

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS

**Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar la conectividad
en la I.E. 11088, CP Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos, Lambayeque**

Para Optar por el Título Profesional de Ingeniero Electrónico

ELABORADA POR:

Bachiller: Pablo Barboza Anaya

Bachiller: Alexis Gianpool Arteaga Fernandez

ASESOR: M. Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla

LAMBAYEQUE – PERÚ

10 de marzo 2026

TESIS

**Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar la conectividad
en la I.E. 11088, CP Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos, Lambayeque**

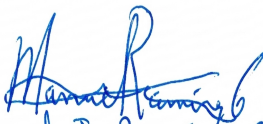
**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO**

APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO:




DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS

**DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
PRESIDENTE**



Mg. Manuel J. Ramírez Castro

**MG. ING. MANUEL JAVIER RAMIREZ CASTRO
SECRETARIO**



Mg. Ing. Thauso Gad Pachamango Bautista

**MG. ING. THAUSO GAD PACHAMANGO BAUTISTA
VOCAL**

TESIS

**DISEÑO DE INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES PARA GARANTIZAR LA
CONECTIVIDAD EN LA I.E. 11088, CP PASABAR OLEODUCTO, DISTRITO DE
OLMOS, LAMBAYEQUE**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO ELECTRÓNICO**

AUTORES:



Bach. Pablo Barboza Anaya



Bach. Alexis Gianpool Arteaga Fernandez

ASESOR:



M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO



Ciudad Universitaria – Lambayeque

LICENCIADA - RESOLUCION DEL CONSEJO DIRECTIVO N° 015 -2023-SUNEDU / CD

0056

ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 30-2026.-D/FACFyM

Siendo las 12:00 m del día 10 de marzo del 2026, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar la conectividad en la I.E. 11088, CP Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos Lambayeque

Designados por Resolución N° 708-2025 D/FACFyM de fecha 07 de agosto de 2025

Con la finalidad de evaluar y calificar la sustentación de la tesis antes mencionada, conformada por los siguientes docentes:

Dr. Ing. Frank Richard Rodríguez Chirinos Presidente
Mg. Ing. Manuel Javier Ramírez Bastro Secretario
Mg. Ing. Thavso Gad Pachamango Bautista Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) M. Sc. Ing. Hugo J. Chichayo Padilla, nombrado por Resolución N° 708-2025 D/FACFyM de fecha 07 de agosto de 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 170-2026 D/FACFyM de fecha 02 de marzo de 2026

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Barboza Anaya Pablo y Arteaga Fernandez Alexis Chanpaol y tuvo una duración de 30 minutos.

Después de la sustentación, y absueltas las preguntas y observaciones de los miembros del jurado se procedió a la calificación respectiva, otorgándole el Calificativo de QUINCE (15) en la escala vigesimal, mención (Regular).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico, de acuerdo con la Ley Universitaria 30220 y la normatividad vigente de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas y la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

Siendo las 1:10 p.m. se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. FRANK RICHARD RODRIGUEZ CHIRINOS
 Presidente

Mg. Manuel J. Ramírez Bastro
 Secretario

Mg. Ing. Thavso Gad Pachamango Bautista
 Vocal

M. Sc. Hugo Javier Chichayo Padilla
 Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla, usuario revisor del documento titulado:
“Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar la conectividad en la I.E. 11088, CP Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos, Lambayeque”

Cuyos autores son:

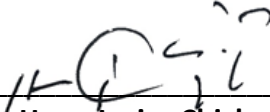
- Bach. Pablo Barboza Anaya
- Bach. Alexis Gianpool Arteaga Fernandez

Identificado con Documento de Identidad 16703734; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático Turnitin, ha arrojado un porcentaje de similitud de 09 %, verificable en el Resumen de Reporte automatizado de similitudes que se acompaña.

El suscrito analizó dicho reporte y concluyó que cada una de las coincidencias detectadas dentro del porcentaje de similitud permitido no constituyen plagio y que el documento cumple con la integridad científica y con las normas para el uso de citas y referencias establecidas en los protocolos respectivos.

Se cumple con adjuntar el Recibo Digital a efectos de la trazabilidad respectiva del proceso.

Lambayeque, 19 de febrero del 2025



M.Sc. Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
DNI N° 16703734

Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar la conectividad en la I.E. 11088, CP Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos, Lambayeque

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%

INDICE DE SIMILITUD

8%

FUENTES DE INTERNET

2%

PUBLICACIONES

5%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	Submitted to Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo Trabajo del estudiante	3%
2	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%
4	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	dspace.ups.edu.ec Fuente de Internet	<1%
6	Polanco Caycho, Andi Braulio. "Factores de éxito en Gerencia Social utilizados para la implementación del proyecto de Banda Ancha en la localidad de Pariamarca, distrito y provincia de Canta, departamento de Lima; para proponer una propuesta de mejora en la implementación de proyectos sociales de Banda Ancha a nivel nacional", Pontificia Universidad Católica del Perú (Peru), 20: Publicación	<1%

7	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
8	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
9	online.ogs.ny.gov Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	Guerrero Godoy, Fernando José. "Ampliación y Mejora del Acceso a Los Servicios de Telecomunicaciones en los Poblados Rurales Alejados del Perú a Partir de una Red Satelital Multibanda.", Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), 2024 Publicación	<1 %
12	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD,UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
14	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
15	Submitted to Universidad TecMilenio Trabajo del estudiante	<1 %
16	www.dspace.uce.edu.ec:8080 Fuente de Internet	<1 %
17	cicese.repositoric Fuente de Internet	<1 %

18	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1 %
19	revistalatam.digital Fuente de Internet	<1 %
20	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
21	repositorio.espe.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
22	revistascientificas.usil.edu.py Fuente de Internet	<1 %
23	www.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
24	www.telesemana.com Fuente de Internet	<1 %
25	doczz.es Fuente de Internet	<1 %
26	dominiodelasciencias.com Fuente de Internet	<1 %
27	modemrouter.es Fuente de Internet	<1 %
28	noticiasdelaciencia.com Fuente de Internet	<1 %
29	www.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
30	www.tdx.cat Fuente de Internet	<1 %

31 Rivero, Miguel Felipe Agurto | Avalos, Alberto
Giusseppe Albuja | Alburqueque, Ana Rosa
Chero | Hidalgo, Maria Janeth Torres.
"Business Consulting de la Asociacion de
Pequenos Productores Organicos de
Querecotillo-APOQ", Pontificia Universidad
Catolica del Peru - CENTRUM Catolica (Peru),
2022
Publicación

32 ideas.repec.org <1 %
Fuente de Internet

33 repositorio.unac.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

34 repositorio.unjfsc.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

35 repositorioacademico.upc.edu.pe <1 %
Fuente de Internet

36 respincl.com <1 %
Fuente de Internet

37 zmscable.es <1 %
Fuente de Internet


Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA
hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias Apagado

Excluir bibliografía Activo

ASESOR
DNI:16703734

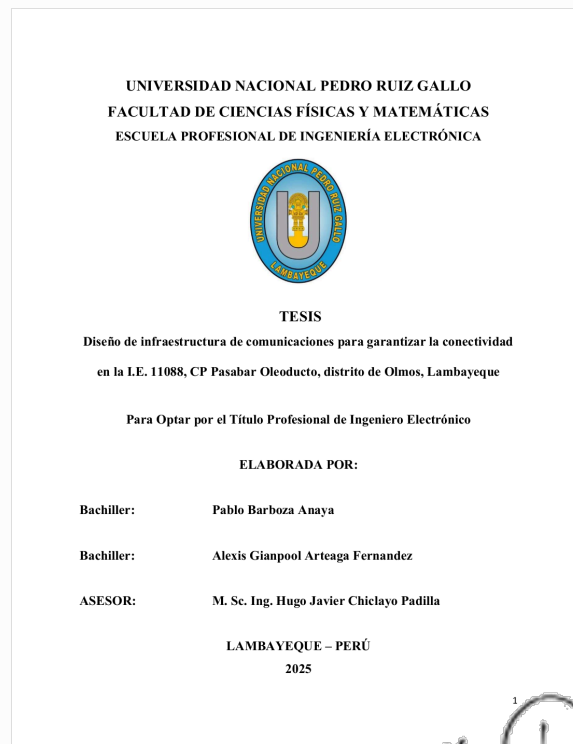


Recibo digital

Este recibo confirma que su trabajo ha sido recibido por **Turnitin**. A continuación podrá ver la información del recibo con respecto a su entrega.

La primera página de tus entregas se muestra abajo.

Autor de la entrega: Barboza Anaya Arteaga Fernandez
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Diseño de infraestructura de comunicaciones para garantizar l...
Nombre del archivo: Informe_N_03_Barboza_-_Arteaga.docx
Tamaño del archivo: 5.05M
Total páginas: 77
Total de palabras: 12,158
Total de caracteres: 70,701
Fecha de entrega: 19-feb-2026 10:28p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2883695467



ASESOR **Ing. HUGO JAVIER CHICLAYO PADILLA**
DNI:16703734 hchiclayo@unprg.edu.pe - 920583570

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por brindarme salud y vida, por ser mi fortaleza en los momentos de mayor adversidad y por permitirme culminar este sueño profesional. A mis padres, pilares fundamentales de mi existencia, cuyo apoyo incondicional y sacrificio han sido el motor que me impulsa a superarme cada día. También, extendiendo mi gratitud a mis hermanos, abuelos y a mi enamorada, por sus palabras de aliento y por acompañarme con amor en cada paso de este camino.

Asimismo, expreso mi agradecimiento a la **Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo** y a cada uno de los docentes de la escuela de ingeniería electrónica por sus enseñanzas. Un agradecimiento especial a nuestro **asesor de tesis**, cuya experiencia y apoyo profesional fueron determinantes para culminar con éxito este proceso.

Pablo Barboza Anaya

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a mis padres, **Melania y Edilberto**, por su apoyo incondicional y por haberme inculcado los valores y la disciplina que me definen hoy. Este trabajo es el reflejo del incansable esfuerzo que invirtieron en mi formación y del sacrificio que realizaron para brindarme una educación sólida. Gracias por su amor infinito; cada uno de mis logros es, y será siempre, para ustedes.

Pablo Barboza Anaya

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a dios, por brindarme la fuerza y perseverancia de llegar a este punto en mi formación profesional, así mismo a mis padres que son apoyo incondicional en todo proyecto o nueva experiencia que desee adquirir, también quiero agradecer a mis dos hermanas que son parte muy importante para mi ya que siempre me han apoyado en cada paso que dé en mi vida.

Alexis Gianpool Arteaga Fernandez

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre Emerita Fernandez y a mi padre Ciro Arteaga, ya que ellos son símbolo y viva imagen de las personas que más apoyo me han brindado, deseo que sigan a mi lado en muchos pasos más que pueda dar en mi vida y que tengan en cuenta que siempre cada éxito será dedicado a ellos, por darme todo su apoyo para que yo pueda seguir hacia adelante y siga creciendo profesionalmente.

Alexis Gianpool Arteaga Fernandez

ÍNDICE GENERAL

1	CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO	17
1.1	Antecedentes	17
1.1.1	Antecedentes Internacionales	17
1.1.2	Antecedentes Nacionales.....	18
1.2	Bases Teóricas	20
1.2.1	Definiciones Fundamentales.....	20
1.2.2	Terminología Técnica Específica	21
1.2.3	Tecnologías de comunicaciones rurales	21
2	CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES	27
2.1	Diseño de Contrastación de Hipótesis	27
2.2	Población, muestra	29
2.2.1	Población.....	29
2.2.2	Muestra.....	29
2.3	Técnicas, instrumentos, equipos y materiales.....	29
2.3.1	Técnicas.....	29
2.3.2	Instrumentos.....	29
2.3.3	Equipos y materiales	30
3	CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
3.1	Resultados.....	32
3.1.1	Enlace Inalámbrico Punto a Punto (PTP) como solución de acceso:	34
3.1.2	Enlace GPON como solución de acceso:	49
3.1.3	Enlace Satelital como solución de acceso	55
3.1.4	Comparación técnico-económica de PTP, GPON y Satelital para la I.E. N.º 11088.....	61
3.2	Discusión	65
4	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	67
4.1	Conclusiones	67
4.2	Recomendaciones.....	68
5	REFERENCIAS.....	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Red de Acceso de Fibra Óptica	22
Figura 2 Comunicaciones satelitales.....	24
Figura 3 Enlace por microondas	25
Figura 4: Redes móviles	26
Figura 5 Diseño de Contrastación Hipótesis.....	28
Figura 6 Enlaces para I.E 11088.....	34
Figura 7 Análisis de línea de vista y zona de Fresnel - enlace PTP hacia la I.E. N.º 11088.....	35
Figura 8 Parámetros de configuración del enlace PTP670 en 5.8 GHz.....	35
Figura 9 Configuración de la antena emisora “Antena Olmos”	37
Figura 10 Configuración de la antena “Receptora”	39
Figura 11 Antena de alta ganancia para radioenlace	40
Figura 12 Patrón de radiación de la antena: (H/H y V/V)	41
Figura 13 Desempeño capacidad - disponibilidad del enlace “Antena Olmos”	46
Figura 14 Desempeño capacidad - disponibilidad del enlace “Antena Receptora”	47
Figura 15 Trazado geográfico del enlace PTP entre Antena Olmos y Antena Receptora.....	48
Figura 16 Trazado referencial de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica en Olmos	49
Figura 17 Topología de interconexión RDNFO - I.E. N.º 11088.....	52
Figura 18 Caja NAP/CTO para distribución y mantenimiento en campo	54
Figura 19 Topología de red interna de la I.E. N.º 11088:	55
Figura 20 Topología de acceso satelital para la I.E. N.º 11088 - CP. Pasabar Oleoducto	56

Figura 21 Topología de acceso satelital Starlink y distribución LAN para la I.E. N.° 11088.....	57
Figura 22 Parámetros de orientación de antena satelital - Chiclayo.....	58
Figura 23 Parámetros de orientación de antena satelital - I.E. N.° 11088.....	59
Figura 24 Comparación de tecnologías de conectividad para la I.E. N.° 11088	62
Figura 25 Radar comparativo de desempeño para PTP, GPON y Satelital GEO en la I.E. N.° 11088.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Indicadores de rendimiento del enlace PTP - Antena Olmos	42
Tabla 2 Indicadores de rendimiento del enlace PTP en la estación receptora	43
Tabla 3 Indicadores de rendimiento capacidad y pérdidas del enlace	45
Tabla 4 Síntesis de criterios de selección tecnológica	64
Tabla 5 Presupuesto de enlace Inalámbrico Punto a Punto (PTP).....	75
Tabla 6 Presupuesto de enlace GPON	76
Tabla 7 Presupuesto de enlace Satelital	77

RESUMEN

La Institución Educativa N.º 11088 “Enrique López Albújar”, en el C.P. Pasabar Oleoducto (Olmos, Lambayeque), presenta conectividad limitada por ausencia de última milla, cobertura móvil irregular y restricciones operativas del entorno rural. Se diseñó una infraestructura de telecomunicaciones para garantizar acceso estable a Internet en la institución. Se aplicó un enfoque cuantitativo con diseño descriptivo no experimental: se revisó literatura sobre conectividad rural, se modelaron tres alternativas (PTP 5.8 GHz, GPON y satelital GEO) y se evaluaron mediante simulación y criterios técnico-económicos. En el PTP se estimó potencia recibida de -59 dBm (± 5 dB), throughput IP medio de 48.26 Mbps frente a 40 Mbps requeridos (121%) y disponibilidad de 99.9996%; además, se obtuvo 96.52 Mbps agregados, margen de ganancia de 32.40 dB y pérdida total de 132.81 dB, evidenciando holgura operativa. En la comparación, GPON se proyectó con ≥ 1 Gbps y latencia 1–5 ms, mientras el satélite GEO aportó continuidad con latencia aproximada de 240 ms. Se concluyó que una arquitectura híbrida, con GPON como medio principal, satélite como respaldo y PTP como enlace auxiliar, optimiza desempeño, resiliencia y sostenibilidad institucional.

