

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO

FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE COMPUTACIÓN E
INFORMÁTICA**



TESIS

**Red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades
financieras del distrito de Cayaltí, 2025**

Para optar por el título profesional de Ingeniero en Computación e Informática

BACHILLER:

Vergara Calua, Edy Mijaíl

Vinchales Loro, Adan Smith

ASESORA:

Dra. Jessie Leila Bravo Jaico

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tecnologías de Información e Infraestructura

Lambayeque – Perú

2026

TESIS

“RED XG-PON PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA A LAS ENTIDADES FINANCIERAS DEL DISTRITO DE CAYALTÍ, 2025”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

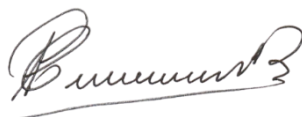
APROBADA POR:



Dr. Ing. Gilberto Carrión Barco
Presidente



Mg. Ing. Oscar Alex Serquén Yparraguirre
Secretario



Mg. Ing. Percy Javier Celis Bravo
Vocal



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



0090



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 52...-2026.-D/FACFyM

Siendo las 09:00 del día 03 de Julio del 2026, se reunieron los miembros del jurado evaluador de la Tesis titulada:

Req. XG- PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayalté 2025

Designados por Resolución N° 358-2025 D/FACFyM de fecha 24 de abril 2025

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

Dr. Ing. Gilberto Carrion Barco

Presidente

Mg. Ing. Oscar Alex Serquen Yarraymire

Secretario

Mg. Ing. Percy Javier Celis Bravo

Vocal

La tesis fue asesorada por (el) (la) Dra. Ing. Jessie Leila Bravo Jarco, nombrado por Resolución N° 358-2025 D/FACFyM de fecha 24 de abril 2025

El Acto de Sustentación fue autorizado por Resolución N° 505-2026 D/FACFyM de fecha 22 de Junio

La Tesis fue presentada y sustentada por (el) (los) Bachiller (es): Vergara Calua, Eddy Mijail Vinuales Loro, Adan Smith y tuvo una duración de 60 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 DECI. DCHO (18) en la escala vigesimal, mención (Muy Buena).

Por lo que queda(n) apto(s) para obtener el Título Profesional de Ing. en Computación e Informática 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 10:00 se dio por concluido el presente acto académico, dándose conformidad al presente acto con la firma de los miembros del jurado.

DR. ING. GILBERTO CARRION BARCO
Presidente

Mg. Ing. Oscar Alex Serquen Yarraymire
Secretario

Ing. Percy Javier Celis Bravo
Vocal

Jessie Leila Bravo Jarco
Asesor

CONSTANCIA DE VERIFICACIÓN DE ORIGINALIDAD DEL ASESOR

Yo, **Jessie Leila Bravo Jaico**, usuario revisor del documento titulado: **"Red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí, 2025"**

Cuyo autor es (son):

- Edy Mijaíl Vergara Calua
- Adan Smith Vinchales Loro

Identificado con Documento de Identidad 18010655; declaro que la evaluación realizada por el Programa Informático, ha arrojado un porcentaje de similitud de **18%**, 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, 30 de Marzo de 2026


FIRMA
DRA. JESSIE LEILA BRAVO JAICO
DNI N° 18010655

Red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net	3%
Fuente de Internet		
2	repositorio.utn.edu.ec	2%
Fuente de Internet		
3	dspace.esPOCH.edu.ec	1%
Fuente de Internet		
4	repositorio.upt.edu.pe	1%
Fuente de Internet		
5	repositorio.unsaac.edu.pe	1%
Fuente de Internet		
6	dspace.ups.edu.ec	1%
Fuente de Internet		
7	edmetic.es	1%
Fuente de Internet		
8	www.dspace.espol.edu.ec	<1%
Fuente de Internet		

dspace.unl.edu.ec



Jessie Leila Bravo Jaico 18010655
Asesora

9	Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.upse.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
11	investors.wiki Fuente de Internet	<1 %
12	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
13	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.uss.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.unprg.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
18	rraae.cedia.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
19	apirepositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
20	repositorio.unu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

21	Garima, Vivekanand Jha, Rakesh Kumar Singh. "A novel dynamic bandwidth allocation scheme towards improving the performance of XG-PON system", Optical Switching and Networking, 2022 Publicación	<1 %
22	rio.upo.es Fuente de Internet	<1 %
23	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
24	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
25	aletheia.cinde.org.co Fuente de Internet	<1 %
26	repository.unad.edu.co Fuente de Internet	<1 %
27	repositorioacademico.upc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.untels.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
29	www.nature.com Fuente de Internet	<1 %
30	dspace.unach.edu.ec Fuente de Internet	<1 %

31	repositorio.uch.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
32	repositorio.uvm.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
33	alphaenginyeria.com Fuente de Internet	<1 %
34	repositorio.upp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
35	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
36	www.amiturismo.org Fuente de Internet	<1 %
37	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
38	journal.unilak.ac.id Fuente de Internet	<1 %
39	repositorio.ucsg.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
40	www.telesemana.com Fuente de Internet	<1 %
41	pir.pe Fuente de Internet	<1 %
42	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

43	lightera.com	Fuente de Internet	<1 %
44	www.mdpi.com	Fuente de Internet	<1 %
45	1library.co	Fuente de Internet	<1 %
46	repositorio.unap.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
47	www.prnewswire.com	Fuente de Internet	<1 %
48	apirepositorio.unu.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
49	www.it.uc3m.es	Fuente de Internet	<1 %
50	Cari Yucra, Arturo. "Gestión administrativa y desempeño laboral en los hoteles cuatro estrellas de la región de Puno", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)	Publicación	<1 %
51	www.inep.org	Fuente de Internet	<1 %
52	upcommons.upc.edu	Fuente de Internet	<1 %
53	www.amazon.com	Fuente de Internet	



Jessie Leila Bravo Jaico 18010655
Asesora

<1 %

54

www.itu.int

Fuente de Internet

<1 %

55

repositorio.uancv.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

56

nanopdf.com

Fuente de Internet

<1 %

57

Carmen Cecilia Ramírez Sierra, María Fernández-Reina. "Niveles de comprensión lectora en estudiantes de tercer grado de primaria de una institución educativa en Colombia", Íkala, Revista de Lenguaje y Cultura, 2022

Publicación

<1 %

58

vsip.info

Fuente de Internet

<1 %

59

Fernando Gutiérrez Cortés, Octavio Islas Carmona, Amaia Arribas Urrutia. "Las nuevas leyes de los nuevos medios y la reconfiguración del entorno", Palabra Clave, 2019

Publicación

<1 %

60

patentados.com

Fuente de Internet

<1 %

61

Fuente de Internet

<1 %

62

repositorio.uandina.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

63

theconversation.com

Fuente de Internet

<1 %

64

Benavides Castillo, Arturo. "Relación entre la recaudación de arbitrios y los servicios públicos en la Municipalidad Provincial de Puno, 2023", Universidad Nacional del Altiplano de Puno (Peru)

Publicación

<1 %

65

documentos.uruguay.edu

Fuente de Internet

<1 %

66

oldri.ues.edu.sv

Fuente de Internet

<1 %

67

repositorio.ucsm.edu.pe

Fuente de Internet

<1 %

68

turismo.deperu.com

Fuente de Internet

<1 %

69

www.etsi.org

Fuente de Internet

<1 %

70

Aguirre Moreno, Diego Fernando. "Modelo Algorítmico para Alta Disponibilidad en Transporte de Volúmenes Crecientes de

