante el cálculo y la medición de pérdidas es un método efectivo para validar que los niveles de potencia en una red GPON cumplen con los estándares de la ITU-T, tal como se ha realizado en el presente estudio.

Los valores de atenuación calculados son coherentes con los reportados por Alanguia, (2024), quien obtuvo una atenuación total de 22 dB para un enlace con splitter 1:2 y 1:8 en Pomata. No obstante, Alanguia utilizó un margen de seguridad explícito de 3 dB sobre la sensibilidad del receptor (-28 dBm), el presente estudio optó por un sobredimensionamiento de la distancia a 12 km (frente a los 9 km reales) como margen de seguridad implícito.

Esta práctica de verificar el presupuesto de enlace óptico considerando la atenuación de la fibra, las pérdidas de inserción de los divisores y las pérdidas por conectores/empalmes es fundamental en el diseño de redes GPON, tal como se documenta en despliegues reales para entornos urbanos (Sapundzhi et al., 2025).

En contraste, Quintanilla & Cifuentes, (2022) reportaron una atenuación total de solo 15.43 dB para su diseño en Ayacucho, valor significativamente menor porque emplearon una relación de división total de 1:16 (*splitter* 2x2 + 1:4) y no 1:64 como en este trabajo. Esto refleja un compromiso distinto; menor cobertura de usuarios por puerto OLT (16 en Ayacucho frente a 64 en Táriba) a cambio de menores pérdidas de inserción y mayor margen de potencia. La decisión de utilizar división 1:64 en este *Hub* responde a la alta densidad poblacional de Palmira (1,589.78 hab/km²), que justifica

maximizar la cantidad de usuarios por puerto PON, tal como recomienda la norma ITU-T G.984.x para entornos urbanos densos (Quisnancela & Espinosa, 2016). Esta configuración de división en cascada (por ejemplo, 1:4 + 1:16 = 1:64) permite un equilibrio óptimo entre capacidad y alcance, proporcionando una utilización eficiente de la fibra y soportando el ancho de banda agregado, manteniéndose dentro del presupuesto óptico de la óptica GPON estándar (Sapundzhi et al., 2025).

A diferencia de los resultados de Gutiérrez, (2024), quien en un entorno de laboratorio con módulos didácticos GPON obtuvo anchos de banda controlados de hasta 30 Mbps simétricos por usuario (mediante configuración de ONT y equipo administrador RB-3011), el presente diseño no requiere limitar artificialmente la velocidad por abonado porque el presupuesto óptico y la relación de división 1:64 garantizan un ancho de banda promedio por usuario de aproximadamente 39 Mbps (2,500 Mbps / 64), suficiente para cubrir la demanda de streaming 4K y teletrabajo identificada en las encuestas.

Además, este autor también implementó enlaces de respaldo (backup) mediante *splitters* redundantes y conmutación manual en ODF para simular fallas en módulos DWDM, MSAN y móvil. En contraste, el presente *Hub* no contempla redundancia activa en la red troncal debido a restricciones presupuestarias, pero se diseñó con posibilidad de crecimiento hacia esquemas de respaldo mediante la adición de puertos en el OLT y la fibra excedente en los ODF (48 hilos, de los cuales solo se utiliza uno para la portadora principal). Esta decisión metodológica se alinea con las prácticas documentadas en el despliegue de redes FTTH, donde la priorización de la inversión inicial se orienta a maximizar la cobertura y la capilaridad de la red, dejando la redundancia como una capa de mejora progresiva (Abdellaoui et al., 2021). Esta

estrategia es particularmente válida en contextos de recursos limitados, pues la infraestructura pasiva desplegada, como el splitter y la fibra, es intrínsecamente compatible con futuras implementaciones de protección a nivel de OLT o de red, como los esquemas de protección Tipo B o los sistemas de fibra dúplex estandarizados por la ITU-T (Abdellaoui et al., 2021; ITU-T G.984.1, 2008). De esta forma, la decisión de minimizar costos iniciales, a diferencia del estudio de Gutiérrez (2024) que priorizó la alta disponibilidad incluso en un ambiente de laboratorio, refleja un enfoque de despliegue realista que balancea la viabilidad económica inmediata con la escalabilidad futura.