Palabras clave: Radioenlace; RDNFO; GPON; VSAT

ABSTRACT

Institución Educativa No. 11088 “Enrique López Albújar”, located in Pasabar Oleoducto (Olmos, Lambayeque), faces constrained Internet access due to lack of last-mile infrastructure, irregular mobile coverage, and rural operational conditions. A telecommunications infrastructure was designed to provide stable Internet service for the school. A quantitative, descriptive, non-experimental approach was applied: rural connectivity literature was examined, three alternatives (5.8 GHz PTP, GPON, and geostationary satellite) were modeled, and performance was assessed through simulation and techno-economic criteria. For the PTP option, predicted receive power was -59 dBm (± 5 dB), mean IP throughput reached 48.26 Mbps versus a 40 Mbps requirement (121%), and availability was estimated at 99.9996%; aggregate throughput was 96.52 Mbps, with a 32.40 dB system gain margin and 132.81 dB total path loss, indicating robust operational headroom. In the comparative analysis, GPON was projected to deliver ≥ 1 Gbps with 1–5 ms latency, while GEO satellite ensured service continuity with approximately 240 ms latency. The main conclusion supports a hybrid architecture—GPON as primary access, satellite as backup, and PTP as an auxiliary/local link—to balance performance, resilience, and long-term operability in the school context.

Keywords: PTP backhaul; RDNFO; GPON; VSAT.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito internacional, la problemática de la conectividad en telecomunicaciones para instituciones educativas representa un desafío crítico que afecta particularmente a las zonas rurales y remotas. (Li et al., 2025) demuestran que los sistemas de comunicación avanzados, incluyendo redes UAV distribuidas, pueden restaurar rápidamente la conectividad en áreas donde la infraestructura tradicional ha fallado, lo cual es relevante para instituciones educativas en zonas remotas. La infraestructura de comunicaciones se ha convertido en un elemento fundamental para garantizar la calidad educativa, tras evidenciar la importancia de la conectividad digital durante emergencias globales.

A nivel nacional, Perú enfrenta retos particulares en el desarrollo de infraestructura de telecomunicaciones para instituciones educativas rurales. Talgat et al. (2021) demuestran mediante análisis de geometría estocástica que los sistemas de comunicación satelital LEO pueden proporcionar una cobertura efectiva en áreas rurales y remotas, lo cual representa una oportunidad significativa para el ámbito peruano. Las instituciones educativas rurales enfrentan desafíos adicionales como la falta de infraestructura eléctrica estable y las dificultades geográficas que complican el despliegue de redes tradicionales.

En el departamento de Lambayeque, específicamente en el distrito de Olmos donde se ubica la I.E. 11088 del Centro Poblado Pasabar Oleoducto, la situación de conectividad presenta características que requieren soluciones tecnológicas especializadas. Foster, (2023) analiza cómo

la conectividad tenue en redes de telecomunicaciones puede impactar la ciudadanía infraestructural, particularmente en áreas rurales donde la calidad del servicio es inconsistente.

Las condiciones geográficas del distrito de Olmos, caracterizadas por terrenos áridos y dispersión poblacional, presentan oportunidades para implementar tecnologías innovadoras. Ismawan & Wandebori, (2024) proponen modelos de sostenibilidad empresarial para infraestructura de telecomunicaciones en áreas rurales, utilizando tecnologías de Acceso Inalámbrico Fijo (FWA) que podrían adaptarse a las condiciones de Lambayeque.

Para instituciones en áreas rurales, la investigación de Duangsuwan & Maw, (2021) compara modelos de pérdida de trayectoria para sistemas de comunicación UAV-IoT aire-tierra, utilizando algoritmos de machine learning que muestran mayor precisión que métodos convencionales. Carbonel et al., (2022) implementan estaciones base autónomas LoRaWAN para redes de comunicación en áreas rurales, logrando comunicación efectiva a distancias de hasta 2 km.

La presente investigación se justifica por la necesidad imperiosa de abordar la brecha digital que afecta específicamente a la Institución Educativa 11088 del Centro Poblado Pasabar Oleoducto. Como señalan Ahmed et al., (2024), asegurar la conectividad global y cerrar la brecha digital entre comunidades urbanas, rurales y remotas representa una visión fundamental de las redes 6G, donde tecnologías como redes small cells y backhaul inalámbrico son esenciales.

El diseño de una infraestructura de comunicaciones para CP Pasabar Oleoducto contribuirá no solo a mejorar la calidad educativa, sino que también generará un modelo replicable. Como demuestran (Situmorang et al., 2023) en su propuesta de infraestructura de telecomunicaciones, basado en indicadores de red y socioeconómicos, es posible desarrollar estrategias de desarrollo a largo plazo que categoricen regiones administrativas y optimicen la inversión en telecomunicaciones. Esta investigación es fundamental para asegurar que las comunidades rurales no queden excluidas de los beneficios de la transformación digital educativa, contribuyendo así al desarrollo equitativo y sostenible del sistema educativo nacional.

La Institución Educativa N.º 11088, Enrique López Albújar, al atender una población escolar en una zona rural, representa un espacio clave donde la conectividad puede generar un impacto directo y significativo en la calidad del aprendizaje. Su ubicación en el CP Pasabar Oleoducto, con condiciones geográficas adversas y limitado acceso tecnológico, acentúa la urgencia de contar con una infraestructura de comunicaciones adecuada. Garantizar la conectividad en este entorno potenciaría el desarrollo académico de sus estudiantes mediante recursos digitales y también fortalecería el trabajo pedagógico de los docentes, reduciendo brechas educativas y promoviendo la equidad en zonas excluidas del progreso tecnológico.

1 **CAPÍTULO I: DISEÑO TEÓRICO**

1.1 Antecedentes

1.1.1 Antecedentes Internacionales

Solorzano (2025), propuso como objetivo, diseñar una infraestructura de red WiMAX que permita mejorar la conectividad en dicha zona rural. La investigación fue de tipo descriptiva con enfoque cuantitativo, utilizando simulaciones con el software Radio Mobile y mapas topográficos digitales. La población estuvo conformada por los habitantes de la parroquia Colonche, siendo la muestra seleccionada en función de la cobertura geográfica. Se utilizaron como instrumentos matrices de datos y análisis de propagación. Los resultados demostraron que la red WiMAX diseñada cubre eficazmente áreas clave, reduciendo la brecha digital. Se concluyó que la propuesta es técnicamente viable y socialmente relevante para mejorar la inclusión digital.

Galarza (2025), planteó como objetivo, el diseñar una red distribuida eficiente para mejorar la conectividad institucional. Se empleó una metodología de tipo descriptiva con enfoque mixto, aplicando encuestas a 224 estudiantes y entrevistas a 3 ingenieros TIC. Se usaron métodos inductivo-deductivo, histórico-lógico, bibliográfico y de análisis de problemas, con instrumentos como cuestionarios estructurados y Cisco Packet Tracer para simulación. Los resultados mostraron infraestructura obsoleta y limitada. Se concluyó que el rediseño propuesto mejoró la eficiencia, cobertura y colaboración académica, impactando favorablemente en el entorno universitario.

Rodas & Arreaga (2022) planteó como objetivo el diseñar e implementar un banco de pruebas de comunicaciones unificadas basado en VoIP para análisis de tráfico telefónico y señalización, utilizando hardware de telefonía IP, software licenciado y código abierto. La

metodología incluyó métodos experimental, analítico, inductivo y exploratorio, estructurando equipos VoIP como teléfonos IP, centrales telefónicas Issabel, Yeastar y 3CX, dispositivos ATA, equipo GOIP GSM, switch y router en un bastidor con cableado estructurado. Utilizaron softphones, hardware VoIP de múltiples marcas y desarrollaron diez prácticas de laboratorio. Los principales resultados incluyeron la configuración exitosa de tres centrales telefónicas diferentes, creación de una red VoIP completa y establecimiento de troncales hacia PSTN. Concluyeron que el banco de pruebas cumple con los objetivos propuestos, proporciona herramientas actualizadas para prácticas estudiantiles y fortalece el aprendizaje en comunicaciones unificadas y tecnologías VoIP.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Chircca (2024) presentó como objetivo, el de implementar una red de banda ancha con parámetros adecuados para optimizar las operaciones de transporte mineral. La metodología empleó un enfoque cuantitativo exploratorio-descriptivo, utilizando tecnologías de fibra óptica, equipos WiFi Mesh y sensores Bluetooth (beacons) para monitoreo vehicular en tiempo real. La población incluyó 86 vehículos mineros (19 scoops, 64 volquetes, 3 camionetas) en mina subterránea. Los resultados evidenciaron una reducción de latencia <200ms, velocidades >200Mbps, incremento del 23% en productividad (10,300 tpd) y recuperación de inversión en <4 meses. Se concluyó que la implementación mejoró significativamente la eficiencia operativa, conectividad y rentabilidad de las operaciones de transporte mineral.

Rosas (2021) propuso como objetivo, el de identificar escenarios futuros que incentiven el uso de las redes nacionales de banda ancha mediante metodología prospectiva. Empleó análisis

multidimensional del entorno político-regulatorio, tecnológico, económico, social y ambiental, identificando 20 drivers mediante vigilancia tecnológica y análisis bibliométrico. Utilizó encuestas Delphi a expertos, análisis estructural MICMAC y método SMIC para construir 32 escenarios prospectivos. Los principales resultados evidenciaron que solo el 3.2% de las redes nacionales están en uso, totalizando más de 40 mil km de fibra óptica. Concluyó que es posible desarrollar acciones presentes para incentivar el uso de las redes, siendo imprescindible el análisis multidimensional del entorno, vigilancia tecnológica y herramientas prospectivas para identificar dependencias ocultas entre factores de cambio.

Sotelo (2021) describió como objetivo de determinar cómo influye la tecnología de banda ancha en el diseño e implementación de un sistema de comunicaciones. Empleó metodología cuantitativa correlacional no exploratoria, utilizando entrevistas y encuestas como instrumentos de recolección de datos aplicados a una muestra de 159 habitantes. Los principales resultados evidenciaron que la capacidad de acceso garantiza un margen de desvanecimiento de 22.43 dB mediante radioenlace de 12.83 km con repetidor pasivo en banda de 7 GHz, latencia de 3-5 ms y capacidad de canal de 855.96 Mbps con modulación 128 QAM. Concluyó que es técnicamente factible y económicamente viable implementar una red de banda ancha híbrida (alámbrica e inalámbrica) que posibilite la integración social y desarrollo económico de poblaciones rurales mediante conexión al proyecto regional de Apurímac.

1.2 Bases Teóricas

1.2.1 Definiciones Fundamentales

- a. **Infraestructura de Comunicaciones:** Conjunto de elementos físicos (hardware) y lógicos (software) que permiten el intercambio de información entre puntos geográficamente distribuidos, incluyendo equipos de transmisión, recepción, conmutación y los medios de transmisión (Yu & Sun, 2022).
- b. **Conectividad Rural:** Disponibilidad de servicios de telecomunicaciones en áreas geográficas caracterizadas por baja densidad poblacional, dispersión geográfica y limitaciones de infraestructura básica (Estela & Jimenez, 2024).
- c. **Brecha Digital:** Disparidad en el acceso, uso y apropiación de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) entre diferentes poblaciones, entre zonas urbanas y rurales (Florea et al., 2024).
- d. **Calidad de Servicio (QoS):** Conjunto de parámetros técnicos que caracterizan el nivel de servicio de un sistema de telecomunicaciones, incluyendo ancho de banda, latencia, jitter, disponibilidad y tasa de error (Banda et al., 2024).
- e. **Ancho de Banda:** Rango de frecuencias disponible para la transmisión de datos, expresado generalmente en bits por segundo (bps) y sus múltiplos (Kbps, Mbps, Gbps) (Biswal & Patel, 2024).
- f. **Latencia:** Tiempo que transcurre desde que se envía una señal hasta que se recibe, crítico para aplicaciones en tiempo real como videoconferencias y educación interactiva (Sotelo, 2021).
- g. **Disponibilidad del Sistema:** Porcentaje de tiempo durante el cual un sistema de comunicaciones mantiene su funcionamiento operativo, típicamente expresado como un porcentaje anual (ej. 99.9%) (Singh et al., 2024).

1.2.2 Terminología Técnica Específica

- a. **Backhaul:** Enlaces de comunicación que conectan redes de acceso local con redes troncales de mayor capacidad, esenciales para proporcionar conectividad a internet (Soret et al., 2021).
- b. **Last Mile (Última Milla):** Segmento final de la red de telecomunicaciones que llega directamente al usuario final, representando típicamente el mayor desafío técnico y económico en áreas rurales (Ketcham et al., 2023).
- c. **FTTH (Fiber to the Home):** Arquitectura de red que lleva fibra óptica directamente hasta el hogar del usuario, proporcionando la máxima capacidad de transmisión (Alipio & Bures, 2023).
- d. **VSAT (Very Small Aperture Terminal):** Terminal satelital de pequeña apertura utilizado para comunicaciones bidireccionales vía satélite, común en implementaciones rurales (Quispe & Vargas, 2022).
- e. **Diversity:** Técnicas para mejorar la confiabilidad de enlaces de comunicación mediante el uso de múltiples caminos, frecuencias o polarizaciones (Liu & Chen, 2022).

1.2.3 Tecnologías de comunicaciones rurales

1.2.3.1 Tecnología de Fibra Óptica

La fibra óptica constituye la tecnología de comunicaciones que ofrece la mayor capacidad y calidad para el establecimiento de redes en entornos rurales. Esta tecnología se caracteriza por proporcionar velocidades de transmisión de hasta varios gigabits por segundo, manteniendo una baja latencia y alta confiabilidad en la transmisión de datos. Una de sus principales fortalezas radica en su inmunidad a las interferencias electromagnéticas, lo que resulta valioso en áreas rurales donde pueden existir diversas

1.2.3.2 Comunicaciones Satelitales

Las comunicaciones satelitales emergen como una solución tecnológica valiosa para áreas rurales remotas donde otras tecnologías terrestres no resultan técnica o económicamente viables. Estos sistemas operan en frecuencias de 11 a 14 GHz dentro de la banda Ku, utilizando satélites geoestacionarios ubicados a aproximadamente 36,000 kilómetros de altura sobre la superficie terrestre. Esta configuración permite lograr una cobertura del 100% del territorio nacional, siempre que exista una vista directa despejada hacia el cielo, y puede proporcionar velocidades de hasta 100-150 Mbps en los sistemas satelitales modernos.

La principal ventaja de las comunicaciones satelitales radica en su capacidad de despliegue rápido, con instalaciones que pueden completarse en un período de 24 a 48 horas. Esta tecnología resulta efectiva para proporcionar cobertura en áreas geográficamente complejas, caracterizadas por terrenos montañosos o de difícil acceso, sin requerir el desarrollo de infraestructura terrestre extensa. Además, los sistemas satelitales demuestran resistencia a desastres naturales locales, manteniendo la conectividad cuando otras infraestructuras terrestres pueden verse comprometidas, las comunicaciones satelitales presentan limitaciones inherentes que afectan su aplicabilidad en ciertos ámbitos educativos.

La latencia inherente del sistema, que oscila entre 500 a 600 milisegundos debido a la distancia que debe recorrer la señal, puede impactar negativamente en aplicaciones de tiempo real como videoconferencias interactivas (Quispe & Vargas, 2022).