<1 %



18010655

Jessie Leila Bravo Jaico
Asesora

Tráfico Variable en Redes Ópticas", Universidad Distrital Francisco José de Caldas (Colombia), 2024

Publicación

71	ak-interactive.com	Fuente de Internet	<1 %
72	backend.hrw.org	Fuente de Internet	<1 %
73	blogs.sap.com	Fuente de Internet	<1 %
74	core.ac.uk	Fuente de Internet	<1 %
75	repositorio.ulima.edu.pe	Fuente de Internet	<1 %
76	www.upv.es	Fuente de Internet	<1 %
77	Monteiro, Paulo Miguel Alves. "Redes Ópticas Avanzadas Coerentes NG-PON2", Universidade de Aveiro (Portugal), 2023	Publicación	<1 %
78	bibdigital.epn.edu.ec	Fuente de Internet	<1 %
79	do Couto Pissarra, Pedro José. "Automatic Calibration Systems for Ng-PON2		<1 %



Jessie Leila Bravo Jaico 18010655
Asesora

Transceivers", Universidade de Aveiro (Portugal), 2024

Publicación

80	doczz.com.br Fuente de Internet	<1 %
81	dokumen.pub Fuente de Internet	<1 %
82	pdfcookie.com Fuente de Internet	<1 %
83	podium.upr.edu.cu Fuente de Internet	<1 %
84	repositorio.esge.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
85	repositorio.pucp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
86	repositorio.uladech.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
87	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
88	tayarut.bkerem.org.il Fuente de Internet	<1 %
89	www.bn.com.pe Fuente de Internet	<1 %

<1 %

91

www.iir.com.ar

Fuente de Internet

<1 %

92

www.panoramaaudiovisual.com

Fuente de Internet

<1 %

93

www.theinsightpartners.com

Fuente de Internet

<1 %

94

www.wikiwand.com

Fuente de Internet

<1 %

95

Gomez, F., K. C. Puerto, and D. Guevara.
"Effect nonlinear four-wave mixing in optical
fiber transmission", 2015 IEEE Thirty Fifth
Central American and Panama Convention
(CONCAPAN XXXV), 2015.

Publicación

<1 %

96

docplayer.es

Fuente de Internet

<1 %

97

doczz.net

Fuente de Internet

<1 %

98

elearning.icesi.edu.co

Fuente de Internet

<1 %

99

iefworld.org

Fuente de Internet

<1 %

100	Fuente de Internet	<1 %
101	mafiadoc.com Fuente de Internet	<1 %
102	repositorio.undac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
103	repositorio.unicauca.edu.co:8080 Fuente de Internet	<1 %
104	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
105	repositorio.uwiener.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
106	repository.unab.edu.co Fuente de Internet	<1 %
107	riunet.upv.es Fuente de Internet	<1 %
108	www.apolocom.com.mx Fuente de Internet	<1 %
109	www.att.com Fuente de Internet	<1 %
110	www.bcv.org.ve Fuente de Internet	<1 %
111	www.fiberopticsystems.com Fuente de Internet	<1 %

112 www.scribd.com <1 %
Fuente de Internet

113 www.tutorialesenlared.com <1 %
Fuente de Internet

114 www.usr.com <1 %
Fuente de Internet

115 "Advances in Tourism, Technology and Systems", Springer Science and Business Media LLC, 2021 <1 %
Publicación

116 Díaz Mesa, Haridian. "Diseño Para la Identidad Visual de Destinos Turísticos. Una Herramienta Para su Evaluación", Universidad de La Laguna (Canary Islands, Spain), 2025 <1 %
Publicación

117 Huda H. Saheb, Bashar J. Hamza, Ahmed Fahem AL-Baghdadi. "New approach based on direction and genetic algorithm to predict target base station in mobile WiMAX", Materials Today: Proceedings, 2022 <1 %
Publicación

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias

Apagado

Excluir bibliografía

Apagado



Jessie Leila Bravo Jaico 18010655
Asesora



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: Vergara Calua, Edy Mijaíl Vinchales Loro, Adan Smith
Título del ejercicio: Quick Submit
Título de la entrega: Red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las ent...
Nombre del archivo: Edy_y_Adan_-_Informe_UNPRG_-FINAL.docx
Tamaño del archivo: 5.2M
Total páginas: 128
Total de palabras: 25,368
Total de caracteres: 140,915
Fecha de entrega: 25-mar-2026 08:47p. m. (UTC-0500)
Identificador de la entrega: 2913233546

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE COMPUTACIÓN E
INFORMÁTICA



TESIS

Red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades
financieras del distrito de Cayalti, 2025

Para optar por el título profesional de Ingeniero en Computación e Informática

BACHILLER:

Vergara Calua, Edy Mijaíl
Vinchales Loro, Adan Smith

ASESORA:

Dra. Jessie Leila Bravo Jaico

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tecnologías de Información e Infraestructura

Lambayeque – Perú
2026

Jessie Leila Bravo Jaico
Asesora
18010655

TESIS

“RED XG-PON PARA DISTRIBUIR SERVICIOS DE BANDA ANCHA A LAS ENTIDADES FINANCIERAS DEL DISTRITO DE CAYALTÍ, 2025”

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO EN COMPUTACIÓN E INFORMÁTICA

AUTORES:



Bach. Edy Mijail Vergara Calua



Bach. Adan Smith Vinchales Loro

ASESORA:



Dra. Ing. Jessie Leila Bravo Jaico

DEDICATORIA

A mis padres que con su esfuerzo y sacrificio me brindaron la oportunidad de formarme profesionalmente e inculcaron valores para ser una persona de bien y útil para la sociedad.

A mis abuelos que iluminan y guían mi camino. A toda mi familia que siempre me motivo y estuvo presente en esta etapa.

Mijaíl Vergara

Dedicado especialmente a mi madre, que siempre se esforzó al máximo para sacarme adelante y ayudarme a ser un gran profesional, enseñándome siempre que, antes que cualquier título, lo más importante es tener calidad humana y buenos principios.

A mis tíos, y con muchísimo cariño a mi tía, que fue como una segunda madre para mí, y a toda mi familia. Aunque muchos ya no nos acompañan, sé que estarían felices por mí. Sin todos ustedes, este camino no habría sido posible.

Adan Vinchales

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mis padres, mis hermanos, familia quienes me han brindado el soporte y motivación a lo largo de mi carrera universitaria. Expreso también las gracias a los docentes, personal administrativo y a la universidad por brindarme los conocimientos y enseñanzas para mi formación personal y profesional. Finalmente agradecer a mi compañero y amigo de tesis por la comprensión y el aguante durante el desarrollo del proyecto.

Mijaíl Vergara

Agradezco infinitamente a mi madre por ser mi soporte incondicional, siendo padre y madre a la vez, y a toda mi familia por ser mi gran sostén en esta etapa universitaria. También doy las gracias a los docentes y personal de mi alma máter, la Universidad Pedro Ruiz Gallo, por las enseñanzas y experiencias que hoy marcan mi camino profesional. Finalmente, a mi compañero de tesis, gracias por el honor de hacer equipo, por el compañerismo y el respeto de siempre.