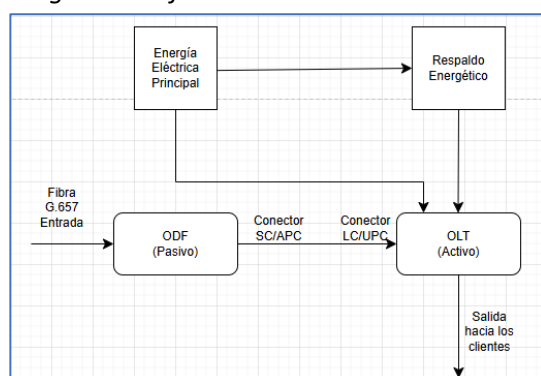
Resultados de la implementación

La implementación concurrente permitió completar el Hub en cuatro meses vs. seis meses

estimados para un enfoque secuencial tradicional, representando una reducción del 33 % en el tiempo de despliegue. Esta metodología contrasta con los tiempos reportados por Vera, (2026), quien no especificó el cronograma de su migración a XGSPON, y con Gutiérrez, (2024), cuyo trabajo en laboratorio no requirió plazos de construcción civil. La aceleración lograda en este proyecto es comparable únicamente a despliegues de emergencia en zonas de alta demanda, pero sin el respaldo de estudios previos en la región andina que documenten una compresión temporal similar mediante ingeniería concurrente. La Figura 5 muestra el diagrama unifilar del Hub, que incluye: fibra *feeder* de 48 hilos desde el punto de fusión hasta los ODFs, un hilo específico conectado desde el ODF al puerto del OLT, y el sistema de respaldo energético.

Figura 5

Diagrama unifilar del Hub



Sistema de respaldo eléctrico: El inversor POWEST 3 kVA más dos baterías de litio ZTE de 48 VDC y 100 Ah cada una (en paralelo, total 200 Ah) proporciona una autonomía calculada según la Ecuación 2:

$$\text{Autonomía} = \frac{200 \text{ Ah} \times 48 \text{ VDC}}{300 \text{ W}} = \frac{9,600 \text{ Wh}}{300} = 32 \text{ h} \quad (2)$$

Esta autonomía es suficiente para cortes prolongados y permite futura expansión (al agregar un segundo OLT, la autonomía se reduciría a 16 horas, aún aceptable). Este dimensionamiento supera lo reportado por Alanguia, (2024), quien no contempló sistemas de respaldo eléctrico en su diseño para Pomata,

y por Quintanilla & Cifuentes, (2022), cuyo diseño en Ayacucho asumía una red eléctrica estable sin respaldo. La diferencia refleja las particulares condiciones de inestabilidad energética en Venezuela, que otros autores no enfrentaron en sus contextos.

Sistema de climatización: El aire acondicionado de 24,000 BTU/h, aunque sobredimensionado para el área de 12 m², garantiza una temperatura estable (~22°C) y permite la adición futura de más equipos sin necesidad de reemplazo. Ni Alanguia, (2024) ni Quintanilla & Cifuentes, (2022) incluyeron climatización en sus diseños,

asumiendo condiciones ambientales controladas por la infraestructura existente. Esta decisión, nuevamente, responde a condiciones climáticas de Táríba que superan los 30°C, algo no documentado en los estudios peruanos de alta altitud.

Presupuesto del Hub

La Tabla 5 resume los costos para los equipos y componentes del Hub.

Tabla 5

Presupuesto de equipos del Hub

Categoría	Descripción	Cantidad	Costo Unitario (USD)	Costo Total (USD)
OLT	ZTE ZXA10 C320 (chasis + tarjetas control + fuentes)	1	4,400	4,400
Tarjetas GPON	Tarjeta GPON (16 puertos PON)	2	3,500	7,000
ODF	Gabinete ODF 48 puertos Rackmount	2	150	300
Climatización	Aire acondicionado Daewoo 24,000 BTU	1	940	940
Respaldo	Inversor POWEST 3 kVA	1	1,200	1,200
Baterías	ZTE ZXDC48 FB100B3 (litio, 48 V/100 Ah)	2	1,700	3,400
Fibra principal	Cable G.657 48 hilos	10 km	0.75	7,500
Conectores	SC/APC (pigtailes y patch cords)	96	3.00	288
Subtotal equipos				25,028
Mano de obra Hub				1,500
Subtotal sin contingencia				26,528
Contingencia (15 %)				3,979.20
Presupuesto total Hub				30,507.20

Este presupuesto no incluye la red de distribución externa (*splitters* adicionales, cierres de empalme, ONTs, mano de obra de última milla), la cual será asumida operativamente por VNET C.A. en fases posteriores. El costo total del Hub (USD 30,507) resulta significativamente inferior a las estimaciones de Pineda, (2023), quien calculó, mediante el algoritmo OTS, que el despliegue de una red GPON para 16,772 usuarios en Quito tendría un costo de USD 11.12 millones (aproximadamente 663 USD por usuario).