Figura 2

Comunicaciones satelitales



1.2.3.3 Enlaces de Microondas

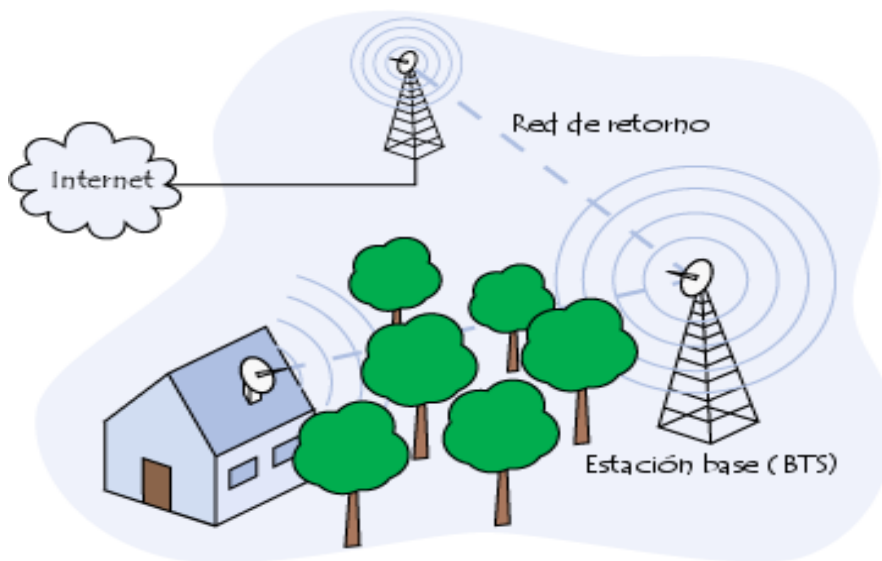
Los sistemas de microondas terrestres constituyen una solución tecnológica intermedia que resulta apropiada para establecer comunicaciones punto a punto en distancias medias dentro del ámbito rural. Estos sistemas operan en frecuencias que van desde 2 hasta 40 GHz, ofreciendo un alcance efectivo de 5 a 50 kilómetros por enlace individual, aunque requieren una línea de vista directa entre los puntos de transmisión y recepción.

Las capacidades de transmisión de estos sistemas varían desde 10 Mbps hasta varios gigabits por segundo, dependiendo de la configuración específica y las condiciones del enlace, en el ámbito de aplicaciones rurales, los enlaces de microondas encuentran diversas aplicaciones estratégicas que los convierten en una tecnología versátil para el desarrollo de

infraestructura de comunicaciones. Estos sistemas resultan particularmente efectivos para establecer conexiones entre poblaciones dispersas, servir como enlaces de backhaul para redes celulares, facilitar la interconexión de instituciones públicas como escuelas y centros de salud, y proporcionar soluciones de respaldo para sistemas de fibra óptica. Esta versatilidad los posiciona como una opción atractiva para arquitecturas de red híbridas en entornos rurales (Pradeep et al., 2024).

Figura 3

Enlace por microondas



1.2.3.4 Tecnologías Celulares (4G/5G)

Las redes móviles han experimentado una evolución significativa que las ha posicionado como proveedoras viables de servicios de banda ancha rural a través de tecnologías avanzadas como LTE y 5G. La tecnología LTE Avanzado ofrece velocidades de descarga de hasta 100 Mbps y puede proporcionar cobertura efectiva hasta distancias de 100 kilómetros cuando se utilizan antenas especializadas. Esta tecnología incorpora sistemas

MIMO (Multiple Input Multiple Output) que mejoran significativamente la eficiencia espectral, optimizando el uso del espectro radioeléctrico disponible, el desarrollo de las tecnologías 5G ha introducido capacidades específicamente diseñadas para entornos rurales, utilizando bandas de baja frecuencia como los 700 MHz que proporcionan mayor alcance de cobertura.

Estas implementaciones incorporan tecnología beamforming que permite extender el alcance de las señales de manera dirigida y ofrecen latencia ultra-baja que resulta crítica para aplicaciones educativas que requieren interactividad en tiempo real. La combinación de estas características posiciona a las tecnologías celulares como una alternativa competitiva para proporcionar conectividad rural, cuando se integran con otras tecnologías en arquitecturas híbridas (Mandal & Mondal, 2024).

Figura 4:
Redes móviles



2 **CAPÍTULO II: MÉTODOS Y MATERIALES**

2.1 Diseño de Contrastación de Hipótesis

Partiendo de los fundamentos teóricos de las infraestructuras de telecomunicaciones, la presente investigación desarrollará un estudio técnico orientado al diseño de una infraestructura de comunicaciones que garantice la conectividad en la Institución Educativa 11088, ubicada en el Centro Poblado Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos, Lambayeque.

Considerando las características del entorno rural, se analizarán diferentes alternativas tecnológicas de telecomunicaciones disponibles, evaluando su adaptabilidad a las condiciones geográficas y sociales específicas de la zona, con el propósito de identificar la solución más adecuada que proporcione un sistema de conectividad estable y sostenible para las necesidades educativas rurales.

El estudio contemplará el análisis de requerimientos técnicos como el cálculo de tráfico de datos, la evaluación comparativa de diversos medios de transmisión disponibles y el análisis de diferentes topologías de red aplicables. Se realizarán simulaciones mediante software especializado para modelar el comportamiento de las distintas alternativas tecnológicas, evaluando parámetros como ancho de banda, latencia, cobertura y calidad de servicio para cada opción considerada.

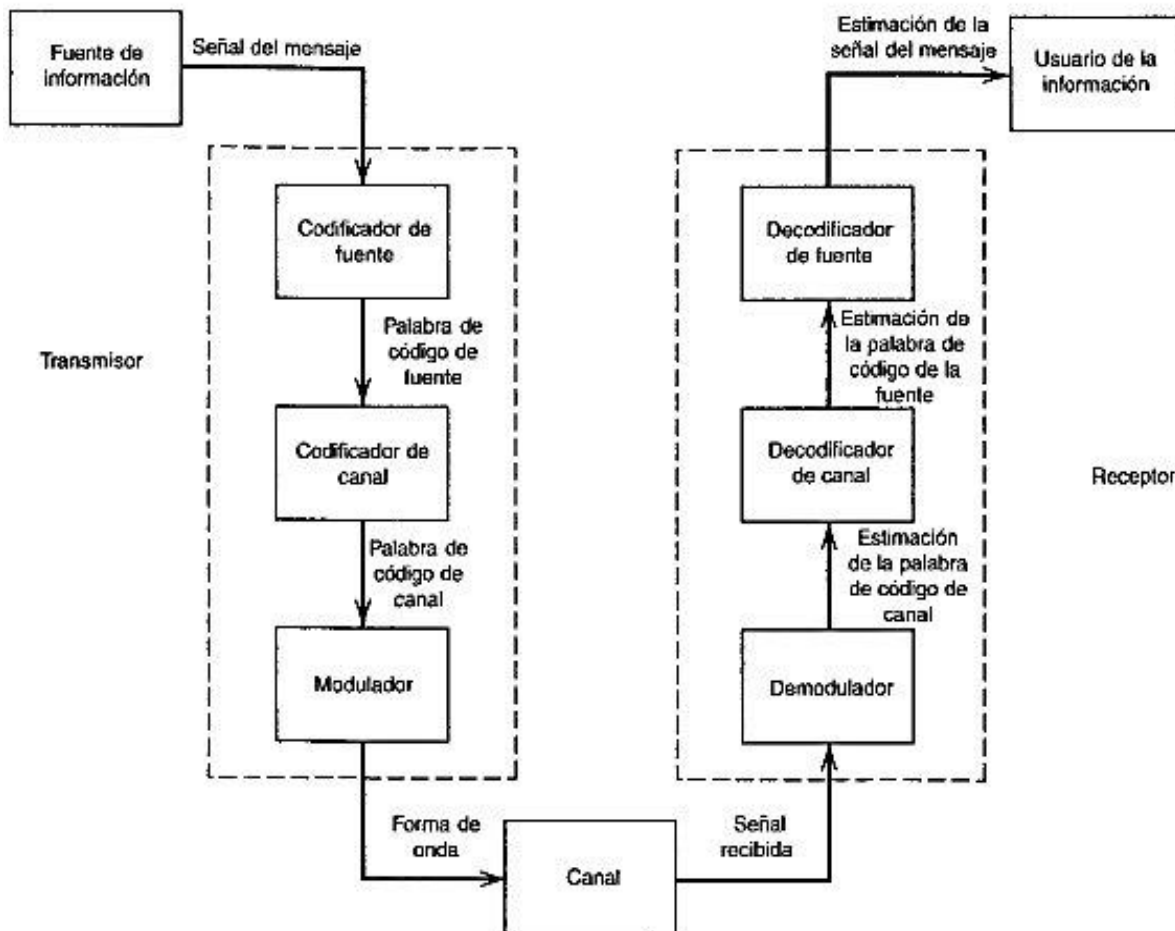
La contrastación de la hipótesis se efectuará comparando el escenario actual de conectividad limitada con los resultados proyectados de las diferentes alternativas de diseño

evaluadas, utilizando indicadores cuantitativos de conectividad, para posteriormente seleccionar la infraestructura más apropiada.

Esta investigación, de tipo aplicada con enfoque cuantitativo y diseño no experimental, validará que el diseño de una infraestructura de comunicaciones adecuadamente seleccionada y planificada puede garantizar la conectividad requerida para actividades educativas digitales, generando una propuesta técnicamente fundamentada que contribuya al cierre de la brecha digital en instituciones educativas rurales.

Figura 5

Diseño de Contrastación Hipótesis



2.2 Población, muestra

2.2.1 Población

La población está compuesta por las configuraciones de infraestructura de comunicaciones orientadas a garantizar conectividad estable en instituciones educativas públicas ubicadas en zonas rurales del Perú, aquellas con limitaciones de infraestructura tecnológica y cobertura digital que presentan condiciones geográficas, sociales y técnicas similares a las del Centro Poblado Pasabar Oleoducto en el distrito de Olmos, región Lambayeque.

2.2.2 Muestra

La muestra estará conformada por modelos de infraestructura de telecomunicaciones diseñados para instituciones educativas rurales que presenten condiciones geográficas, técnicas y de accesibilidad similares a las de la Institución Educativa 11088 del Centro Poblado Pasabar Oleoducto, en el distrito de Olmos, región Lambayeque.

2.3 Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

2.3.1 Técnicas

- Análisis documental.
- Uso de simuladores especializados.

2.3.2 Instrumentos

- Fichas bibliográficas.
- Fichas de contenido.
- Datos de tesis y artículos científicos.

2.3.3 *Equipos y materiales*

- Laptop con procesador de alta velocidad.

3 **CAPÍTULO III: RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Institución Educativa N.º 11088 “Enrique López Albújar”, situada en el Centro Poblado Pasabar Oleoducto, distrito de Olmos (Lambayeque), el acceso a conectividad digital se ve condicionado por un entorno rural de alta complejidad territorial. El relieve mayormente árido, la baja densidad poblacional y la dispersión de las viviendas configuran un escenario donde la provisión de infraestructura tecnológica resulta exigente, tanto por las distancias como por las limitaciones logísticas asociadas. En este contexto, la conectividad deja de ser un complemento y se convierte en un requisito estratégico para sostener procesos educativos pertinentes y continuos, especialmente cuando la institución depende de servicios que requieren estabilidad y disponibilidad para el acceso a recursos pedagógicos, plataformas y comunicación institucional.

El presente capítulo expone los resultados del diseño y evaluación de alternativas de conectividad para la I.E. N.º 11088 del C.P. Pasabar Oleoducto (Olmos, Lambayeque). En primer lugar, se presentan los indicadores del radioenlace PTP en 5.8 GHz, resaltando la capacidad y la disponibilidad proyectadas, así como el comportamiento de modulación y los márgenes del enlace que explican su operación estable, en segundo término, se describen los resultados asociados al trazado de la red GPON y su interconexión con la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, precisando la ruta propuesta y el punto de empalme considerado para habilitar una conectividad de alta capacidad y baja latencia, seguidamente, se incorporan los parámetros de la alternativa satelital GEO, con énfasis en su retardo característico y en su aporte a la continuidad del servicio.

3.1 Resultados

En la actualidad, la I.E. N.º 11088 no dispone de una infraestructura de telecomunicaciones capaz de asegurar un acceso a internet estable y funcional para las necesidades pedagógicas. En el centro poblado no existe disponibilidad de fibra óptica bajo arquitectura GPON, lo que limita la viabilidad de soluciones cableadas de alta capacidad. A ello se suma una cobertura móvil irregular: aunque en determinados puntos se detecta señal 4G, su estabilidad y velocidad resultan insuficientes para sostener de manera continua plataformas educativas, video clases o recursos digitales interactivos. Asimismo, la confiabilidad del suministro eléctrico constituye un factor crítico, debido a que las interrupciones comprometen la operación sostenida de equipos de red. Estas restricciones técnicas se agravan por condiciones socioeconómicas que reducen la posibilidad de acceder a servicios privados de mayor capacidad y por un entorno físico exigente con terrenos áridos y población dispersa, que eleva los costos de cualquier despliegue convencional. En conjunto, este escenario profundiza una brecha digital que se traduce en menores oportunidades de aprendizaje para estudiantes y docentes, al restringir el acceso a contenidos, herramientas colaborativas y entornos virtuales en condiciones comparables con las de instituciones urbanas.

Esta problemática no se traduce únicamente en restricciones para el aprendizaje; también obstaculiza la puesta en marcha de políticas educativas vinculadas con la transformación digital y, en consecuencia, limita la posibilidad de construir oportunidades más equitativas para la comunidad educativa y su entorno regional, resultando necesario plantear una infraestructura de comunicaciones que asegure conectividad confiable y sostenible, concebida desde las

particularidades geográficas y sociales del Centro Poblado Pasabar Oleoducto. Bajo esa orientación, se revisaron investigaciones recientes para identificar tecnologías que han demostrado viabilidad en escenarios rurales comparables, considerando su desempeño técnico, sus requerimientos de despliegue y su pertinencia operativa en contextos de baja densidad poblacional y condiciones ambientales exigentes.

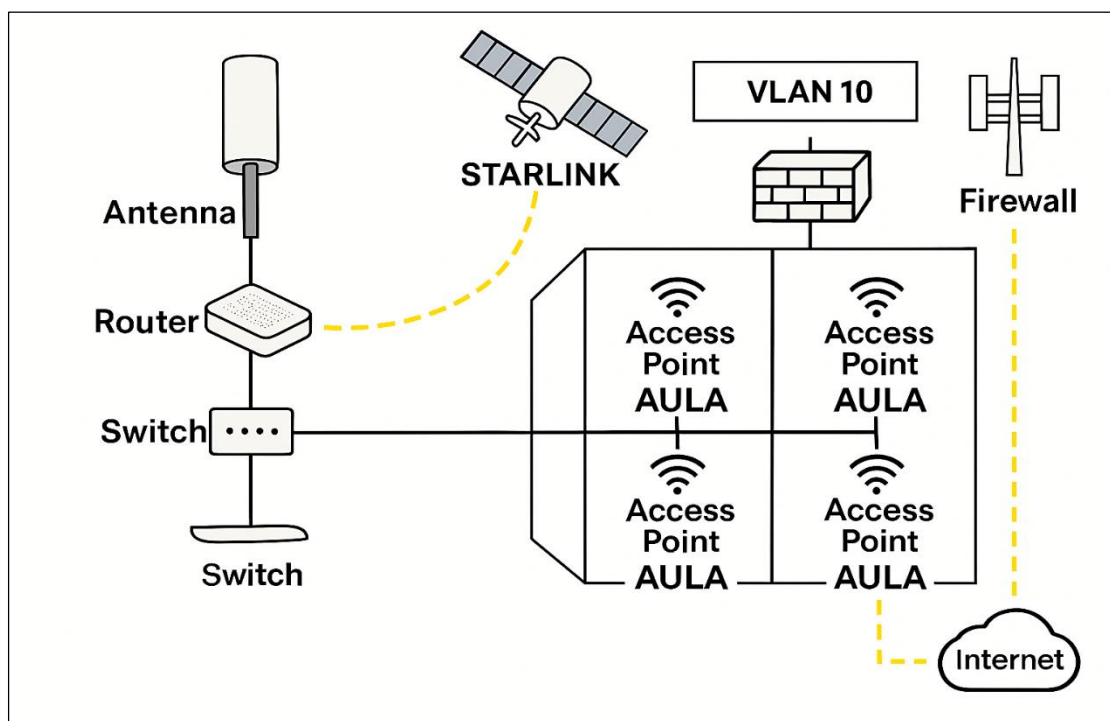
Entre las alternativas tecnológicas con mayor aplicabilidad en contextos rurales se consideran, en primer lugar, las redes satelitales en órbita baja (LEO), como Starlink, por su amplia cobertura y por niveles de latencia típicamente reducidos (20–40 ms), lo que favorece el uso de aplicaciones interactivas en entornos remotos, en segundo término, el Acceso Inalámbrico Fijo (FWA) sobre 4G/5G se perfila como una opción de despliegue relativamente rápido, con rangos de velocidad que pueden ubicarse entre 20 y 300 Mbps, aunque su desempeño está condicionado por la disponibilidad y calidad real de la cobertura móvil. Como alternativa de mayor capacidad y estabilidad, la fibra óptica mediante arquitectura GPON ofrece ventajas claras para la continuidad del servicio; sin embargo, su implementación depende de la factibilidad de extender infraestructura de última milla hasta el centro poblado. Finalmente, se plantean enfoques híbridos que articulan más de una tecnología, por ejemplo, Starlink y FWA, con el propósito de incorporar redundancia, mejorar la continuidad operativa y sostener el servicio frente a variaciones del entorno y de la demanda.