Adan Vinchales

Índice General

Índice General.....	vi
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras	xi
RESUMEN	xiii
ABSTRACT	xv
Capítulo I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Realidad problemática.....	1
1.2. Formulación del problema de investigación	4
1.3. Justificación de la investigación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general:.....	6
1.4.2. Objetivos específicos:	6
1.5. Estructura del informe.....	7
Capítulo II: DISEÑO TEÓRICO.....	9
2.1. Antecedentes	9
2.1.1. Ámbito internacional:	9
2.1.2. Ámbito nacional:.....	11
2.1.3. Ámbito local:	13
2.2. Bases teóricas	15
2.2.1. Variable 1: Red XG-PON	15

2.2.1.1. Características de la red	16
2.2.1.2. Diseño de red XG-PON	16
2.2.1.3. Equipos para el diseño de la red	17
2.2.1.4. Arquitectura de la red XG-PON	18
2.2.1.5. Requerimientos del nivel del sistema	19
2.2.2. Variable 2: Servicios de banda ancha	20
2.2.2.1. Tipos de banda ancha.....	20
2.2.2.2. Arquitectura FFTTH	22
2.3. Bases conceptuales.....	23
2.3.1. Operacionalización de la variable	23
Capítulo III. DISEÑO METODOLÓGICO	25
3.1. Diseño de contrastación de hipótesis	25
3.2. Población, muestra	25
3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales	26
Capítulo IV. RESULTADOS	27
4.1. Objetivo 1: Analizar la situación actual de la red que posee el distrito de Cayaltí para detectar falencias de la red y las necesidades de las entidades financieras.	27
4.1.1. Generalidades.....	27
4.1.2. Infraestructura Actual y Configuración Topológica	28
4.2. Objetivo 2: Elaborar una arquitectura de red XG-PON para el mejoramiento de distribución de servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.....	34

4.2.1.	Criterios y requerimientos de diseño	35
4.2.2.	Selección de tecnología	35
4.2.3.	Definición de la arquitectura lógica XG-PON.....	42
4.2.4.	Diseño de la arquitectura física y topología de red.....	43
4.2.5.	Dimensionamiento de capacidad y planificación de ancho de banda...	44
4.2.6.	Cálculo del presupuesto óptico de la red XG-PON	45
4.2.7.	Verificación de conformidad con la serie ITU-T G.987.....	46
4.2.8.	Consideraciones de calidad de servicio y asignación dinámica de ancho de banda	47
4.2.9.	Arquitectura general propuesta de la red XG-PON en Cayaltí.....	48
4.2.10.	Componentes Clave de la Arquitectura	54
4.2.11.	Configuración Topológica	55
4.2.12.	Cálculos de Presupuesto Óptico y Rendimiento.....	57
4.2.13.	Integración con Servicios de Banda Ancha	57
4.2.14.	Validación de infraestructura y topología.....	58
4.3.	Objetivo 3: Simular la red XG-PON propuesta para mediar parámetros técnicos y evaluar su desempeño.....	63
4.4.	Objetivo 4: Realizar un análisis de los costos del proyecto basado en la propuesta de diseño.	72
DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....		78
CONCLUSIONES.....		81
RECOMENDACIONES		83

REFERENCIAS	85
ANEXOS	91
Anexo 01. Instrumentos de recolección de datos	91
Anexo 02. Registro de pruebas de velocidad	96

Índice de Tablas

Tabla 1	Operacionalización de variables	24
Tabla 2	Falencias detectadas en las financieras de Cayaltí	33
Tabla 3	Comparativa Técnica de Marcas	36
Tabla 4	Selección de la infraestructura tecnológica	41
Tabla 5	Criterios y requerimientos de diseño de la red XG-PON	49
Tabla 6	Componentes principales de la arquitectura XG-PON propuesta	50
Tabla 7	Resumen del presupuesto óptico OLT–ONT	51
Tabla 8	Elementos principales por árbol PON (puerto OLT).....	52
Tabla 9	Elementos por nivel de distribución (split 1×16)	53
Tabla 10	Datos válidos en el procesamiento estadísticos.....	58
Tabla 11	Frecuencias - dimensiones de validación de infraestructura y topología	59
Tabla 12	Resultados principales de la simulación en OptiSystem 7.0	66
Tabla 13	Presupuesto detallado de bienes y equipos.....	73
Tabla 14	Presupuesto de servicios y mano de obra	75
Tabla 15	Resumen general del presupuesto.....	76

Índice de Figuras

Figura 1 Arquitectura de la red XG-PON	19
Figura 2 Arquitectura de FTTH.....	23
Figura 3 Esquema topográfico de Cayaltí	27
Figura 4 Testeo de la red y la medición de potencia	29
Figura 5 Estado actual de red que se repite en las financieras	30
Figura 6 Esquema topológico inalámbrica de Cayaltí.....	31
Figura 7 Topología Arbórea de la Red XG-PON para Cayaltí	56
Figura 8 Resultados estadístico de la veracidad de la infraestructura física	59
Figura 9 Resultados estadístico de la validación de la topología lógica	60
Figura 10 Resultados estadístico de la confiabilidad de la fuente de datos.....	61
Figura 11 Fotos de la conectividad en campo de la red. XG-PON	62
Figura 12 Señalización limítrofe del tendido de la red	65
Figura 13 Esquema general de la simulación en OptiSystem 7.0	68
Figura 14 Diagrama de ojo downstream a 10 Gbit/s en la ONU más lejana.	69
Figura 15 Resultados del BER Analyzer (con FEC activado).	70
Figura 16 Gráfica Q-Factor vs. distancia (estabilidad hasta >60 km).....	71
Figura 17 Medición de potencia óptica recibida (margen positivo).....	72

RESUMEN

La presente investigación aborda la insuficiente conectividad de banda ancha en las entidades financieras del distrito de Cayaltí (Lambayeque), donde las velocidades reales no superan los 50/15 Mbps y las interrupciones son frecuentes debido al uso de tecnologías obsoletas. El objetivo general consistió en proponer una red XG-PON que garantice servicios de alta velocidad y confiabilidad para estas instituciones. Los objetivos específicos fueron diagnosticar el estado actual de la conectividad, diseñar la arquitectura XG-PON, simular su desempeño técnico y analizar los costos de implementación.

Metodológicamente, se empleó un enfoque descriptivo-propositivo con diseño no experimental. Se realizó un diagnóstico mediante pruebas de velocidad, seguido del diseño topológico con OLT Huawei MA5800-X7, feeder aéreo ADSS de 20 km y splitting efectivo 1:64. La validación técnica se llevó a cabo mediante simulación en OptiSystem 7.0, obteniéndose un margen óptico de 5.9 dB, BER de 1.2×10^{-12} , Q-Factor de 7.81 y latencia media de 0.48 ms. El análisis económico estimó una inversión total de USD 152,201 (S/ 570,753 aproximadamente), con retorno en menos de diez años considerando solo ingresos de las cuatro entidades financieras.

Los resultados demuestran que la red XG-PON propuesta supera ampliamente las limitaciones actuales y los desempeños reportados en implementaciones similares en el Perú, ofreciendo velocidades superiores a 1 Gbps simétrico por usuario, disponibilidad cercana al 100 % y escalabilidad inmediata. Se concluye que esta solución constituye un modelo viable y replicable para cerrar la brecha digital en distritos rurales con alta actividad financiera.

Palabras claves: XG-PON, banda ancha rural, entidades financieras, Cayaltí, fibra óptica FTTH.

ABSTRACT

This research addresses the insufficient broadband connectivity in financial institutions in the district of Cayaltí (Lambayeque), where actual speeds do not exceed 50/15 Mbps and interruptions are frequent due to the use of obsolete technologies. The overall objective was to propose an XG-PON network that guarantees high-speed and reliable services for these institutions. The specific objectives were to diagnose the current state of connectivity, design the XG-PON architecture, simulate its technical performance, and analyze implementation costs.