Aunque la escala es muy distinta (2,048 usuarios potenciales en este Hub frente a 16,772 en el estudio ecuatoriano), el costo por usuario de la infraestructura central en el presente trabajo (USD 14.90) es dos órdenes de magnitud menor. Esta diferencia se explica porque Pineda, (2023) incluyó en su modelo el costo total de la red ODN (*splitters*, cableado de distribución, mano de obra de última milla); mientras que, este Hub solo contempla la etapa feeder y el equipamiento activo central.

Proyectando un costo de distribución de USD 100–150 por usuario (estimación basada en valores de mercado local), el costo total por usuario se acercaría a los USD 115–165, aún por debajo de los USD 663 reportados por Pineda, (2023) para Quito, lo que sugiere que los costos de mano de obra y materiales en Ecuador son sustancialmente más altos que en Venezuela, o que el modelo OTS sobreestimó la inversión. De manera similar, Vera, (2026) estimó un CAPEX de USD 17,250 para 100 usuarios en XGSPON (USD 172.50 por usuario) en Vinces, Ecuador, valor que se alinea con la proyección de distribución de este Hub. No obstante, la solución GPON aquí presentada tiene la ventaja de escalar a 2,048 usuarios sin multiplicar linealmente el costo del equipamiento central, mientras que la tecnología XGSPON de Vera requiere un OLT más costoso (USD 12,000–18,000 frente a USD 4,400 del OLT GPON) y ONTs más caras. En este sentido, la recomendación de Pineda, (2023) es concluyente: para escenarios

de baja demanda de ancho de banda (como el identificado en las encuestas, donde el 90% requiere <100 Mbps), la tecnología GPON sigue siendo la opción más rentable; solo cuando las velocidades garantizadas superan los 500 Mbps para usuarios corporativos (escenario 3 y 4 de Pineda) las tecnologías NGPON2 o 50GPON comienzan a ser competitivas.

Dado que el plan más demandado en este estudio fue el de 400 Mbps (45 % de los interesados), la opción GPON con split 1:64 es perfectamente adecuada.

A diferencia de Gutiérrez, (2024), quien trabajó en un entorno de laboratorio con equipos donados (ONT HIOSO, convertidores Tp-link) y no presentó un análisis financiero, este estudio demuestra que una inversión inicial moderada (USD 30,507) es suficiente para desplegar un Hub operativo con alcance real a 2,048 clientes, superando ampliamente la escala de cualquier simulación de laboratorio; mientras que, Gutiérrez, (2024) validó la redundancia mediante *splitters* adicionales y conmutación manual en ODF, este Hub priorizó la minimización de costos iniciales, dejando la redundancia (por ejemplo, mediante un segundo puerto de respaldo en el OLT o el uso de la fibra excedente en los ODF) para fases posteriores. Esta diferencia estratégica refleja contextos opuestos: un laboratorio académico sin restricción presupuestaria para validar conceptos, frente a un despliegue productivo en un mercado con recursos limitados.

DISCUSIÓN

El elevado índice de insatisfacción (75-80 %) y la demanda de simetría (70 %) confirman que las tecnologías tradicionales (ADSL y fibra asimétrica) han quedado obsoletas para los usos actuales (streaming 4K, teletrabajo, operaciones comerciales). Estos valores son consistentes con los reportados por Carrillo, (2024) en