La figura N° 06, representa una arquitectura de red para una institución educativa donde el acceso a Internet se pueda proveer mediante enlace de microondas o a través de Starlink la conectividad se extiende hacia varias aulas mediante puntos de acceso Wi-Fi (Access Point

AULA), permitiendo cobertura inalámbrica en distintos ambientes, incorporando segmentación lógica (VLAN 10) para organizar el tráfico y aplicar políticas diferenciadas, y añade un firewall como elemento de control y protección antes de la salida a Internet, reforzando la seguridad y la gestión del servicio.

Figura 6

Enlaces para I.E 11088



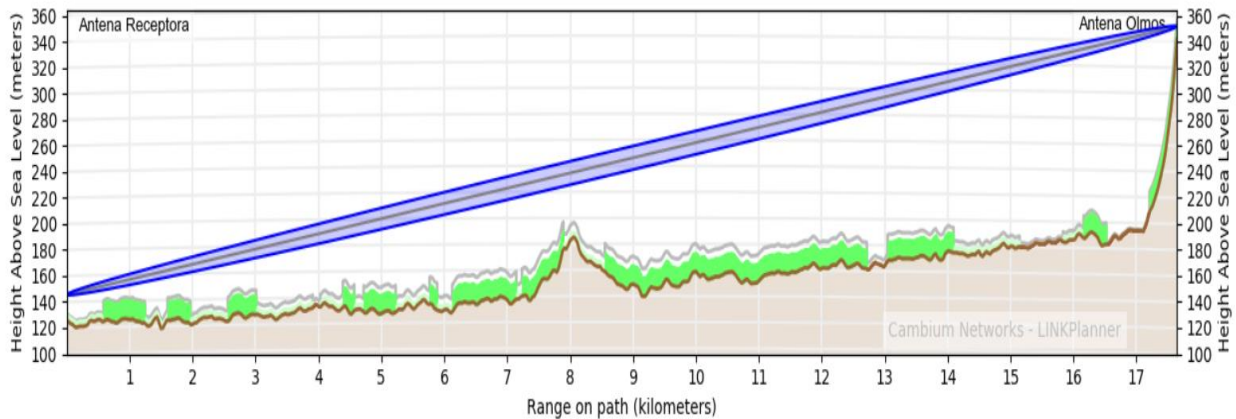
3.1.1 Enlace Inalámbrico Punto a Punto (PTP) como solución de acceso:

La figura N° 07, corresponde a un perfil de trayecto generado en un software de planificación de radioenlaces, en el eje horizontal se representa la distancia del enlace (aprox. 0 a 17 km) y en el eje vertical la altura sobre el nivel del mar, el trazado marrón muestra el relieve del terreno a lo largo de la ruta, mientras que las líneas azules representan la línea de vista del enlace

y su envolvente asociada (zona de despeje/Fresnel), las zonas verdes y grises sugieren obstáculos o cobertura del entorno (clutter/vegetación).

Figura 7

Análisis de línea de vista y zona de Fresnel - enlace PTP hacia la I.E. N.º 11088



La figura N° 08, muestra la configuración manejada para modelar el enlace PTP, donde se definen los parámetros base del radioenlace, se selecciona la banda de 5.8 GHz y el equipo Cambium PTP670, con el timing de red preciso deshabilitado, estableciendo un ancho de canal de 20 MHz, optimización orientada a tráfico IP, sin sincronización, y operación simétrica; además, se habilita Dual Payload, para mejorar la eficiencia de transmisión, además se especifican los límites de modulación, desde un máximo 64QAM 0.92 hasta un mínimo BPSK 0.63, y se define el equipo maestro como la antena emisora.

Figura 8

Parámetros de configuración del enlace PTP670 en 5.8 GHz

Region and Equipment Selection								
Band	Product	Regulation	Precise Network Timing					
5.8 GHz	PTP670	Peru (preliminary)	Disabled					
PTP670 Configuration								
Bandwidth	E1/T1	Optimization	Sync	Symmetry	Dual Payload	Highest Mod Mode	Lowest Ethernet Mode	Master
20 MHz	None	IP	Disabled	Symmetric	Enabled	64QAM 0.92	BPSK 0.63 Sngl	Antena Emisora

Para el enlace inalámbrico punto a punto se ha seleccionado el equipo Cambium PTP 670, para operar en la banda de 5.8 GHz, alternativa empleada en enlaces de datos de mediana y larga distancia por su adecuada relación entre desempeño y disponibilidad dentro del espectro radioeléctrico. La configuración asegura una operación en frecuencia y en niveles que se ajustan a la normativa vigente en el Perú, reduciendo la probabilidad de interferencias con otros sistemas de telecomunicaciones del entorno.

El enlace está configurado con un ancho de canal de 20 MHz, puede mantener una transmisión estable y eficiente, cuidando un balance entre capacidad de datos y uso del espectro disponible, la parametrización está orientada al tráfico IP, en relación con el servicio previsto: acceso a Internet, uso de plataformas educativas, videollamadas y demás recursos digitales que demandan continuidad y desempeño estable en la institución, además se acogió un esquema de operación simétrico, para que la tasa de envío y recepción mantenga equivalencia.

Dual Payload se activa para incrementar poder aprovecharse del enlace, beneficiando un transporte eficiente cuando conviven flujos de tráfico con distintas exigencias, condiciones favorables del canal radioeléctrico, el sistema opera con modulación 64QAM, expresando una calidad de señal adecuada, y un desempeño estable, haciendo frente a escenarios de interferencia o degradación ambiental, ajustando de manera adaptativa el esquema de modulación hasta BPSK, priorizando la continuidad del servicio aun cuando ello implique una reducción de la tasa de transmisión.

En esta arquitectura, la unidad configurada actúa como estación emisora o nodo maestro, responsable de coordinar el enlace y de sostener la transmisión hacia el extremo remoto. En conjunto, estos parámetros consolidan una configuración técnicamente consistente para dotar de conectividad confiable a la I.E. N.º 11088, fortaleciendo el acceso a recursos y herramientas digitales que respaldan el trabajo pedagógico en el distrito de Olmos, Lambayeque.

La figura N° 09, corresponde a la ventana de parametrización de la antena del sitio “Antena Olmos”, observándose la selección de una antena parabólica Cambium Networks de 6 ft con ganancia 38.3 dBi, junto con la definición de una altura de instalación de 10 m, además, se activan la mitigación de reflexiones, y se fija un espaciamiento de diversidad de 5 m, mejorando el enlace frente a multitrayectoria, también se muestra una pérdida por cable de 0.6 dB y un tramo de 3 m (RDN5785), se observa también los límites operativos estimados: EIRP máximo de 35.7 dBm y potencia máxima de -2.0 dBm, parámetros que se encuadran en el desempeño esperado y la conformidad regulatoria del enlace.

Figura 9

Configuración de la antena emisora “Antena Olmos”

The screenshot shows a configuration window titled "Antena Olmos". At the top, a dropdown menu is set to "Cambium Networks 6ft Parabolic N050067D019 (38.3dBi)". Below this, the "Antenna Height" is set to "10.0 meters" with a note "(Max height at site is 10.0 m)". The "Spatial Diversity" checkbox is checked. "Diversity Spacing" is set to "5.0 meters" and "Reflection Mitigation" is checked. "Cable Loss" is "0.6 dB" and "Calculate" is checked. A dropdown menu is set to "RDN5785" with a value of "3 meters". The "Maximum EIRP" is "35.7 dBm" and "Maximum Power" is "-2.0 dBm", both with "User limit" checkboxes that are unchecked. There is an unchecked "Interference" checkbox. At the bottom, there is a "MAC Address" input field.

En la estación principal del enlace, ubicada en Olmos, se seleccionó e instaló una antena parabólica Cambium Networks de 6 pies, modelo N050067D019, con ganancia de 38.3 dBi, apropiada cuando se requieren concentración de energía y desempeño sostenido, montándose a 10 metros de altura, con el propósito de favorecer la línea de vista hacia el extremo remoto y disminuir el riesgo de obstrucciones a lo largo del trayecto.

Se habilitó la diversidad espacial con una separación de 5 metros entre antenas, habilitándose la función de mitigación de reflexiones, orientada a reducir efectos de multitrayectoria, específicamente donde existen superficies con potencial reflectante, para la interconexión RF, se valuó una pérdida por cable de 0.6 dB mediante el uso de cable RDN5785 de 3 metros, con el propósito de mantener baja atenuación y estabilidad de señal, además se estableció un EIRP máximo de 35.7 dBm y una potencia de transmisión de -2.0 dBm, siempre relacionado con criterios regulatorios y de eficiencia operativa.

La figura N° 10, se observa para la “Antena Receptora” la selección de una antena parabólica Cambium Networks de 6 ft, modelo N050067D019 con ganancia de 38.3 dBi, y una altura de instalación de 20 m, demás, se configura diversidad espacial con separación de 5 m y se elige la función de Reflection Mitigation, con el propósito de reducir efectos de multitrayectoria, para el tramo de alimentación RF presenta una pérdida por cable de 0.6 dB, asociada a un cable RDN5785 de 3 m, para mantener baja atenuación. también, se reportan valores de referencia para el límite de emisión: EIRP máximo de 35.7 dBm y potencia máxima de -2.0 dBm, parámetros importantes en el desempeño del enlace y su alineación regulatoria.

Figura 10

Configuración de la antena “Receptora”

Antena Receptora	
Cambium Networks 6ft Parabolic N050067D019 (38.3dBi)	
Antenna Height :	20.0 meters (Max height at site is 20.0 m)
Spatial Diversity :	<input checked="" type="checkbox"/>
Diversity Spacing :	5.0 meters <input checked="" type="checkbox"/> Reflection Mitigation
Cable Loss :	0.6 dB <input checked="" type="checkbox"/> Calculate RDN5785 3 meters
Maximum EIRP :	35.7 dBm <input type="checkbox"/> User limit
Maximum Power :	-2.0 dBm <input type="checkbox"/> User limit
<input type="checkbox"/> Interference :	
MAC Address :	

La “Antena Receptora” tiene antena parabólica Cambium Networks de 6 pies, modelo N050067D019, con ganancia de 38.3 dBi, con una configuración simétrica respecto al extremo principal y en condiciones equivalentes de radiación y recepción, instalándose a 20 metros de altura, con el propósito de asegurar una línea de vista más favorable y minimizar la posibilidad de obstrucciones que degraden el desempeño del enlace.

Además, se incorporó diversidad espacial con separación de 5 metros y habilitándose la función de mitigación de reflexiones, orientada a reducir efectos de multitrayectoria y a sostener estabilidad ante variaciones del canal, en la alimentación RF se mantuvo una pérdida por cable de 0.6 dB, empleando cable RDN5785 de 3 metros, lo que contribuye a la consistencia del diseño y a una atenuación controlada, presenta un EIRP máximo de 35.7 dBm y potencia de transmisión de -2.0 dBm, que garantiza el cumplimiento regulatorio y eficiencia operativa.

La figura N° 11, presenta las especificaciones técnicas de una antena parabólica modelo N050067D019A (tipo dish), propuesta a enlaces punto a punto en la banda de 5.25 - 5.85 GHz, especificándose un diámetro de 1.8 m (6 ft) y una ganancia aproximada de 38.4 dBi, características relacionadas a la alta directividad y a la concentración de energía, base para mantener enlaces de mayor alcance y estabilidad, además se indica polarización simple (Single-Pol), con conector N-Type hembra, e incluye soportes de montaje, facilitando su integración en el diseño del radioenlace y asegurando compatibilidad con la infraestructura de instalación proyectada.

Figura 11

Antena de alta ganancia para radioenlace

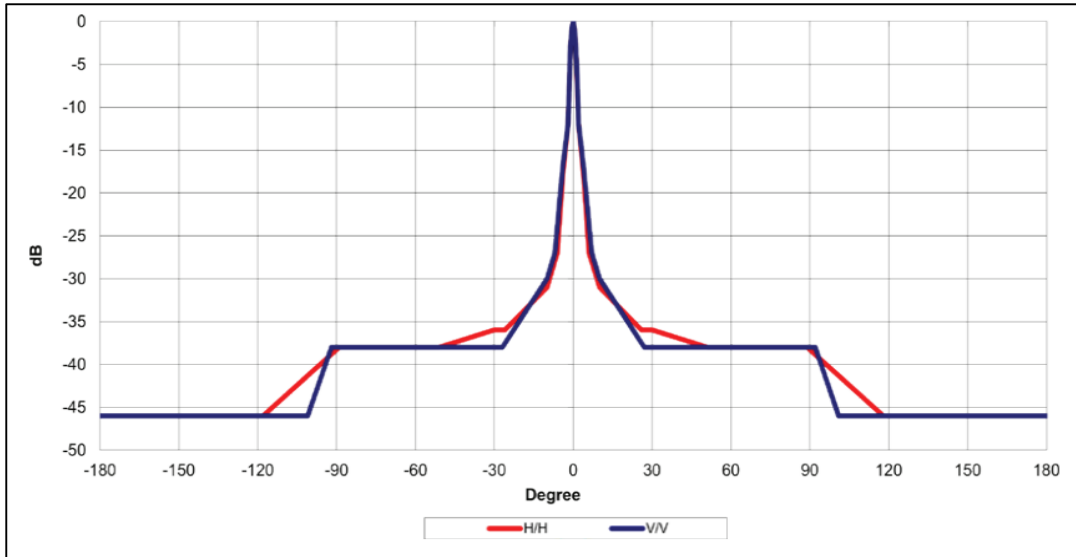


La figura N°12, muestra el diagrama de radiación de una antena directiva, representa la ganancia relativa en dB en función del ángulo (-180° a 180°). Se comparan dos cortes/polarizaciones: H/H (trazo rojo) y V/V (trazo azul), en ambos casos se observa un lóbulo principal muy estrecho centrado en 0°, evidenciando alta directividad y concentración de energía en la dirección de apuntamiento, condición clave para enlaces PTP de mayor alcance., además se observa que fuera del eje, la ganancia cae de forma marcada y se aprecian lóbulos laterales controlados, contribuyendo a reducir captación y emisión en direcciones no deseadas, optimizando

la relación señal/interferencia y la estabilidad del enlace en entornos con potencial congestión radioeléctrica.

Figura 12

Patrón de radiación de la antena: (H/H y V/V)



La figura N° 12, presenta el patrón de radiación azimutal de una antena parabólica, expresado en dB en función del ángulo en grados, y compara el comportamiento en polarización horizontal (H/H) y polarización vertical (V/V), evidenciando un lóbulo principal centrado en 0°, con ganancia máxima normalizada cercana a 0 dB y un haz estrecho, característica por la alta directividad que se espera en este tipo de antenas para enlaces PTP, mientras que el ángulo se separa del eje, la ganancia decrece con rapidez: desde aproximadamente $\pm 10^\circ$ se aprecia una marcada atenuación que llega alrededor de -20 dB, mientras que entre $\pm 30^\circ$ y $\pm 90^\circ$ se mantiene, además se observa que, en el rango de -30 a -40 dB, reflejando un rechazo efectivo de señales fuera del eje principal, en la región posterior, entre $\pm 120^\circ$ y $\pm 180^\circ$, la radiación se degrada hasta valores colindantes a -45 dB, minimizando aportes no deseados por interferencias o reflexiones,

también la alta similitud entre las curvas H/H y V/V muestran un desempeño relacionado en ambas polarizaciones, condición favorable ante variaciones de polarización.