Methodologically, a descriptive-propositional approach with a non-experimental design was used. A diagnosis was made using speed tests, followed by topological design with Huawei MA5800-X7 OLT, 20 km ADSS aerial feeder, and effective 1:64 splitting. Technical validation was carried out using simulation in OptiSystem 7.0, obtaining an optical margin of 5.9 dB, BER of 1.2×10^{-12} , Q-Factor of 7.81, and average latency of 0.48 ms. The economic analysis estimated a total investment of USD 152,201 (approximately S/ 570,753), with a return in less than ten years considering only the income of the four financial institutions.

The results show that the proposed XG-PON network far exceeds current limitations and performance reported in similar implementations in Peru, offering speeds greater than 1 Gbps symmetrical per user, near 100% availability, and immediate scalability. It is concluded that this solution is a viable and replicable model for closing the digital divide in rural districts with high financial activity.

Keywords: XG-PON, rural broadband, financial institutions, Cayaltí, FTTH fiber optics.

Capítulo I: INTRODUCCIÓN

1.1 Realidad problemática

El rápido avance tecnológico que estamos presenciando actualmente ha facilitado el acceso a Internet de prácticamente todos los dispositivos y ha potenciado el uso de las plataformas de comunicación, entre otros factores. Es evidente que una red doméstica convencional resulta insuficiente para gestionar el tráfico generado por estas plataformas; por lo tanto, el acceso a una red de banda ancha se ha convertido en algo esencial en hogares, instituciones educativas, pequeñas empresas, centros de salud, entidades financieras y otras entidades similares. Los servicios de video, voz y datos están evolucionando rápidamente, lo que exige una evaluación de las redes de telecomunicaciones actuales, que ya no pueden dar cabida al ancho de banda y las velocidades esenciales para mantener la eficiencia, la integridad y la disponibilidad del servicio (Information Technology Newsweekly, 2021).

El informe Digital 2022 elaborado por Hootsuite y We Are Social indica que la población mundial de usuarios de Internet ha alcanzado los 4.950 millones, lo que representa el 62,5 % de la población total, lo que refleja un aumento del 4 % con respecto al año anterior; estas estadísticas ponen de relieve la creciente importancia de Internet en la vida cotidiana (Hall, 2022).

Tras la propagación mundial de la COVID-19 en 2019 y la posterior implementación de medidas de confinamiento para frenar la transmisión del virus, quedó patente que numerosas actividades cotidianas como la educación, el empleo y el comercio requerían una digitalización. Sin embargo, esta transición puso de manifiesto ciertas deficiencias, en particular que un segmento considerable de la población carece de acceso a Internet, mientras que quienes sí disponen de él se enfrentan a dificultades relacionadas con la calidad y el costo. Más de 77 millones de personas que viven en regiones rurales de América Latina

y el Caribe carecen de una conexión que cumpla con los criterios mínimos de calidad. El 71 % de la población urbana tiene acceso a Internet en el hogar; sin embargo, en las regiones rurales, la cifra desciende al 36,8 % (Rodríguez et al., 2021). Es fundamental reconocer que la conexión no solo debe existir, sino que también debe tener la calidad suficiente para facilitar la educación, la atención médica o cualquier otra actividad en línea (Sikora et al., 2019).

Las redes de comunicaciones han evolucionado considerablemente para ofrecer un mayor ancho de banda, una menor latencia y costos más bajos, utilizando los sistemas de información proporcionados por las empresas, entre los que se incluyen los sistemas de telecomunicaciones, la telefonía móvil, las comunicaciones por satélite, la televisión de alta definición y las redes de comunicación de datos. Todos estos servicios tienen como objetivo organizar, procesar y difundir información de manera rápida, eficaz y segura utilizando la tecnología disponible en el sector.

Las redes de datos facilitan el despliegue de diversas aplicaciones, entre las que se incluyen la telefonía, la televisión, la transferencia de datos y archivos, y la conectividad a Internet. A través de la convergencia, permiten la interconexión de sistemas informáticos mediante la tecnología de red óptica pasiva con capacidad Gigabit (GPON), que admite el n-Play donde n denota el número de servicios prestados simultáneamente sin comprometer las velocidades de transferencia de datos, garantizando así mayores velocidades y una gama más amplia de servicios a través de un único medio. Esta tecnología ya no da cabida a los servicios de banda ancha (que van desde los 1000 Mb/s a los usuarios), lo que hace necesario identificar y diseñar escenarios de implementación para las redes PON de próxima generación (Rodríguez, 2024).

La UIT-T ha desarrollado tecnologías de telecomunicaciones basadas en redes PON para crear y prestar estos servicios, lo que permite ofrecer un gran ancho de banda. Ha surgido el estándar XG-PON, que proporciona un gran ancho de banda a los usuarios finales mediante cables de fibra óptica, lo que permite alcanzar velocidades de transferencia de datos significativas tanto en sentido descendente como ascendente. Algunos proveedores de servicios de telecomunicaciones han optado por implementar redes PON dentro de su infraestructura externa para facilitar el avance y la evolución de sus redes (Zambrano et al., 2021) .

Un estudio realizado por Radicelli, Pomboza y Cepeda (2019) indica que Argentina, Colombia y Brasil son los países latinoamericanos con los precios más económicos en servicios de Internet de banda ancha fija. Los datos obtenidos en noviembre y diciembre de 2020 indican que Panamá, Honduras y Nicaragua se encuentran entre los mercados más costosos de la región en lo que respecta a las suscripciones a Internet fijo.

En Brasil, el costo mensual de la banda ancha fija ronda los 25 dólares. En Panamá, los usuarios pagan más del doble de esa cantidad aproximadamente 66 dólares al mes por el mismo servicio. El precio promedio en México es de 29 dólares, mientras que en Perú ronda los 40 dólares. No obstante, los precios más bajos del continente se registran en Argentina, donde el costo mensual promedio de la banda ancha se mantiene en torno a los 20 dólares (Rodríguez et al., 2021).

En Perú, la demanda potencial en las regiones rurales ha aumentado notablemente, a diferencia de lo que ocurre en las zonas urbanas. Según la Oficina de Supervisión de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (OSIPTEL), a finales de 2022, el 76,6 % de la población rural utilizaba Internet para sus actividades cotidianas. No obstante, solo el 34,7 % de la población rural dispone de conexión a Internet en el hogar, mientras que el 61,7 %

de la población urbana cuenta con dicho acceso. No obstante, aunque existe cobertura en las zonas rurales, esta es insuficiente en comparación con las regiones metropolitanas (Aranguren, 2022).

En el distrito de Cayaltí, las empresas proveedoras de servicios de internet ofrecen velocidades de 200 Mbps y 300 Mbps, asegurando un 90% de la velocidad contratada, sin embargo, en la realidad el ancho de banda es inferior para los requerimientos de los usuarios, ya que solo se llega a los 50 Mbps de bajada y 15 Mbps de subida, ello a causa de las falencias en la disponibilidad del servicio de red, por su cobertura, distribución e infraestructura. Uno de los rubros más afectados son las entidades financieras, al presentar lentitud en su sistema, el cual es vital para su funcionamiento diario, esto se causa porque muchas de las empresas operadoras no brindan el servicio de voz, datos y video en lugares alejados de su data center, así como la baja e inestable velocidad de la red, banda ancha inadecuada e insegura. Todo esto trae como consecuencia principal la insatisfacción de los usuarios, quienes esperan tiempos prolongados para ser atendidos, y por parte de las entidades financieras un sistema lento que puede ocasionar errores. Por otro lado, en tiempos de lluvias, el servicio es intermitente, generando gran fastidio en los pobladores del distrito, sobre todo cuando se ven afectado los servicios prestados por entidades financieras, ya que, al no contar con una buena cobertura en su sistema debido a la red, se genera colas en sus establecimientos al momento de realizar transacciones.