en Salcedo y Vera, (2026) en Vines, pero con una diferencia fundamental: en aquellos casos ya existía una base de fibra desplegada (89.3 % en Vines), mientras que en Táriba y Palmira la penetración es solo del 30-35 %. Esto significa que este proyecto no solo mejora la calidad del servicio, sino que introduce por primera vez fibra óptica en un mercado mayoritariamente dependiente del cobre, lo que representa una ventaja competitiva inicial frente a otros operadores. La elección de GPON con división 1:64 frente a alternativas como XGSPON o NGPON2 responde a un equilibrio entre capacidad y costo. Quintanilla & Cifuentes, (2022) y Alanguia, (2024) optaron por divisiones 1:16 en Ayacucho y Pomata debido a su menor densidad poblacional, priorizando el margen de potencia sobre la cantidad de usuarios por puerto. En cambio, la alta densidad de Palmira (1,589.78 hab/km²) justifica maximizar la relación de división. Como señala Pineda, (2023), para demandas de hasta 400 Mbps (el plan más demandado en las encuestas), GPON sigue siendo técnicamente suficiente y económicamente superior a las tecnologías de nueva generación, cuyos costos de implementación se disparan sin una justificación de demanda real. La atenuación calculada (20.58-24.96 dB) queda dentro del rango de la Clase B+, validando esta decisión. Un hallazgo diferente de este estudio es la incorporación de sistemas de respaldo eléctrico y climatización, ausentes en los diseños de Alanguia, (2024), Quintanilla & Cifuentes, (2022) y Carrillo, (2024). Esto responde a condiciones específicas de Venezuela (inestabilidad de la red eléctrica, temperaturas >30°C que no fueron consideradas en contextos peruanos de alta altitud o ecuatorianos de laboratorio. Frente al 27 % de fallas críticas por problemas eléctricos documentado por Pacio, (2014), la autonomía de 32 h del sistema de baterías de litio constituye una ventaja competitiva directa, ya que la competencia no podrá garantizar continuidad del servicio durante cortes prolongados.

La metodología concurrente (cuatro meses de ejecución) no ha sido reportada en ninguno de los estudios comparados. Gutiérrez, (2024) trabajó en laboratorio sin plazos de construcción civil; Carrillo, (2024) y Vera, (2026) no detallaron cronogramas. Este hallazgo sugiere que la ingeniería paralela es una estrategia infrautilizada en despliegues FTTH de la región andina, a pesar de su potencial para reducir el *time-to-market* en contextos de alta demanda.

CONCLUSIONES

- La implementación de un nodo central bajo la topología pasiva estandarizada por la norma ITU-T G.984.x resuelve de forma eficiente la expansión de cobertura en entornos urbanos compactos, garantizando parámetros estables de transmisión óptica sin requerir alimentación eléctrica intermedia en la red de distribución. La caracterización de la demanda evidenció una ventana de mercado crítica derivada de la obsolescencia de los enlaces de cobre tradicionales, validando que el despliegue de infraestructuras ópticas con capacidades simétricas de alta velocidad responde a las necesidades actuales de conectividad residencial y comercial, especialmente en un contexto de baja penetración de fibra previa.
- La selección estratégica de la ubicación del Hub en Táriba, en un punto concéntrico respecto a las áreas de interés, permite unificar la cobertura de dos municipios desde una sola planta interna, reduciendo los márgenes de pérdida en los enlaces ópticos primarios y demostrando una eficiencia geométrica superior a la reportada en otros despliegues regionales.

- La adecuación de la planta interna bajo normativas estandarizadas de telecomunicaciones, con sistemas de respaldo eléctrico y climatización, mitiga de forma efectiva los riesgos operacionales críticos y las inestabilidades energéticas de la región, extendiendo la vida útil del hardware y asegurando la alta disponibilidad del nodo.
- La adopción del enfoque metodológico paralelo demostró ser una alternativa ágil superior a la planificación secuencial tradicional, logrando comprimir significativamente los cronogramas de construcción física y puesta en marcha, evidenciando la eficacia de la ingeniería concurrente como estrategia, para acelerar el tiempo de salida al mercado.
- El modelado analítico del presupuesto determinó que la estructuración financiera de la planta interna es viable y escalable, consolidando al nodo central como un activo estratégico indispensable, para cerrar la brecha digital y soportar futuras expansiones tecnológicas de la organización.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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. *Results in Engineering*, 10, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (2009). Características generales de una red de fibra óptica al hogar (FTTH). *Memoria Investigaciones En Ingeniería*, (7), 38–46. <http://revistas.um.edu.uy/index.php/ingenieria/article/view/270>
- Adiati, R., Kusumawardhani, A., & Setijono, H. (2022). Design and Analysis of an FTTH-GPON in a Residential Area. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi (JPFT)*, 8(2), 228-236. <http://dx.doi.org/10.29303/jpft.v8i2.4233>
- Alanguia, R. (2024). *Diseño de una red de FTTH preconectorizado basado en el estándar GPON para dar servicio de internet al distrito de Pomata, 2023* [Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna]. <https://hdl.handle.net/20.500.12969/3859>
- Arévalo, G., Hincapié, R., & Gaudino, R. (2017). Optimization of multiple PON deployment costs and comparison between GPON, XGPON, NGPON2 and UDWDM PON. *Optical Switching and Networking*, 25, 80-90. <https://doi.org/10.1109/ICTON.2017.8025122>
- Barba, L. (2007). *Diseño de una red de acceso de fibra óptica para atender a los clientes de Andinatel SA en los edificios ubicados en el sector de la Avenida República del Salvador pertenecientes a la Central de Iñaquito* [Tesis de Pregrado, Escuela Politécnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/573>
- Barraza, J., Piña, M., & Borbón, M. (2019). Método Weibull para la reducción de tiempo de prueba ambiental para divisor óptico. *Revista de Ciencias Tecnológicas*, 2(3), 137-143. <https://doi.org/10.37636/recit.v23i37143>
- Carrillo, C. (2024). *Diseño de una red GPON para la empresa AJnet en la ciudad de Salcedo* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/27280>