La tabla N° 01, presenta un resumen de desempeño del enlace hacia la Antena Olmos, donde se muestra una potencia recibida predicha de -59 dBm (± 5 dB), valor que vale como referencia para deducir el margen operativo del radioenlace, en términos de capacidad, el modelo estima un throughput IP medio de 48.26 Mbps, ante a un requerimiento de 40.0 Mbps, lo que equivale a 121% del mínimo exigido, en disponibilidad, el criterio requerido es 99.9900%, mientras que la disponibilidad predicha asciende a 99.9996%, lo que muestra que la configuración evaluada no solo cumple, sino que supera los umbrales de servicio definidos para sostener conectividad estable en la institución.

Tabla 1

Indicadores de rendimiento del enlace PTP - Antena Olmos

Performance to Antena Olmos	
Predicted Receive Power :	-59 dBm \pm 5 dB
Mean IP Predicted :	48.26 Mbps
Mean IP Required :	40.0 Mbps
% of Required IP :	121 %
Min IP Required :	40.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	99.9996 %

Los indicadores de desempeño del enlace en dirección al punto principal – Olmos, reflejan una conducta favorable para cumplir los niveles de servicio proyectados, la potencia recibida estimada se ubica en -59 dBm (± 5 dB), un rango que propone condiciones de señal sólidas para

sostener un funcionamiento estable del enlace y preservar la calidad de transmisión en escenarios operativos comunes, la capacidad, proyecta una tasa IP media de 48.26 Mbps, mientras que el umbral está en 40.0 Mbps, el enlace alcanza el 121% de la capacidad requerida, mostrando confiabilidad ante variaciones del canal o incrementos moderados de demanda, el requerimiento mínimo establecido establece una disponibilidad de 99.990%, y la disponibilidad predicha asciende a 99.9996%, ubicando al enlace en un nivel de confiabilidad muy alto, con una probabilidad de interrupciones reducida.

La tabla N° 02, resume el rendimiento del enlace receptor, con una potencia recibida estimada de -59 dBm (± 5 dB), mostrando un nivel de señal en operación estable, la capacidad, predice un throughput IP medio de 48.26 Mbps ante un requerimiento de 40.0 Mbps, alcanzando el 121% del mínimo exigido, incorporando un margen operativo para variaciones del canal, la continuidad muestra una disponibilidad mínima requerida de 99.9900% y la disponibilidad predicha asciende a 99.9996%, mostrando que el enlace, en este extremo, cumple el criterio de confiabilidad para la conectividad de la institución.

Tabla 2

Indicadores de rendimiento del enlace PTP en la estación receptora

Performance to Antena Receptora	
Predicted Receive Power :	-59 dBm \pm 5 dB
Mean IP Predicted :	48.26 Mbps
Mean IP Required :	40.0 Mbps
% of Required IP :	121 %
Min IP Required :	40.0 Mbps
Min IP Availability Required :	99.9900 %
Min IP Availability Predicted :	99.9996 %

En la tabla N° 02, que muestra los indicadores de rendimiento del enlace PTP en la Estación Receptora, permite verificar, con criterios cuantitativos, el desempeño de los niveles de servicio, la potencia recibida estimada se sitúa en -59 dBm (± 5 dB), calculado a partir de las pérdidas del trayecto y de la ganancia de las antenas; este rango consistente para sostener un funcionamiento estable del enlace, incluso en configuraciones orientadas a alta capacidad, en cuanto al rendimiento, se proyecta una tasa IP media de 48.26 Mbps, superando el umbral mínimo definido para el diseño (40.0 Mbps), equivaliendo al 121% de la capacidad requerida, aportando un margen operativo que reduce la vulnerabilidad ante fluctuaciones del canal o incrementos moderados de demanda, para asegurar la continuidad del servicio, la exigencia mínima calculada es de 99.990% de disponibilidad, mientras que la disponibilidad predicha asciende a 99.9996%, situando el enlace en un nivel de confiabilidad muy alto y con probabilidad de interrupciones significativamente baja.

La tabla N° 03, muestra las métricas de enlace centradas en capacidad agregada y balance de pérdidas, se reporta un Aggregate IP Throughput de 96.52 Mbps, y una disponibilidad del modo de modulación (Lowest Mode Availability) de 100.0000%, que indica continuidad operativa aun en condiciones menos favorables del canal, además, se presenta un margen de ganancia del sistema de 32.40 dB, con una pérdida en espacio libre de 132.63 dB, una absorción gaseosa de 0.19 dB y pérdida adicional nula, resultando en una pérdida total de trayecto de 132.81 dB.

La capacidad IP agregada alcanza 96.52 Mbps, excediendo con amplitud el umbral mínimo de 40 Mbps y deja un margen funcional para crecimiento de demanda y convivencia de múltiples servicios, el indicador de Lowest Mode Availability reporta el 100.0000%, muestra que, incluso

cuando el sistema opera en su modo más robusto y conservador, se mantiene la conectividad prevista.

Tabla 3

Indicadores de rendimiento capacidad y pérdidas del enlace

Aggregate IP Throughput :	96.52 Mbps
Lowest Mode Availability :	100.0000 %
<hr/>	
System Gain Margin :	32.40 dB
Free Space Path Loss :	132.63 dB
Gaseous Absorption Loss :	0.19 dB
Excess Path Loss :	0.00 dB
Total Path Loss :	132.81 dB

System Gain Margin es de 32.40 dB, aportando tolerancia frente a variaciones del canal, atenuaciones por condiciones meteorológicas y efectos de desvanecimiento, la pérdida por espacio libre (FSPL) se calcula en 132.63 dB, valor esperado para enlaces de esta distancia y banda de operación, mientras que la absorción gaseosa se mantiene en 0.19 dB, Excess Path Loss es 0.00 dB, mostrando un trayecto sin pérdidas adicionales por obstrucciones relevantes. Resultando una pérdida total de trayecto en 132.81 dB, compensada por la ganancia del sistema y el margen disponible.

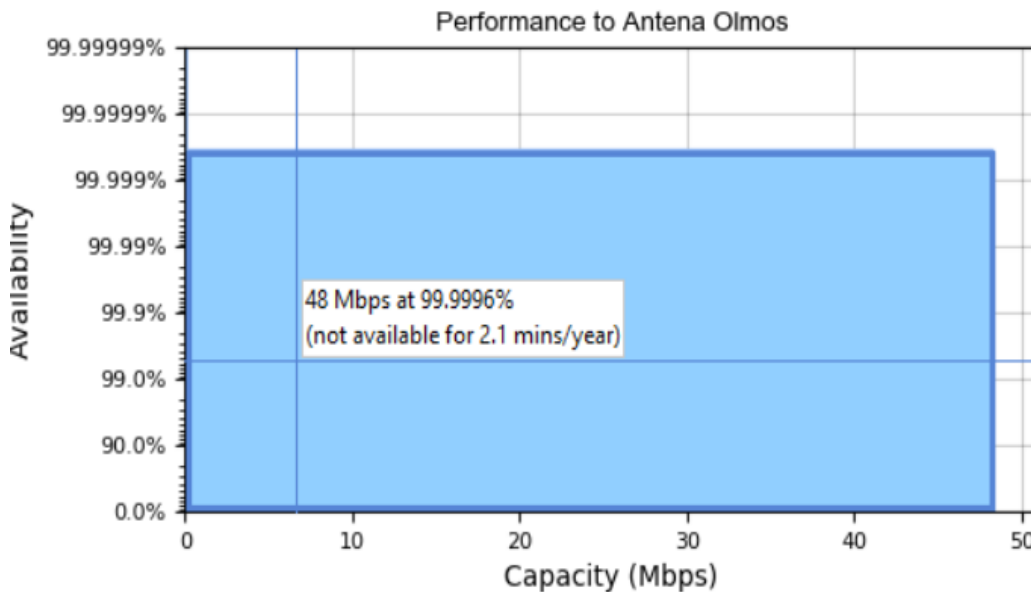
La figura N° 13, muestra la capacidad (Mbps) y la disponibilidad (%) para el enlace hacia la Antena Olmos, evidenciando la relación entre el throughput alcanzable y el nivel de continuidad del servicio, se muestra que el enlace puede sostener 48 Mbps con una disponibilidad de 99.9996%, equivalente a una indisponibilidad del orden de 2.1 minutos por año, los resultados de desempeño,

indican que el enlace no solo cumple con un umbral de capacidad, sino que lo hace con un nivel de confiabilidad muy alto.

Los resultados de la simulación muestran que, el enlace puede mantener 48 Mbps y una disponibilidad de 99.9996%, reflejando un nivel de confiabilidad alto, Not available for 2.1 mins/year, indica una indisponibilidad aproximada de 2.1 minutos por año, reflejando una alta disponibilidad, el diseño no solo satisface el umbral mínimo de 40 Mbps, sino que lo supera con un margen del 21%, mostrando espacio operativo ante variaciones del canal o incrementos moderados de demanda.

Figura 13

Desempeño capacidad - disponibilidad del enlace "Antena Olmos"



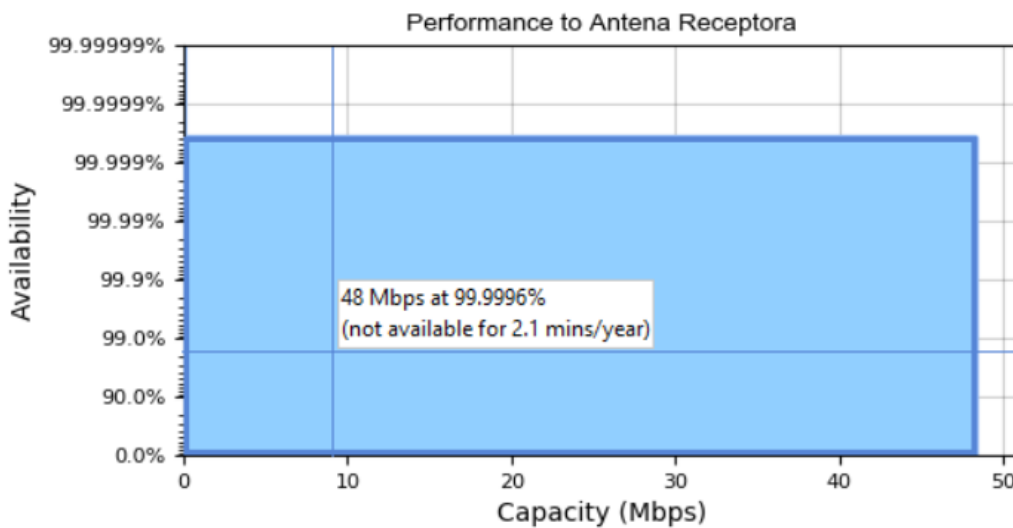
La figura N° 14, presenta la relación capacidad (Mbps) y la disponibilidad (%) para el enlace hacia la Antena Receptora, indica que el sistema puede sostener cerca de 48 Mbps y una disponibilidad de 99.9996%, equivalente a una indisponibilidad del orden de 2.1 minutos por año,

el área en azul demarca el rango de operación donde el enlace conserva niveles altos de capacidad y continuidad, demostrando un desempeño consistente en el extremo receptor y resguardando la estabilidad requerida para servicios que dependen de conectividad sostenida.

Los resultados indican que el diseño del enlace hacia la antena receptora presenta un desempeño consistente de capacidad y continuidad del servicio, la disponibilidad proyectada de 99.9996% se traduce en una operación prácticamente ininterrumpida, la capacidad sostenida de 48 Mbps supera el umbral mínimo definido en 21%, brindando holgura para atender incrementos de demanda y sostener aplicaciones que requieren estabilidad, el área sombreada en azul demarca el rango operativo en el que el sistema conserva valores de capacidad y disponibilidad a lo largo del dominio analizado.

Figura 14

Desempeño capacidad - disponibilidad del enlace "Antena Receptora"



El análisis muestra que el enlace mantiene la mayor parte del tiempo en 256QAM, , mejorado por un fade margin de 8.05 dB y condiciones de propagación adecuadas, en contraste,

los modos inferiores como QPSK y BPSK quedan como mecanismos de respaldo, además, la capacidad agregada máxima de 96.52 Mbps, con una disponibilidad superior al 99.999%, mostrando que la configuración satisface exigencias de alto rendimiento y alta disponibilidad para la conectividad.

La figura N° 15, muestra una vista satelital del área del trazado del enlace punto a punto entre Antena Olmos y Antena Receptora, ubicaciones georreferenciadas con marcadores rojos y que representa la ruta de propagación del radioenlace, se evidencia un relieve predominantemente montañoso con presencia de un corredor verde asociado a vegetación que ayuda a contextualizar el trayecto y a interpretar las condiciones topográficas a considerarse en la planificación del enlace (alineamiento, despeje y selección de alturas de instalación).

Figura 15

Trazado geográfico del enlace PTP entre Antena Olmos y Antena



3.1.2 Enlace GPON como solución de acceso:

La figura N° 16, muestra la vista satelital de una zona colindante de Olmos, donde se ha trazado el recorrido de la infraestructura de fibra óptica asociada al corredor vial, observándose la ruta de tendido que aprovecha servidumbre existente para facilitar el despliegue, desde ese corredor principal, el trazo se desvía hacia el interior del centro poblado mediante un ramal que conecta con el punto identificado como “Poste inicial Fibra”, representando un punto de derivación, esta figura muestra el paso de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica por Olmos y permite visualizar, a nivel territorial, la lógica de acceso y acercamiento de la infraestructura troncal hacia un punto de enlace o empalme.

Figura 16

Trazado referencial de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica en Olmos



Se observa la disposición de postes y trazado de fibra óptica en una zona rural. Se identifican dos elementos principales:

- **Línea roja:**

Representa la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), que corre paralela a la carretera principal. Esta es la infraestructura troncal existente que provee conectividad a nivel nacional.

- **Línea amarilla:**

Indica la nueva red de fibra óptica tendida para la Institución Educativa N° 11088, diseñada para enlazar el punto de acceso a la RDNFO con la ubicación del centro educativo.

- ✓ El trazado inicia en el Poste Inicial Fibra y continúa por los postes numerados del 2 al 8.
- ✓ La ruta amarilla se conecta con la línea roja en el Poste 4, que actúa como punto de interconexión entre la red nacional y la red local.

- **Distribución de postes**

- ✓ **Poste Inicial Fibra:** Punto de inicio del tendido hacia la institución educativa.
- ✓ **Postes 2 y 3:** Segmento interno que conecta la infraestructura educativa con la carretera.
- ✓ **Postes 4 a 8:** Segmento paralelo a la carretera, asegurando la continuidad del enlace y la correcta distribución de la fibra.

El trazado admite articular directamente la infraestructura troncal de la Red Dorsal de Fibra Óptica del Perú con la red local proyectada, prevaleciendo una ruta que aprovecha el corredor existente, contribuyendo a contener los costos de tendido y a simplificar las labores de instalación, además, se evita desvíos y cruces innecesarios, lo que reduce situaciones de vulnerabilidad por

interferencias, maniobras complejas de montaje o afectaciones por tránsito y actividades cercanas a la vía.

El trazado se articula directamente con la infraestructura troncal de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO), simbolizada en línea roja, habilitando el acceso a un enlace de alta capacidad y, además, impide extensiones innecesarias que elevarían los costos de interconexión, el punto de conexión está en el Poste 4, por su proximidad inmediata al corredor vial, donde se encuentra instalada la red nacional, esto facilita la derivación hacia la red local proyectada y simplifica el tendido y las labores de empalme y aseguramiento del cableado.

El trayecto de color amarillo es criterio de eficiencia de tendido, conservando un recorrido lineal y lo más corto posible desde el punto de conexión hasta la I.E. N.º 11088, elección que reduce la longitud total de fibra requerida por lo tanto, optimiza el costo de materiales y accesorios asociados al despliegue, además, un trazado compacto, simplifica costos de instalación, inspección y mantenimiento, reduciendo puntos potenciales de falla y brindando una operación más gestionable en el tiempo.