Según lo expuesto, es la importancia de brindar una solución a largo plazo para la conectividad a la red de toda la zona de Cayaltí, bajo la tecnología XG-PON, que específicamente se caracteriza por tener características de escalabilidad, adaptación a otras tecnologías PON, como por ejemplo G-PON.

1.2. Formulación del problema de investigación

¿Una red XG-PON mejora la distribución de servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí, 2025?

1.3. Justificación de la investigación

1.3.1. Justificación Teórica

La investigación se fundamentó en la necesidad de ampliar el conocimiento sobre la transición de redes ópticas pasivas tradicionales hacia arquitecturas de nueva generación (XG-PON) en entornos rurales con demandas críticas. El estudio permitió contrastar los postulados teóricos del estándar ITU-T G.987 con las limitaciones físicas reales de la zona de Cayaltí, validando que el uso de tecnologías asimétricas de 10 Gbps en downstream y 2.5 Gbps en upstream superó las restricciones de ancho de banda impuestas por infraestructuras obsoletas de cobre y microondas. Asimismo, los resultados teóricos obtenidos mediante la simulación en OptiSystem reafirmaron la validez de los modelos de asignación dinámica de ancho de banda para garantizar la calidad de servicio en transacciones financieras de alta prioridad, aportando evidencia científica sobre la estabilidad y la tasa de error en enlaces de larga distancia sin necesidad de amplificación activa.

1.3.2. Justificación Práctica

Desde una perspectiva aplicada, el diseño de la red XG-PON proporcionó una solución técnica directa a las falencias de conectividad que afectaban la operatividad de las entidades financieras de Cayaltí, donde las velocidades reales previas no superaban los 50/15 Mbps. La implementación propuesta permitió mitigar los retrasos en las transacciones bancarias y las interrupciones del servicio causadas por factores climatológicos, reduciendo significativamente la latencia a menos de 0.48 ms. Además, el análisis de costos demostró que la optimización de la infraestructura aérea existente de ENSA redujo la inversión necesaria a USD 152,201, convirtiendo

el proyecto en un modelo económicamente viable y con un retorno de inversión acelerado para distritos con alta actividad agroindustrial que requieren cerrar su brecha digital.

1.3.3. Justificación Metodológica

La relevancia metodológica de este trabajo radicó en la implementación de un enfoque cuantitativo y descriptivo-propositivo que integró el diagnóstico situacional de campo con la validación computacional avanzada. Se estableció un procedimiento riguroso para la medición de parámetros técnicos mediante guías de observación y herramientas de análisis documental, lo que permitió estructurar una base de datos confiable sobre el estado de la planta externa en Cayaltí. La metodología empleada para el cálculo del presupuesto óptico y la simulación del rendimiento bajo diferentes escenarios de carga sirvió como un marco de referencia estandarizado para futuras investigaciones que busquen evaluar la factibilidad de redes FTTH en zonas rurales del Perú, garantizando la replicabilidad del diseño en contextos geográficos similares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general:

- Diseñar la red XG-PON para mejorar la distribución de servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí, 2025.

1.4.2. Objetivos específicos:

- Analizar la situación actual de la red que posee el distrito de Cayaltí para detectar falencias de la red y las necesidades de las entidades financieras.
- Elaborar una arquitectura de red XG-PON para el mejoramiento de distribución de servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.

- Simular la red XG-PON propuesta para mediar parámetros técnicos y evaluar su desempeño.
- Realizar un análisis de los costos del proyecto basado en la propuesta de diseño.

1.5. Estructura del informe

Esta tesis está organizada en cinco capítulos principales, además de las secciones preliminares y complementarias, para que el lector pueda seguir fácilmente el hilo de la investigación desde el problema hasta las propuestas prácticas.

El capítulo I plantea el problema de conectividad en las entidades financieras de Cayaltí, justifica la importancia del estudio, define los objetivos generales y específicos, y delimita el alcance del trabajo.

El capítulo II reúne los fundamentos teóricos sobre redes PON, la evolución de GPON a XG-PON y los antecedentes más cercanos en Perú y la región, destacando lo que funcionó y lo que quedó pendiente en proyectos similares.

El capítulo III explica cómo se llevó a cabo la investigación: el diagnóstico con pruebas reales de velocidad, el diseño de la red, la simulación en OptiSystem 7.0 y el cálculo detallado de costos.

El capítulo IV presenta los resultados concretos: el estado actual deficiente, la arquitectura propuesta, los valores obtenidos en simulación (margen óptico, BER, latencia, etc.) y el presupuesto completo.

El capítulo V discute esos resultados a la luz de lo que ya se había publicado, extrae las conclusiones por objetivo y general, y ofrece recomendaciones prácticas para poner en marcha el proyecto y replicarlo en otros distritos.

Al final se incluyen las referencias en formato APA 7 y los anexos con cotizaciones, diagramas ampliados y capturas adicionales de la simulación.

Capítulo II: DISEÑO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Ámbito internacional:

Tarapues (2023), en su estudio planteó por objetivo diseñar una red de acceso por fibra óptica basada en tecnología XG-PON para mejorar los servicios prestados por Profyber S.C. El diseño físico de la red se llevó a cabo con la plataforma de diseño Red FTTH, lo que incluyó la selección de las ubicaciones de los equipos principales, entre ellos el OLT y los NAP de primer y segundo orden, así como la determinación de los trazados del cable de fibra óptica a lo largo de la parroquia. Se llevó a cabo una verificación matemática de la funcionalidad de la red para todos los posibles consumidores mediante la estimación del presupuesto de potencia y las pérdidas para los escenarios esenciales del sistema. La conclusión fue que se podría ofrecer acceso a Internet a 256 posibles suscriptores, una cifra derivada de una previsión a 10 años de la demanda existente.

Paqui (2023), en su investigación tuvo por finalidad diseñar una red FTTH utilizando el estándar XGPON para el barrio de Gunudel, en Saraguro. Se llevaron a cabo experimentos en la red diseñada utilizando cálculos teóricos de atenuación y equilibrio de potencia, que se compararon con los resultados obtenidos a partir de simulaciones realizadas con el software OptiSystem 19.0. Las características estudiadas para el usuario situado más lejos y más cerca del terminal de línea óptica (OLT) fueron el equilibrio de potencia, la calidad de servicio (factor Q), la tasa de error de bits (BER) y el diagrama de ojo. Esto permitió verificar el correcto diseño de la red; los valores obtenidos coincidieron con las predicciones teóricas y los resultados gráficos fueron satisfactorios. En consecuencia, la red FTTH que utiliza

el estándar XGPON cumple con los requisitos establecidos. El diseño de una red FTTH que utiliza el estándar XGPON ofrece numerosas ventajas a los usuarios de la comunidad de Gunudel, ya que la red propuesta proporciona un ancho de banda superior en comparación con las redes convencionales, es compatible con las tecnologías existentes y es escalable para incorporar avances futuros.