- Cortés, A. (2017). Planificación y diseño de redes FTTH basadas en zonificación y servicios. *Prisma Tecnológico*, 7(1), 20-25. <https://revistas.utp.ac.pa/index.php/prisma/article/view/1259>
- Gutiérrez, K. (2024). *Acceso a internet, evaluación y corrección del estado de la red GPON en módulos didácticos del laboratorio de telecomunicaciones* [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12357>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011a). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2011*. <https://ine.gob.ve/wp-content/uploads/2024/09/CensoNacional-2011.pdf>
- Instituto Nacional de Estadística (INE). (2011b). *Censo Nacional de Población y Vivienda 2011: Estado Táchira* [PDF]. <https://ine.gob.ve/wp-content/uploads/2024/09/tachira.pdf>
- ITU-T G.984.1. (2008). *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics*. ITU-T, March.
- Pacio, G. (2014). *Data centers hoy*. Alfaomega Grupo Editor.
- Parada, J. (2025). *Diseño e implementación de un hub de fibra óptica para la expansión de la cobertura de servicios de VNET C.A. en el municipio Cárdenas y Guásimos* [Trabajo de Aplicación Profesional, Universidad Nacional Experimental del Táchira]. <https://repositorio.unet.edu.ve:8443/jspui/handle/123456789/2606>
- Pineda, C. (2023). *Comparación del costo de implementación de las redes GPON, NGPON2 y 50GPON en distintos escenarios de demanda de ancho de banda* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <https://repositorio.puce.edu.ec/handle/123456789/41090>
- Pushparaghavan, A., Rajamani, V., & Malmurugan, N. (2007). A novel method of estimating link power budget using dynamic bandwidth allocation scheme for a 10 Gbit/s GPON architecture. *Journal of Optical Communications*, 28(2), 148-154.
- Quintanilla, J., & Cifuentes, E. (2022). *Diseño de una red FTTH con tecnología GPON para mejorar la conectividad de internet en el distrito de Ayacucho provincia de Ayacucho, 2022* [Tesis de Pregrado, Universidad Ricardo Palma]. <https://hdl.handle.net/20.500.14138/6102>
- 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>
- Rubio, J. (2012). *Análisis y diseño de un Data Center en base a los estándares ANSI/TIA/EIA 606, 607 y 942 para el edificio de la Dirección Provincial de Salud de Pichincha* [Tesis de Pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/3537>
- Sapundzhi, F., Zarev, B., Georgiev, S., Zaharieva, S., Popstoilov, M., & Lazarova, M. (2025). Design and Implementation of a Passive Optical Network for a Small Town. *Engineering Proceedings*, 100(1), 40. <https://doi.org/10.3390/engproc2025100040>
- Soria, J. (2023). *Análisis técnico comparativo de las redes de acceso NG-PON1 versus NG-PON2* [Tesis de Maestría, Escuela Politécnica Nacional]. Repositorio

Institucional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/25050>

Ubaidillah, A., Alfita, R., & Toyyibah. (2018). Link Power Budget and Traffic QoS Performance Analysis of Gigabit Passive Optical Network. *Journal of Physics: Conference Series*, 953(1), 012129. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/953/1/012129>

Vera, G. (2026). *Análisis de factibilidad para la implementación de una red con tecnología XGSPON en zona urbana del cantón Vinces* [Tesis de Pregrado, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/16187>