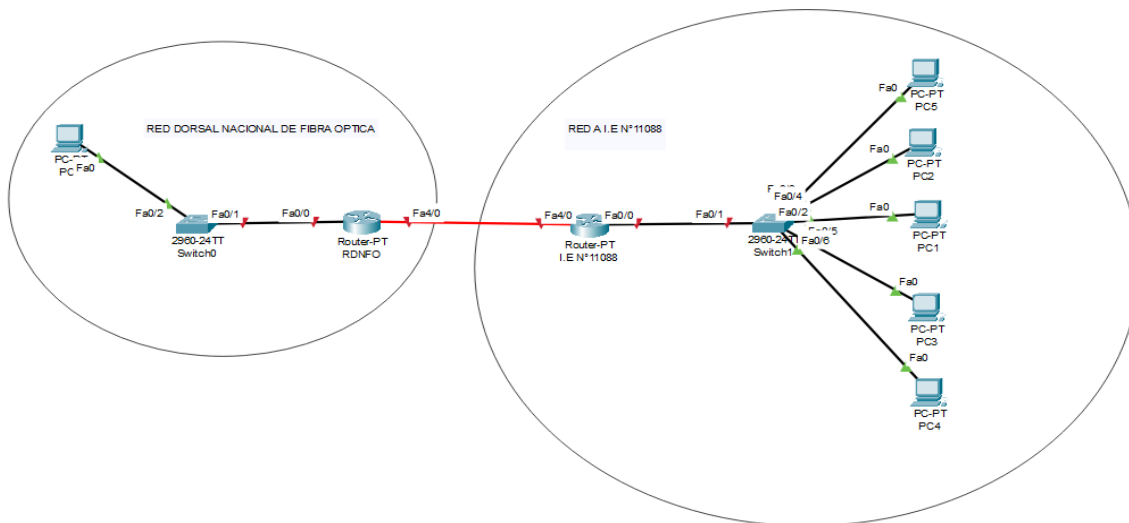
Se prioriza el uso de infraestructura existente, tomando en cuenta postes ya instalados en el área (del Poste 2 al Poste 8), disminuyendo la necesidad de nuevas estructuras, optimizando los tiempos al realizando solo el tendido y fijación del cableado, mantener un tramo paralelo a la carretera facilita la accesibilidad para inspecciones, correctivos y mantenimiento, reduciendo depender de rutas internas con tránsito restringido o condiciones de acceso de riesgo, se evita

cruces innecesarios sobre terrenos irregulares, manteniendo una trayectoria que minimiza la exposición a daños por operaciones humanas, fauna, vehículos o factores ambientales.

La figura N° 17, muestra la topología lógica de interconexión entre la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) con la red local de la I.E. N.° 11088, la RDNFO muestra un switch que concentra el tráfico y un router actuando como puerta de enlace; enlazándose mediante un tramo troncal (línea roja) hacia el router de la I.E. N.° 11088, conectándose a un switch de distribución, desde este switch se distribuye la conectividad hacia varios equipos finales (PC1–PC5), se muestra una estructura jerárquica de acceso donde el enlace de fibra es el backhaul y la LAN escolar realiza la distribución interna del servicio.

Figura 17

Topología de interconexión RDNFO - I.E. N.° 11088



La propuesta está desarrollada en Cisco Packet Tracer, de la interconexión entre la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica (RDNFO) y la red interna de la Institución Educativa N.° 11088,

se sintetiza la arquitectura base para sostener una conectividad de alta capacidad y operación confiable entre el punto de acceso de la RDNFO y los equipos finales dentro de la institución.

Descripción de la estructura

- **Segmento izquierdo (Red Dorsal Nacional):**

Incluye un router denominado RDNFO, conectado a un switch de acceso (modelo 2960) y un PC de prueba. Este segmento simula la infraestructura troncal que provee conectividad a nivel nacional.

- **Segmento derecho (Red de la Institución Educativa):**

Compuesto por un router IE N°11088, conectado a un switch de distribución (modelo 2960), el cual enlaza a cinco equipos terminales (PC1 a PC5) que representan las estaciones de trabajo del centro educativo.

- **Enlace rojo:** Corresponde al tramo WAN simulado como fibra óptica, que interconecta el router RDNFO con el router IE N°11088, garantizando la comunicación entre la red nacional y la institución.

- **Enlaces negros:** Representan las conexiones LAN internas dentro de cada segmento, utilizando interfaces FastEthernet.

- Cada dispositivo está identificado con su interfaz correspondiente (Fa0/x), lo que permite visualizar la asignación de puertos en la simulación.

- La disposición lógica refleja una arquitectura jerárquica simple, donde el router actúa como punto de interconexión entre la red WAN y la red LAN del colegio.

- Esta topología es escalable, permitiendo la incorporación de VLANs, servicios DHCP y políticas de seguridad para segmentación de tráfico.

La figura N° 18, muestra una caja terminal de fibra óptica (tipo NAP/CTO) para instalación en exterior o pared, se usa como punto de terminación, distribución y gestión del cableado, se observa el provisión de reserva (bandeja/aro de gestión) para conservar el radio de curvatura, así como conectores/adaptadores en color verde usados en terminaciones SC/APC, la propuesta está orientada a proteger empalmes y conectores, facilitando el mantenimiento y asegurando un ordenamiento físico que minimice pérdidas por curvaturas, manipulación o exposición ambiental, aspectos críticos cuando se diseña la interconexión y distribución de una red basada en fibra.

Figura 18

Caja NAP/CTO para distribución y mantenimiento en campo

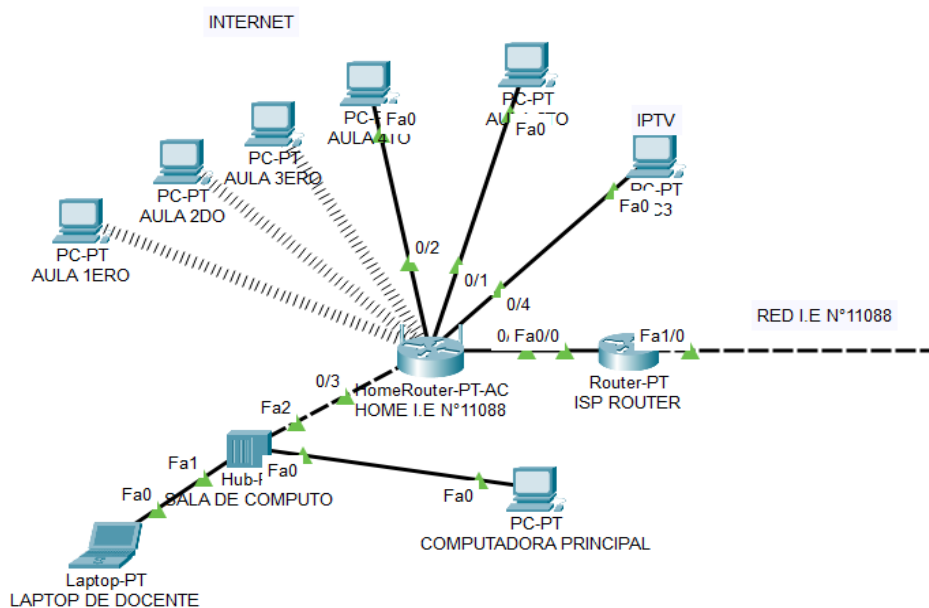


La figura N° 19, muestra la topología lógica de la red interna para la I.E. N.° 11088 (tipo Packet Tracer), el router inalámbrico “HomeRouter-PT-AC” opera como nodo central de distribución, conectándose a varios terminales e integrándose a un equipo dedicado a IPTV, brindando convivencia de servicios de datos y multimedia, el router se enlaza a un router del ISP, que actúa como puerta de salida hacia la red externa/Internet y como punto de interconexión con

la RED I.E. N.º 11088, también se observa el segmento cableado interconectándose a una sala de cómputo con un hub/switch, una laptop docente y una computadora principal, brindando un esquema mixto de acceso (cableado e inalámbrico) orientado a distribuir conectividad de modo organizado en los ambientes del colegio.

Figura 19

Topología de red interna de la I.E. N.º 11088:



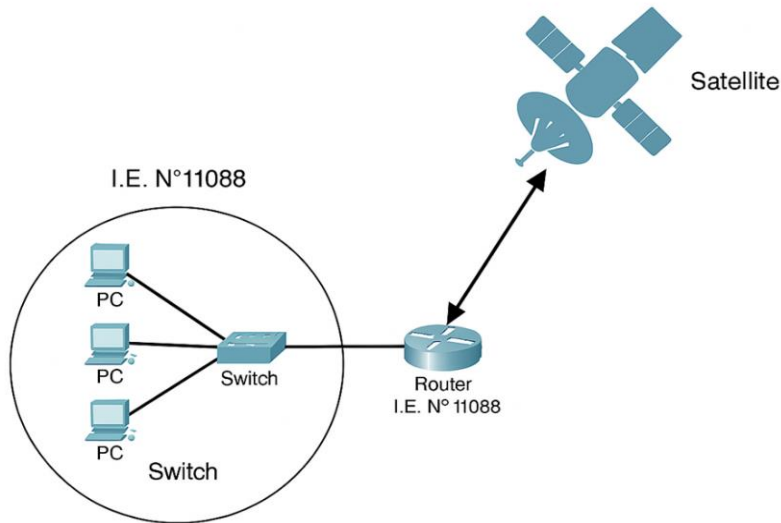
3.1.3 Enlace Satelital como solución de acceso

La figura N.º 07, ilustra una arquitectura de conectividad para la I.E. N.º 11088 en la que la red local del colegio compuesta por varios equipos (PC) conectados a un switch se enlaza a un router institucional, el cual establece la salida a Internet mediante un enlace satelital. El esquema enfatiza una estructura sencilla y jerárquica: distribución cableada interna para los usuarios finales y un

punto único de agregación (router) encargado de la comunicación ascendente hacia el satélite, facilitando la administración del tráfico y la supervisión del acceso externo.

Figura 20

Topología de acceso satelital para la I.E. N.º 11088 - CP. Pasabar Oleoducto



La opción satelital basada en constelaciones LEO, como Starlink, es pertinente para área alejadas de difícil acceso y donde la infraestructura terrestre es nula, limitada o de difícil despliegue, una fortaleza de esta elección radica en la cobertura amplia y en una latencia reducida, alrededor en el orden de 20 a 40 ms, activando servicios como videoconferencias, plataformas educativas y un acceso al internet constante, con una puesta en operación muy rápida, aunque, se encuentra condicionado por el acceso al suministro eléctrico y por costos asociados al servicio, factores que deben incluirse en el análisis de sostenibilidad.

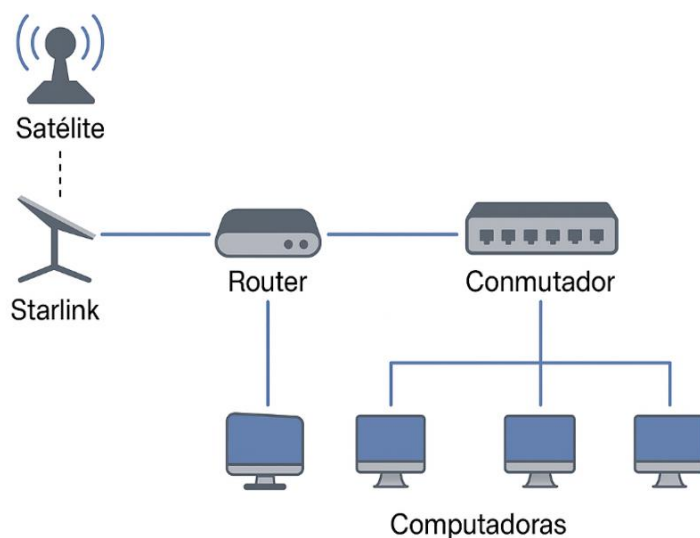
La propuesta incluye una antena satelital instalada en la I.E. N.º 11088, conectada al router, luego se distribuye hacia la red interna a través de un switch y los equipos terminales colocados

en aulas y ambientes de cómputo, esperando velocidades promedio en el rango de 50 a 250 Mbps, con disponibilidad superior al 99.9%, condicionada a condiciones de visibilidad del cielo y continuidad energética y al no depender de línea de vista terrestre, admite mantener conectividad incluso en lugares donde el relieve y la dispersión poblacional restringen soluciones convencionales.

La figura N° 21, muestra la topología del enlace satelital para la I.E. N.° 11088, se observa que el acceso a Internet es a través de Starlink, la conectividad parte del satélite hacia la antena Starlink instalada en la institución educativa, entregándose a un router, actuando como punto de enrutamiento y administración básica del acceso, la conectividad se distribuye a través de un conmutador (switch) hacia varias computadoras de la red local, mostrando una arquitectura simple y funcional: un enlace de acceso (WAN satelital) y una red de distribución (LAN) para los usuarios finales, mostrando claridad del recorrido del tráfico y la facilidad de expansión al incrementar puertos o incorporar equipos adicionales en el conmutador.

Figura 21

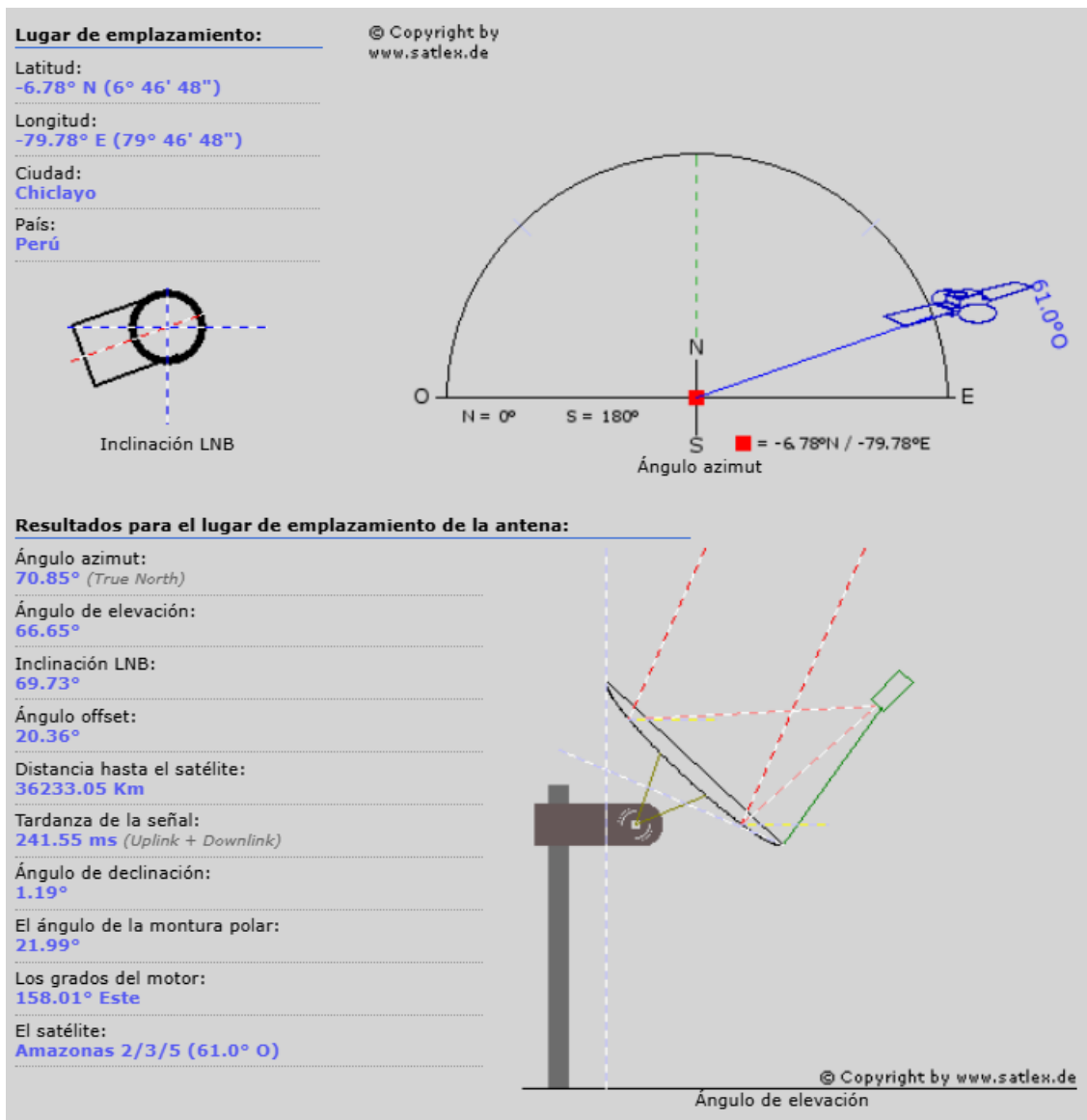
Topología de acceso satelital Starlink y distribución LAN para la I.E. N.° 11088



La figura N° 22, muestra un reporte de cálculo de apuntamiento satelital (tipo SatLex) para definir la orientación de una antena en un punto específico de instalación, a la izquierda se consignan las coordenadas del emplazamiento (Perú, Chiclayo), con ellas, se determina los parámetros geométricos para alinear la antena hacia el satélite objetivo (Amazonas 2/3/5 a 61.0° O), incluyendo el ángulo de azimut ($\approx 70.85^\circ$ respecto al norte verdadero), el ángulo de elevación ($\approx 66.65^\circ$) y la inclinación del LNB ($\approx 69.73^\circ$).