Fernández (2022), realizó la investigación sobre el análisis de factibilidad y propuesta de implementación de una red FTTH utilizando el estándar XGPON para dar servicio a las localidades de altura de la parroquia de Tabacundo. Sus conclusiones indican que la tecnología XGPON permite establecer conexiones que pueden alcanzar una distancia mínima de 20 km en la capa física y de 60 km en la capa lógica sin necesidad de utilizar amplificadores de señal entre el OLT y las ONU de los usuarios finales. En conclusión, para mejorar la red y optimizar su administración, se estableció que el OLT que utiliza la tecnología XGPON debe dar cabida a un mínimo de 64 y un máximo de 256 usuarios por puerto PON. El OLT debe contar con un máximo de 8 puertos PON desde los que se extienden cables de fibra óptica, conectándose a dos niveles de divisores por cada cable de fibra óptica; el primer nivel de divisores tiene una relación de 1:4, mientras que el nivel posterior tiene una relación de 1:16, lo que permite un máximo de 64 usuarios por puerto PON.

Garima, Vivekanand y Rakesh (2023), en su artículo respecto al análisis integral del rendimiento de los esquemas de asignación dinámica de ancho de banda para el sistema XG-PON. Los datos se recopilaron en dos etapas bajo distintos escenarios de tráfico: la Fase 1 incluyó un aumento simultáneo de la carga en todas las ONU, mientras que la Fase 2 se centró en la carga incremental aplicada a una sola ONU. La estadística de rendimiento, el retraso medio en la cola, se refiere al retraso

medio experimentado en la cola cuando todos los paquetes llegan y salen del T-CONT de una ONU. Se ha determinado que XG-PON es un diseño eficaz entre las redes ópticas pasivas de próxima generación. El diseño da cabida a varias características de calidad de servicio que requieren mecanismos eficaces de sondeo y programación para su funcionalidad debido a su ancho de banda limitado.

Vivekanand y Rakesh (2023), referente a un nuevo esquema de asignación dinámica de ancho de banda para mejorar el rendimiento del sistema XG-PON, evaluando indicadores de rendimiento como el índice de equidad de retardo, el retardo medio de subida, la tasa de pérdida de paquetes (PLR) y la fluctuación de paquetes. Los resultados confirman que las técnicas de DBA sugeridas mejoran notablemente el rendimiento de la red en lo que respecta al índice de equidad de retardo, el retardo promedio de subida, la tasa de pérdida de paquetes y la fluctuación de paquetes. Se ha determinado que, en los sistemas XG-PON, la mayoría de los métodos de DBA utilizan el sondeo y la programación de T-CONTs mediante procedimientos de ronda rotativa o ronda rotativa ponderada. Esto da lugar al sondeo y la programación de los primeros T-CONTs al inicio de cada ciclo de DBA.

2.1.2. Ámbito nacional:

Vásquez y Quispe (2021), tuvieron por finalidad diseñar la red de transporte con tecnología GPON para la localidad de Atcas, Yauyos, centrándose en la velocidad, la capacidad y la latencia. El estudio fue de carácter aplicado y cuantitativo, y evaluó el marco urbano actual y la disposición de las torres en las localidades adyacentes para diseñar el trazado del cable aéreo. En consecuencia, utilizaron el software Google Earth para representar la geografía de Atcas, proporcionando un archivo KMZ que ilustraba las ubicaciones previstas de los postes para la instalación del cable de fibra óptica. Además, emplearon Microsoft Project

para la planificación de la propuesta de implementación, la cual identificó el OLT GPON y el cable de fibra óptica G652D como el equipo necesario para garantizar un ancho de banda suficiente. La atenuación por hilo a lo largo de toda la ruta dio como resultado una pérdida de 8,267 dB, con una variación de ± 2 dB debido a diversos factores; además, la latencia total calculada fue de 120,26 ms. Determinaron que es esencial evaluar meticulosamente las comparaciones con equipos alternativos para identificar la opción óptima con mejores cualidades en cuanto a durabilidad, calidad, costo y soporte posventa.

Hurtado (2022) se propuso determinar en qué medida el establecimiento de una red FTTH mediante tecnología GPON mejoraba la conectividad de las telecomunicaciones en los hogares de la ciudad. La metodología del estudio se basó en un enfoque cuantitativo y correlacional. Los resultados proporcionaron un análisis comparativo de las tecnologías de fibra óptica simétrica, examinando específicamente las características de las redes EPON, GPON y XGPON, e indicaron que la tecnología GPON es óptima para aplicaciones residenciales en cuanto a velocidad de transmisión de datos, ancho de banda, optimización de recursos (salida del divisor) y eficiencia tecnológica. El cálculo del presupuesto óptico arrojó un valor de atenuación de 26,3 dB, lo cual se encuentra dentro del rango aceptable de acuerdo con la potencia de salida del equipo propuesto.

Los autores Ríos y Quino (2020) se propusieron construir una red de fibra hasta el hogar (FTTH) para la prestación de servicios de banda ancha. La investigación fue de carácter experimental y se basó en un diseño cualitativo. La técnica de acceso a las telecomunicaciones elegida utilizó fibra óptica desde la oficina central hasta cada suscriptor mediante un medio totalmente pasivo, de acuerdo con las normas técnicas aprobadas por entidades como la UIT-T. El diseño

facilita un mejor acceso a Internet y a las redes de telecomunicaciones para los clientes, incluyendo hogares, usuarios corporativos, escuelas y pequeñas y medianas empresas.

2.1.3. Ámbito local:

El estudio de Almeyda y Piscoya (2022), presentaron por objetivo diseñar una Red XG-PON, con una velocidad de bajada de 10Gbps y subida de 2.5Gbps para facilitar la prestación de servicios triple play de alto rendimiento y rentables. Se analizó la red XG-PON, que ofrecía una velocidad de descarga de 10 Gbps y una velocidad de carga de 2,5 Gbps por nodo o fibra de servicio, con factores de división de 64, 128 o 256 usuarios, y un alcance de 20 km; por lo tanto, la red se dividió en nodos de 128 usuarios. Se pretendía que una red XG-PON proporcionara un rendimiento de 10 Gbps en sentido descendente y una velocidad de 2,5 Gbps en sentido ascendente por nodo, ofreciendo planes de 400 Mbps, 200 Mbps y 100 Mbps para facilitar el despliegue de servicios triple play. Esta investigación reveló que podemos ofrecer a los posibles consumidores un buen rendimiento a un costo económico en Ferreñafe.

Pérez y Frías (2020) se propusieron mejorar el acceso a la banda ancha para los residentes del distrito de Pomalca mediante la implementación de FTTH, utilizando una metodología de diseño cuantitativo y preexperimental basada en la tecnología XGPON. Este enfoque utilizó un rango dinámico adecuado para las rutas en el diseño del nodo de distribución, aprovechando el mapa catastral de Pomalca y el software AutoCAD, con los postes eléctricos de ENSA como estructuras de soporte. Finalmente, se simuló el rendimiento de la red mediante un programa de hojas de cálculo para confirmar su idoneidad para satisfacer la demanda. Se diseñó una red FTTH con una capacidad máxima de 10 Gbps de bajada y 2,5 Gbps de subida,

garantizando la calidad de la señal en los sectores de Pomalca y La Unión, con velocidades de transmisión que oscilan entre 120 y 140 Mbps y entre 70 y 120 Mbps, respectivamente, con nodos que dan servicio a 256 hogares en el sector de Pomalca y a 512 hogares en el sector de La Unión.