Figura 22

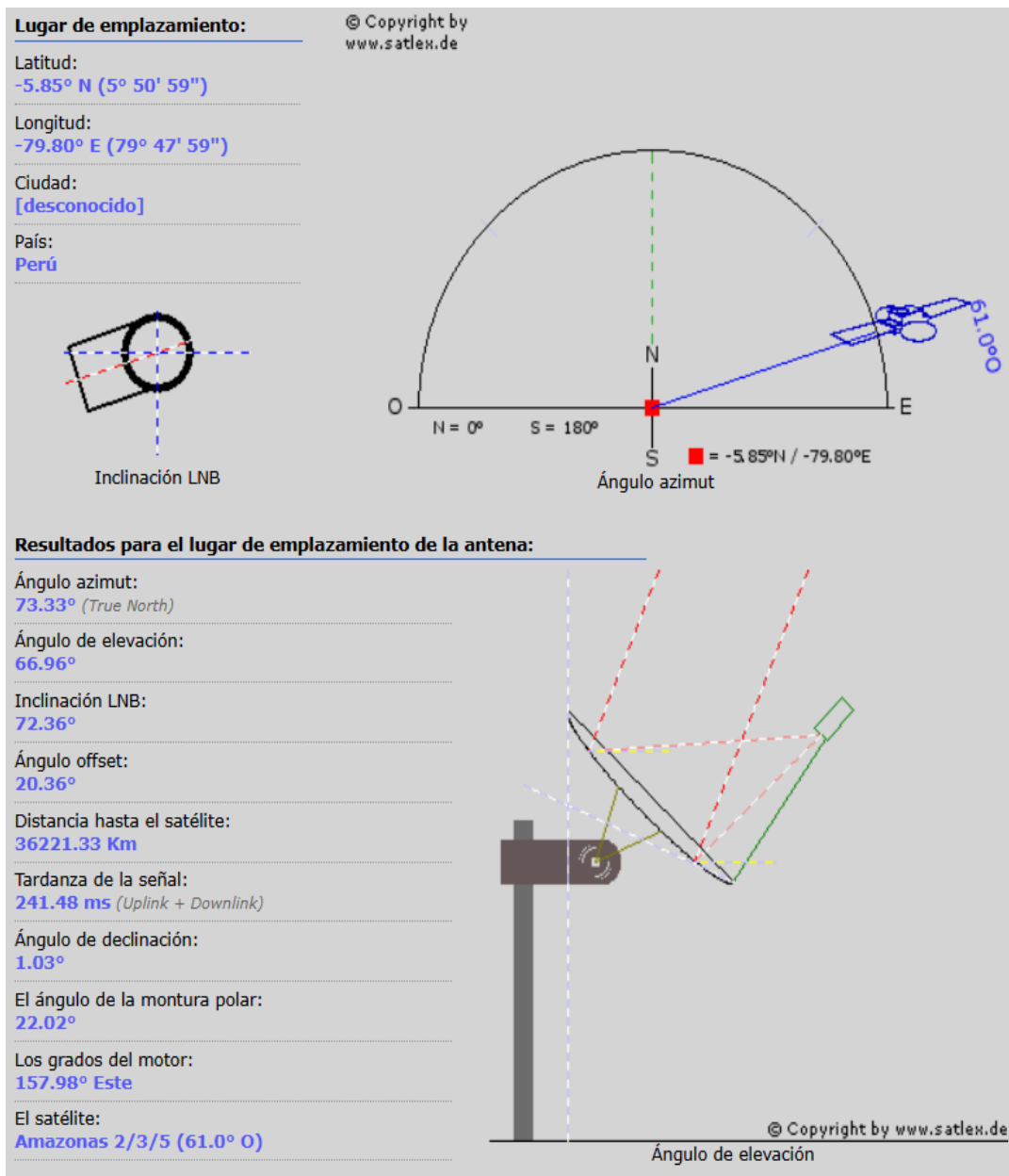
Parámetros de orientación de antena satelital - Chiclayo



Además, se observan valores complementarios como distancia estimada al satélite ($\approx 36,233$ km) y retardo de señal (≈ 241.55 ms) a la derecha visualizan el azimut y la elevación, facilitando la interpretación práctica del montaje y la verificación de alineamiento.

Figura 23

Parámetros de orientación de antena satelital - I.E. N.° 11088



La figura N° 23, muestra el cálculo de apuntamiento satelital (tipo SatLex) para un emplazamiento en Perú, localizadas en las coordenadas -5.85° de latitud y -79.80° de longitud, determinando los ángulos para orientar la antena hacia el satélite Amazonas 2/3/5 (61.0° O), con un azimut de 73.33° (referido al norte verdadero), una elevación de 66.96° y una inclinación del LNB de 72.36° , además, se muestra una distancia al satélite de 36,221.33 km y una tardanza de señal de 241.48 ms (uplink + downlink), indicadores que corresponden a enlaces geoestacionarios. Se muestra la gráficas de azimut y de elevación, para lograr una adecuada verificación del ángulo de apuntamiento y la postura mecánica de la antena.

- Información del **lugar de emplazamiento:**
 - ✓ **Latitud:** -5.85° ($5^\circ 50' 59''$)
 - ✓ **Longitud:** -79.80° ($79^\circ 47' 59''$)
 - ✓ **Ciudad:** [desconocido]
 - ✓ **País:** Perú
- Un gráfico circular indica la inclinación del LNB (componente de la antena que recibe la señal).
- Un gráfico semicircular que representa el ángulo azimut (orientación horizontal respecto al norte verdadero).
- El punto rojo indica la ubicación del sitio (-5.85° N / -79.80° E).
- Una línea azul señala la dirección hacia el satélite, con un ángulo aproximado de 73.33° respecto al norte.
- **Resultados para la orientación de la antena:**
 - ✓ Ángulo azimut: 73.33° (True North)
 - ✓ Ángulo de elevación: 66.96° (inclinación vertical de la antena)
 - ✓ Inclinación LNB: 72.36°
 - ✓ Ángulo offset: 20.36°

- ✓ Distancia al satélite: 36,221.33 km
 - ✓ Tardanza de la señal: 241.48 ms (ida y vuelta)
 - ✓ Ángulo de declinación: 1.03°
 - ✓ Ángulo de la montura polar: 22.02°
 - ✓ Grados del motor: 157.98° Este
 - ✓ Satélite: Amazonas 2/3/5 (61.0° O)
- A la derecha, un dibujo técnico de la antena parabólica mostrando el ángulo de elevación y la orientación hacia el satélite.

Este diagrama indica cómo debe orientarse la antena para conectarse al satélite Amazonas (61° Oeste):

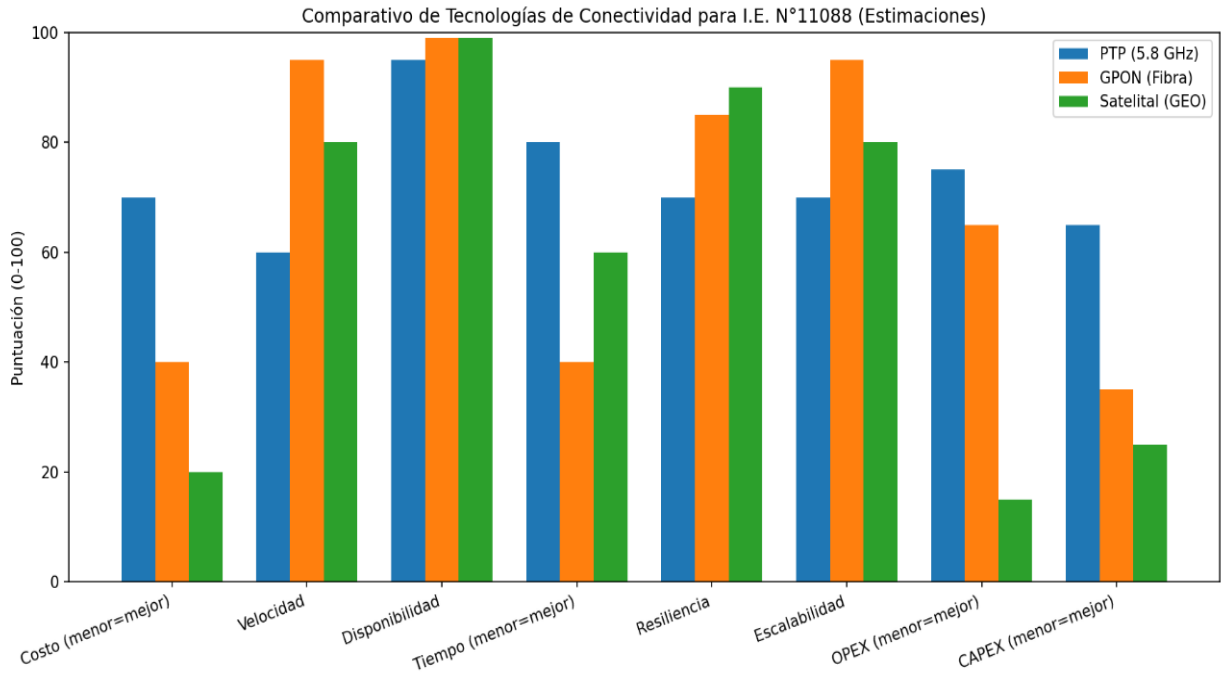
- Azimut: 73.33° → dirección horizontal hacia el satélite.
- Elevación: 66.96° → inclinación vertical.
- Retardo: 241 ms → típico en enlaces geoestacionarios.
- Distancia: 36,221 km → confirma que es un satélite GEO.

3.1.4 Comparación técnico-económica de PTP, GPON y Satelital para la I.E. N.° 11088

La figura N° 24, muestra un comparativo (escala 0–100) de tecnologías de conectividad para la I.E. N.° 11088, considerando: PTP (5.8 GHz), GPON (fibra) y Satelital (GEO), la evaluación incluyó: costo, velocidad, disponibilidad, tiempo de despliegue, resiliencia, escalabilidad, y componentes económicos, se aprecia que GPON destaca en velocidad, disponibilidad y escalabilidad, aunque se debilita en costo inicial (CAPEX) y tiempo. PTP demuestra un trabajo equilibrado, con ventajas en costo y tiempo de implementación, manteniendo niveles competitivos de disponibilidad, por otro lado, la propuesta satelital GEO muestra buena disponibilidad y resiliencia, pero se ve debilitada al evaluar el costo operativo y en la relación costo - beneficio frente a las otras opciones terrestres.

Figura 24

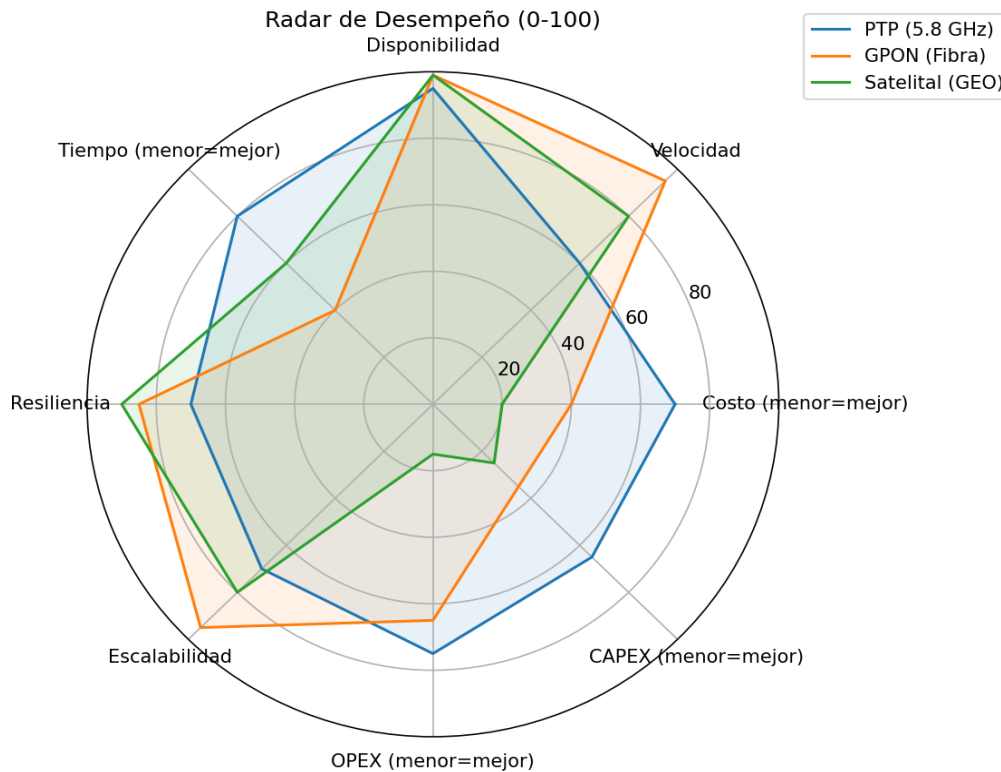
Comparación de tecnologías de conectividad para la I.E. N.° 11088



La figura N° 25, muestra un radar de desempeño (0–100) comparando tres alternativas de conectividad para la I.E. N.° 11088: PTP (5.8 GHz), GPON (fibra) y Satelital (GEO), bajo ocho criterios. Observando que GPON concentra sus mayores ventajas en velocidad, disponibilidad y escalabilidad, sin embargo, muestra menor puntuación en tiempo de despliegue y en el componente de inversión, PTP presenta resultados más equilibrados, con buen desempeño en costo y tiempo, manteniendo niveles competitivos de disponibilidad y resiliencia, en cambio, la opción satelital GEO destaca en resiliencia y mantiene alta disponibilidad, pero se ve debilitada en los rubros económicos y en el costo de instalación y operativo.

Figura 25

Radar comparativo de desempeño para PTP, GPON y Satelital GEO en la I.E. N.º 11088



La tabla N° 04, presenta una comparativa de tres alternativas de conectividad para la I.E. N.º 11088: PTP (5.8 GHz), GPON (fibra) y Satelital (GEO), organizada por criterios técnicos y económico - operativos: CAPEX, OPEX, velocidad, latencia, disponibilidad, tiempo de implementación, escalabilidad y resiliencia, se identifica que GPON ofrece la mayor capacidad (≥ 1 Gbps), baja latencia (1–5 ms), alta escalabilidad y resiliencia, requiriendo un despliegue de semanas, PTP destaca por su ejecución rápida y OPEX muy bajo, con velocidades del orden de 40-100 Mbps y disponibilidad alta en condiciones de línea de vista y el satélite GEO conserva cobertura y resiliencia, pero introduce mayor latencia (≈ 240 ms) y un OPEX elevado asociado al uso de capacidad satelital, además de un CAPEX alto según el tipo de solución.

Tabla 4*Síntesis de criterios de selección tecnológica*

Criterio	PTP (5.8 GHz)	GPON (Fibra)	Satelital (GEO)
Costo inicial (CAPEX)	Bajo (S/ 40k–120k)	Medio (S/ 15k–60k)	Alto (VSAT S/ 90k–220k; uplink propio > S/ 700k)
Costo operativo (OPEX)	Muy bajo	Bajo	Muy alto (espacio satelital)
Velocidad	40–100 Mbps	≥1 Gbps	50–100 Mbps (según contrato)
Latencia	5–10 ms	1–5 ms	≈240 ms (GEO)
Disponibilidad	99.999% (LOS)	99.99%	99.9%
Tiempo de implementación	Rápido (días)	Medio (semanas)	Medio (semanas)
Escalabilidad	Media	Muy alta (hasta 10 Gbps)	Media
Resiliencia	Buen local	Excelente	Excelente

A partir de la evaluación técnica y económico-operativa, se plantea una arquitectura híbrida en la que GPON opere como medio principal de acceso por su superioridad en capacidad, estabilidad y escalabilidad; el enlace satelital GEO (VSAT) cumpla el rol de respaldo para preservar continuidad ante contingencias del medio terrestre; y el PTP en 5.8 GHz funcione como enlace auxiliar/local, útil para extensiones puntuales, contingencias de corto plazo o necesidades de distribución en tramos específicos.

3.2 Discusión

Los resultados muestran que el enlace propuesto alcanza niveles de capacidad y disponibilidad superiores al umbral mínimo definido, lo que convierte la conectividad en un servicio estable para la operación escolar, la solución diseñada no solo funciona, sino que incorpora margen técnico para sostener demanda simultánea y variaciones del canal.

Los hallazgos se comportan de manera coherente con lo reportado en estudios sobre conectividad rural, los enlaces inalámbricos punto a punto resultan eficientes cuando existe línea de vista y una planificación rigurosa; la fibra óptica destaca por su calidad y escalabilidad, pero enfrenta barreras de despliegue en última milla; y el satélite mantiene cobertura y resiliencia, aunque con penalización en latencia y costos operativos según el tipo de solución.

En lo teórico, la investigación refuerza el diseño guiado por métricas de calidad de servicio (capacidad, latencia y disponibilidad) como base para decidir tecnologías en contextos rurales, en lo práctico, los resultados muestran que la institución puede estructurar una conectividad funcional para actividades pedagógicas digitales, con criterios de escalabilidad, segmentación y priorización de tráfico para proteger el uso educativo.

Destaca la evaluación comparativa con criterios técnicos y económicos, evitando decisiones por intuición, además, el trabajo integra no solo el enlace de acceso, sino la lógica de distribución interna, lo que fortalece la coherencia de la propuesta y su aplicabilidad institucional, la contextualización territorial añade pertinencia al diseño y mejora su transferibilidad a escenarios rurales similares.

El nivel de disponibilidad estimado puede parecer elevado para un entorno rural; sin embargo, se explica por un diseño con condiciones geométricas favorables y parámetros orientados a estabilidad, aun así, este desempeño debe interpretarse como proyección técnica sujeta a verificación empírica en campo.

4 CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- ✓ Se identificó que, para el escenario rural de Pasabar Oleoducto, las alternativas técnicamente viables se estructuran en tres familias: PTP en 5.8 GHz (40-100 Mbps, 5-10 ms, 99.999% con línea de vista), GPON (≥ 1 Gbps, 1-5 ms, 99.99%) y satelital GEO (50-100 Mbps, ≈ 240 ms, 99.9%), con diferencias claras en CAPEX/OPEX y escalabilidad.
- ✓ La simulación del enlace PTP mostró una potencia recibida de -59 dBm (± 5 dB) y una capacidad media de 48.26 Mbps frente a un mínimo de 40 Mbps (121%), con disponibilidad prevista de 99.9996%; adicionalmente, el rendimiento agregado alcanzó 96.52 Mbps y un margen de ganancia de 32.40 dB, respaldando la robustez del diseño.
- ✓ Se determinó como opción más adecuada una arquitectura híbrida, donde GPON actúa como medio troncal por su mayor capacidad y escalabilidad, el satélite se reserva como respaldo por su cobertura y resiliencia, y el PTP opera como enlace auxiliar de rápida habilitación; esta combinación equilibra latencia, disponibilidad y costos, asegurando continuidad operativa para la I.E. 11088.

4.2 Recomendaciones

- ✓ Se recomienda a directivos y autoridades gestionar la interconexión GPON hacia la red troncal disponible en el corredor de Olmos, priorizando el punto de empalme más cercano y la protección física del tendido; ello habilita capacidades ≥ 1 Gbps con latencias de 1–5 ms y deja margen suficiente para crecer por demanda académica.

- ✓ Se sugiere contratar un servicio satelital GEO/VSAT como contingencia, con dimensionamiento contractual de 50–100 Mbps y SLA $\geq 99.9\%$, integrándolo a la red institucional para continuidad ante cortes del medio principal, considerando la latencia ≈ 240 ms en la planificación de aplicaciones sensibles a retardo.

- ✓ Se propone mantener el enlace PTP 5.8 GHz como soporte local y alternativa de despliegue rápido, asegurando su alineamiento y parámetros radioeléctricos; con una potencia recibida de -59 dBm y 48.26 Mbps promedio, ofrece un margen operativo útil para contingencias y para ampliar cobertura dentro del entorno.

- ✓ Se recomienda al equipo técnico segmentar la red interna con VLANs y aplicar QoS, priorizando videoclases, LMS y tráfico crítico sobre servicios no esenciales; esta gobernanza de red mejora la experiencia educativa incluso cuando opere el respaldo satelital y reduce la congestión en horarios pico.

5 REFERENCIAS

- Ahmed, S. F., Alam, M. S. B., Afrin, S., Rafa, S. J., Taher, S. B., Kabir, M., Muyeen, S. M., & Gandomi, A. H. (2024). Toward a Secure 5G-Enabled Internet of Things: A Survey on Requirements, Privacy, Security, Challenges, and Opportunities. *IEEE Access*, *12*, 13125-13145. Scopus. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3352508>
- Alipio, M., & Bures, M. (2023). Intelligent Network Maintenance Modeling for Fixed Broadband Networks in Sustainable Smart Homes. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(20), 18067-18081. Scopus. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3277590>
- Banda, L., Mzyece, M., & Mekuria, F. (2024). 5G-IoT and Sustainability: Smart City Use Case. *IEEE Veh Technol Conf*. IEEE Vehicular Technology Conference. Scopus. <https://doi.org/10.1109/VTC2024-Fall63153.2024.10757586>
- Biswal, S. P., & Patel, S. (2024). A bandwidth delay product based modified Venetian for high-speed networks: BDP-Venetian. *Journal of Network and Computer Applications*, *231*. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.jnca.2024.103983>
- Carbonel, J. B. M., Pestaño, A. C. S., Roque, G. M., Tan, M. A. C., Villarubin, R. T. A., & Arada, G. P. (2022). Design and Implementation of LoRaWAN Autonomous Base Station as a Communication Network for Rural Areas. *IEEE Int. Conf. Humanoid, Nanotechnol., Inf. Technol., Commun. Control, Environ., Manag., HNICEM*. 2022 IEEE 14th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management, HNICEM 2022. Scopus. <https://doi.org/10.1109/HNICEM57413.2022.10109573>

- Chircca, J. D. (2024). *Diseño e implementación de una red de banda ancha en apoyo a las operaciones de transporte de mineral de una empresa minera en la localidad de Colquijirca, Pasco* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú].
<http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/9123>
- Duangsuwan, S., & Maw, M. M. (2021). Comparison of path loss prediction models for UAV and IoT air-to-ground communication system in rural precision farming environment. *Journal of Communications*, 16(2), 60-66. Scopus. <https://doi.org/10.12720/jcm.16.2.60-66>
- Estela, A., & Jimenez, S. S. (2024). *Análisis de desempeño de red de banda ancha rural—Caso de estudio distrito de Shamboyacu, San Martin* [Tesis de grado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <http://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/12782>
- Florea, A., Popa, D.-I., Morariu, D., Maniu, I., Berntzen, L., & Fiore, U. (2024). Digital farming based on a smart and user-friendly IoT irrigation system: A conifer nursery case study. *IET Cyber-Physical Systems: Theory and Applications*, 9(2), 150-168. Scopus.
<https://doi.org/10.1049/cps2.12054>
- Foster, R. J. (2023). Tenuous Connectivity: Time, Citizenship, and Infrastructure in a Papua New Guinea Telecommunications Network. *Asia Pacific Journal of Anthropology*, 24(2), 91-115. Scopus. <https://doi.org/10.1080/14442213.2023.2177330>
- Galarza, R. (2025). *Análisis y diseño para la infraestructura de comunicación con entornos distribuidos en la carrera tecnologías de la información de la Universidad Estatal del Sur de Manabí* [Tesis de grado]. Universidad Estatal del Sur de Manabí.
- Idrogo, C. J. (2021). *Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología gpon para la ciudad de Arequipa* [Tesis de grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/659956/Idrogo_TC.pdf?sequence=3&isAllowed=y

- Ismawan, D. J., & Wandebori, H. (2024). Business Sustainability Model for Telecommunications Infrastructure in Rural Area. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 16(1), 35-56. Scopus. <https://doi.org/10.15676/ijeei.2024.16.1.3>
- Ketcham, M., Ganokratanaa, T., & Sridoung, N. (2023). Classification of broadband network devices using text mining technique. *MethodsX*, 11. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2023.102346>
- Li, J., Yi, P., Duan, T., Zhang, Z., Li, J., Wang, Y., & Yu, J. (2025). Fast connectivity restoration of UAV communication networks based on distributed hybrid MADDPG and APF algorithm. *Ad Hoc Networks*, 171. Scopus. <https://doi.org/10.1016/j.adhoc.2025.103785>
- Liu, W., & Chen, P. (2022). Research on Key Technologies and Application Scenarios of NB-IoT. *Proc. - Int. Conf. Comput., Commun., Percept. Quantum Technol., CCPQT*, 59-63. Scopus. <https://doi.org/10.1109/CCPQT56151.2022.00017>
- Mandal, T., & Mondal, P. (2024). Design and analysis of a small size triple band printed antenna for 3G/4G/5G/future 5.8G IoT applications. *International Journal of Communication Systems*, 37(11). Scopus. <https://doi.org/10.1002/dac.5797>
- Pradeep, P., Kottareddygar, J. S., & Paidimarry, C. S. (2024). Design of a Dual-Band Monopole Antenna for Internet of Things and Sub-6 GHz 5G Applications. *IEEE Wirel. Antenna Microw. Symp., WAMS. 2024 IEEE Wireless Antenna and Microwave Symposium, WAMS 2024*. Scopus. <https://doi.org/10.1109/WAMS59642.2024.10528093>

- Quispe, D. A., & Vargas, J. A. (2022). *Implementación de un hotspot con conexión satelital de internet para la empresa leonet en la comunidad de santa rita– brasil -2022* [Tesis de grado, Universidad Científica del Sur]. <http://hdl.handle.net/20.500.14503/2319>
- Rodas, A. S., & Arreaga, M. E. (2022). *Diseño e implementación de un Banco de Pruebas de comunicaciones unificadas basadas en voz sobre IP para el análisis de tráfico telefónico y señalización VOIP* [Tesis de grado, Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22667>
- Rosas, H. (2021). *Redes Nacionales de Banda Ancha en el Perú: Escenarios al 2030* [Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://www.proquest.com/openview/abc70971980bbf3ce76faa446f1d93df/1?cbl=2026366&diss=y&pq-origsite=gscholar>
- Singh, S., Rosak-Szyrocka, J., & Lukàcs, B. (2024). Design and Analysis of a Bandwidth Aware Adaptive Multipath N-Channel Routing Protocol for 5G Internet of Things (IoT). *Emerging Science Journal*, 8(1), 251-269. Scopus. <https://doi.org/10.28991/ESJ-2024-08-01-018>
- Situmorang, A. C., Suryanegara, M., Gunawan, D., & Juwono, F. H. (2023). Proposal of the Indonesian Framework for Telecommunications Infrastructure Based on Network and Socioeconomic Indicators. *Informatics*, 10(2). Scopus. <https://doi.org/10.3390/informatics10020044>
- Solorzano, G. (2025). *Diseño y simulación de infraestructura WiMAX para la parroquia Colonche* [bachelorThesis, La Libertad, Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2025]. <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/12852>

- Soret, B., Leyva-Mayorga, I., Cioni, S., & Popovski, P. (2021). 5G satellite networks for Internet of Things: Offloading and backhauling. *Int. J. Satell. Commun. Networking*, 39(4), 431-444. Scopus. <https://doi.org/10.1002/sat.1394>
- Sotelo, M. A. (2021). *Diseño e implementación de una red de banda ancha en apoyo a la localidad de Torohuichccana, distrito de Pampachiri, provincia de Andahuaylas, departamento de Apurímac-Perú* [Tesis de grado, Universidad Tecnológica del Perú]. <http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/5187>
- Talgat, A., Kishk, M. A., & Alouini, M.-S. (2021). Stochastic Geometry-Based Analysis of LEO Satellite Communication Systems. *IEEE Communications Letters*, 25(8), 2458-2462. Scopus. <https://doi.org/10.1109/LCOMM.2020.3029808>
- Yu, X., & Sun, F. (2022). A Study on Telecommunication Network, Internet, and Internet of Things. En Zhang L. & Li L. (Eds.), *Proc. - Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Technol., ISCTech* (pp. 673-680). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.; Scopus. <https://doi.org/10.1109/ISCTech58360.2022.00111>

ANEXOS

Anexo 01: Presupuesto de enlace Inalámbrico Punto a Punto (PTP)

Tabla 5

Presupuesto de enlace Inalámbrico Punto a Punto (PTP)

Part Number	Descripción	Cantidad	Precio unitario	Precio total
1010419001	Coaxial Cable Grounding Kits for 1/4" and 3/8" Cable	12	S/ 40.00	S/ 480.00
AR-E4PT6XX-WW	PTP 670 All Risks Advance Replacement, 4 additional years (per END)	2	S/ 5,200	S/ 10,400.00
C000065L007	LPU and Grounding Kit (1 kit per ODU)	2	S/ 400	S/ 800.00
C050067H008	PTP 670 Connectorized END with AC+DC Enhanced Supply	2	S/ 14,500	S/ 29,000.00
N050067D019	5.25-5.85 GHz, 6-FT (1.8M), SINGLE-POL	4	S/ 5,000	S/ 20,000.00
RDN5785	3 M (9.8 FT) SUPERFLEX RF LOW LOSS JUMPER CABLE	4	S/ 250	S/ 1,000.00
WB3176	328 ft (100 m) Reel Outdoor Copper Clad CAT5E	1	S/ 650	S/ 650.00
COSTO TOTAL				S/ 62,330.00

Anexo 02: Presupuesto de enlace GPON

Tabla 6

Presupuesto de enlace GPON

Part Number	Descripción	Cantidad	Precio unitario
Fibra óptica Drop G657A2	Cable monomodo con mensajero (1–2 hilos)	300 m	180 – 900
Caja NAP (8–16 puertos)	IP65, con adaptadores SC/APC (splitter opcional)	1 unidad	120 – 300
Conectores rápidos SC/APC	Para terminación en campo	12–20 unidades	70 – 160
Ferretería y herrajes	Fleje BAND-IT, hebillas, enzunchadora, grapas	—	200 – 600
Patch cords + rosetas	Latiguillos SC/APC y cajas terminales	2–6 latiguillos + 2 rosetas	80 – 220
Cable UTP exterior Cat5e	Para acometida interna (ONT a switch)	50–100 m	50 – 120

Anexo 03: Presupuesto de enlace Satelital

Tabla 7

Presupuesto de enlace Satelital

Part Number / Descripción	Cantidad	Costo (S/)
Kit Starlink (antena + router)	1 unidad	S/ 3,000
Suscripción mensual Starlink	12 meses (S/. 1,210)	S/ 14,520
Soporte y herrajes para antena	01 Set Herr	S/ 250
Cable UTP exterior Cat5e (acometida)	50 m	S/ 250
UPS (respaldo eléctrico)	1 unidad	S/ 800
Mano de obra (instalación)	—	S/ 500
COSTO TOTAL		S/ 19,320