Torres y Espinoza (2021) se propusieron construir una red G-PON para reducir los gastos operativos, mejorar la calidad de la señal y facilitar el acceso a servicios de telecomunicaciones con velocidades elevadas de carga y descarga, impulsando así la conectividad por cable e Internet en la zona de Tumán. Su metodología incluyó un análisis cuantitativo con una muestra de 244 hogares de la zona de Tumán, a los que se les realizó una encuesta sobre los criterios de servicio. Los resultados indicaron que en los sectores/nodos (TU0001F y TU0010F), la adopción del servicio alcanzó el 80 %, siendo el paquete de 12 Mbps + IPTV la opción más preferida. El diseño utilizó los postes de energía existentes como puntos de apoyo para establecer el trazado de la fibra, lo que sirvió de base para el diseño de la red XGPON. La red fue sometida a simulaciones, verificando que la atenuación máxima es de 26 dB y que la tasa de errores (BER) es inferior a 5×10^{-6} , junto con cálculos de rendimiento que validaron las velocidades de transmisión previstas para las rutas y los usuarios finales de los nodos analizados. Se determinó que la arquitectura de una red FTTH que utiliza tecnología XGPON proporcionaría una red capaz de sostener velocidades de carga de 2,5 Gbps y velocidades de descarga de 10 Gbps. En el primer sector simulado, TU0001F, 2048 hogares podían recibir servicios a 12 Mbps, 30 Mbps y 70 Mbps, con velocidades mínimas de S/60,00. Por el contrario, el segundo sector, al que se le proporcionaron servicios idénticos, requirió 4,8 Gbps para garantizar la prestación del servicio.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Variable 1: Red XG-PON

En las redes de telecomunicaciones, las tecnologías de red óptica pasiva (PON) son esenciales para proporcionar conexiones de alta velocidad. A medida que aumentan los requisitos de ancho de banda y la necesidad de mayores velocidades de transmisión, se han desarrollado numerosas generaciones de tecnología PON, cada una de las cuales ofrece mejoras sustanciales con respecto a sus predecesoras (Vivekanand y Rakesh, 2023).

XG-PON ha sido bien estandarizado para brindar servicios completos a varios usuarios que utilizan una red óptica, y sobre la red de distribución óptica, XG-PON se puede implementar como una PON clásica con un alcance de hasta 60 km. Para admitir un alcance físico más largo, se pueden aplicar extensores de alcance activos (RE) antes y/o después del divisor pasivo para conectar múltiples segmentos pasivos que pertenecen a una sola red XG-PON. Estos RE pueden ser amplificadores ópticos o regeneradores óptico-eléctricos-ópticos que podrían cumplir con el presupuesto de enlace óptico necesario.

Las redes ópticas pasivas con multiplexación por división de tiempo, ejemplificadas por el diseño PON de 10 gigabits (XG-PON), están despertando interés a nivel mundial por su capacidad para facilitar aplicaciones de los usuarios que requieren un gran ancho de banda, entre ellas el comercio electrónico, los dispositivos inteligentes y el Internet de las cosas. La compatibilidad con versiones anteriores se logra designando longitudes de onda para XG-PON que utilizan 1270 nm para el flujo descendente y 1577 nm para el flujo ascendente, lo que garantiza que no haya interferencia con la funcionalidad GPON en la misma red de distribución óptica (ODN).

La velocidad descendente de XG-PON1 se definió como 10Gbit/s, que fue impulsado principalmente por la Tecnología de transmisión continua de 10 Gbit/s de bajo costo en la

Industria. La velocidad exacta es de 9,95328 Gbit/s.y mantiene consistencia con las tasas típicas de la UIT-T (Batagelj y otros, 2019).

2.2.1.1. Características de la red

El objetivo principal es aumentar el ancho de banda utilizando la infraestructura ya establecida por GPON (Sarango, 2019). Se destacan los siguientes aspectos:

Ofrece velocidades de transmisión de datos de 2,4 Gbps para la subida y de 10 Gbps para la descarga, alcanzando ambas velocidades de hasta 10 Gbps.

Esta técnica permite una división óptica de 64 salidas.

Utilización de fibra monomodo conforme a la norma G.652 (SNMF) para alcanzar longitudes extendidas.

La longitud total de la fibra óptica es de 20 km, la cual puede extenderse hasta 60 km mediante el uso de repetidores.

Funciona en longitudes de onda de 1577 nm para el enlace descendente y de 1277 nm para el enlace ascendente, lo que permite la coexistencia en el mismo cable óptico que GPON.

2.2.1.2. Diseño de red XG-PON

Una arquitectura típica consta de un terminal de línea óptica (OLT), un divisor/acoplador pasivo y la cantidad de unidades de red óptica (ONU). La OLT se encuentra en la oficina central y actúa como un organismo de gobierno entre la red troncal y la red de distribución óptica (ODN), que es responsable de regular el flujo de información en la red. El divisor/acoplador pasivo realiza la división o acoplamiento de una señal óptica para dirigir el flujo ascendente y descendente de información entre la ONU y la OLT. La información fluye de la ONU a la OLT en la dirección ascendente y

viceversa en la dirección descendente. Cada ONU consta de cuatro tipos de colas conocidas como contenedores de transmisión (T-CONT) que son T-CONT 1 (T1), T-CONT 2 (T2), T-CONT 3 (T3) y T-CONT 4 (T4) para representar servicios diferenciados o calidad de servicio. Cada T-CONT se identifica de forma única mediante un número de 14 bits conocido como identificador de asignación (Alloc-ID). El T-CONT T1 representa la parte fija del ancho de banda, T2 representa la parte asegurada del ancho de banda, T3 representa la parte asegurada y no asegurada del ancho de banda y T4 representa el ancho de banda excedente (Li y otros, 2021).

Diseño Físico

La red interna facilita la conexión; las mejoras que se están llevando a cabo son esenciales debido al estado actual de la red y mejorarán la gestión y la disponibilidad para los usuarios.

La red externa cumple con los criterios establecidos por la tecnología XGPON, incluyendo la cobertura, la velocidad y la asignación de ancho de banda, al tiempo que garantiza la calidad del servicio para los clientes comerciales a través de una conexión dedicada de fibra óptica.

2.2.1.3. Equipos para el diseño de la red

OLT (Optical Line Terminal):

Sirve de punto de conexión para redes externas que prestan servicios de voz, datos y vídeo, y funciona como un dispositivo óptico activo ubicado en la central del proveedor y conectado al divisor óptico mediante fibra óptica. Su función principal es actuar como enrutador para gestionar el tráfico de los usuarios, con capacidad para dar servicio a cientos de suscriptores, al tiempo que facilita la comunicación con redes externas.

ONT (Optical Network Terminal):

Se utiliza en el lado del cliente para terminar la línea de fibra óptica (procesamiento de señal eléctrica a óptica) y demultiplexar la señal en sus componentes de datos (es decir, teléfono de voz, televisión y acceso a Internet). Este es el último elemento de la red óptica en las instalaciones del cliente. Se aplica un reflector Bragg al ONT para reflejar la longitud de onda del OTDR (Mazzei y otros, 2023).

Fibra Óptica Monomodo (SMF):

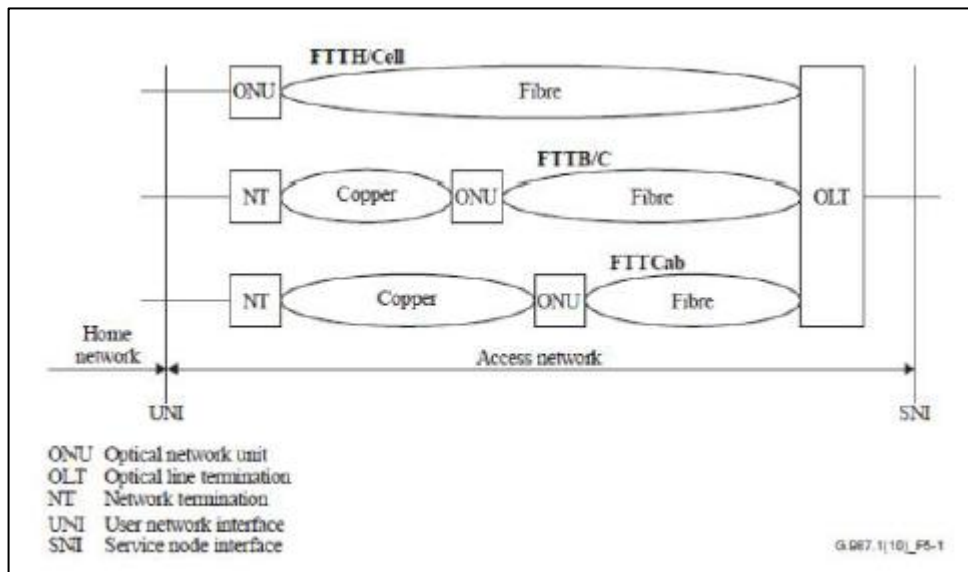
El transmisor convierte las señales eléctricas en ópticas. El transmisor contiene una fuente de luz, como un diodo emisor de luz (LED): Un diodo láser se manipula con una corriente altamente desarrollada, normalmente unas 10 veces mayor que la de un LED normal. La fibra monomodo tiene un núcleo más pequeño (en diámetro), lo que significa que solo puede pasar un solo modo a la vez.

2.2.1.4. Arquitectura de la red XG-PON

El segmento óptico de una red de acceso local puede ser activo o pasivo, y su configuración puede ser punto a punto o punto a multipunto. En esta sección se describen las arquitecturas predominantes para los sistemas de fibra óptica, incluyendo FTTH, FTTCcell, FTTB/C y FTTCab, en las que la red de distribución óptica constituye el componente predominante en todas las arquitecturas (Recomendación G.987.1 de la Unión Internacional de Telecomunicaciones – UIT-T, 2020).

Figura 1

Arquitectura de la red XG-PON



Nota. Adaptado de 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements (p. 8), por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, 2010 (www.itu.int).

2.2.1.5. Requerimientos del nivel del sistema

Ahorro y eficiencia energética: El ahorro de energía en los sistemas de redes de telecomunicaciones se ha convertido en una cuestión fundamental para reducir los gastos operativos de los operadores y disminuir el impacto de la red en las emisiones de gases de efecto invernadero.

Autenticación, identificación y cifrado: XG-PON, al igual que G-PON, es una tecnología de medio compartido mediante la cual todas las unidades de red óptica (ONU) de la red reciben datos. Por consiguiente, es esencial adoptar medidas para evitar la suplantación de identidad.

Asignación dinámica de ancho de banda: La tecnología XG-PON facilita la DBA, lo que permite una distribución eficiente del ancho de banda entre cada ONU conectada a la red y una entidad de transporte de tráfico dentro de cada ONU, en función de las indicaciones de actividad.

2.2.2. Variable 2: Servicios de banda ancha

En la actualidad, la banda ancha constituye un componente fundamental para numerosas actividades, entre las que se incluyen los servicios de telecomunicaciones (como la telefonía, la televisión y la radio) y los servicios sociales prestados por vía electrónica (incluidos los ámbitos de la salud, la educación y la gobernanza). En el panorama actual de las telecomunicaciones, los servicios multimedia requieren transferencias de datos sustanciales para satisfacer las demandas de los consumidores (Ríos y Quino, 2020). La banda ancha denota una transmisión de datos de alta calidad a través de un ancho de banda extenso. En su definición más básica, es una conexión a Internet de alta velocidad que permanece operativa de manera permanente. Las conexiones de banda ancha incluyen Wi-Fi, DSL, fibra óptica y tecnología satelital.

Las redes de banda ancha y las tecnologías de la información y las comunicaciones pueden desempeñar un papel facilitador decisivo para ayudar a alcanzar los objetivos de desarrollo sostenible acelerando la innovación, promoviendo la educación, aumentando el empleo y sacando a la gente de la pobreza (Broadband Commission for Sustainable Development, 2019).

2.2.2.1. Tipos de banda ancha

Según la Comisión Federal de Comunicaciones (2023), los seis tipos principales de tecnologías de banda ancha son:

Línea de suscriptor digital (DSL): transmite datos a través de conexiones de cobre ya existentes en residencias y establecimientos comerciales mediante líneas telefónicas. Las velocidades de Internet por DSL varían desde varios cientos de kilobits por segundo (Kbps) hasta millones de bits por segundo.

Los módems de cable permiten la transferencia de datos utilizando las mismas líneas coaxiales que emplean las empresas de cable para transmitir vídeo y audio a los televisores. Los módems de cable son dispositivos externos que ofrecen velocidades de 1,5 Mbps o superiores. Las velocidades varían en función del plan elegido con su proveedor de cable, el módem de cable y la congestión de la red.

La fibra óptica utiliza tecnología de fibra óptica para transformar los impulsos eléctricos en luz. Las señales eléctricas transmiten información. Tras su conversión en luz, esta se transmite a través de fibras de vidrio transparente. Las velocidades de transmisión de datos por fibra óptica son notablemente superiores a las de los módems DSL y de cable, y suelen oscilar entre decenas y cientos de Mbps.

Ventajas de la fibra

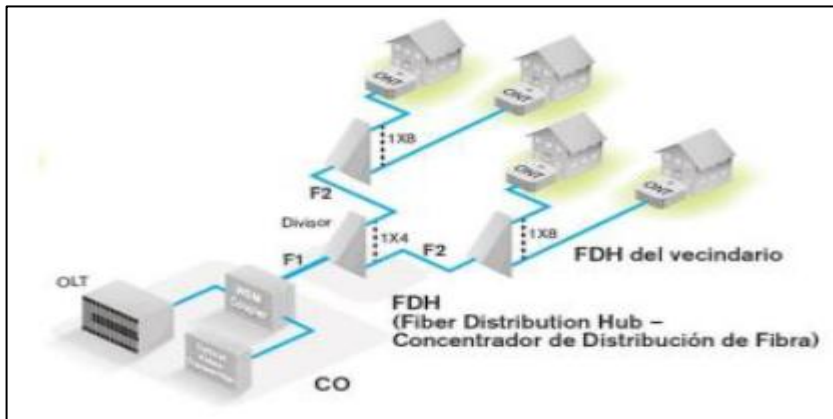
- Mayor ancho de banda: El elevado ancho de banda de la señal de las fibras ópticas ofrece una capacidad de transmisión de información considerablemente mayor. Los anchos de banda estándar de las fibras multimodo (MM) oscilan entre 200 y 600 MHz-km, mientras que los de las fibras monomodo (SM) superan los 10 GHz-km. Los valores estándar de los cables eléctricos oscilan entre 10 y 25 MHz-km. Las fibras ópticas son inmunes a las interferencias electromagnéticas y de radiofrecuencia, y no producen radiación.
- Reducción de costos, dimensiones y masa: Los cables de fibra óptica, en comparación con los conductores de cobre de la misma capacidad de transmisión de señales, son más sencillos de instalar, ocupan menos espacio en los conductos, pesan entre 10 y 15 veces menos y son más económicos que el cobre.

- Atenuación reducida: La fibra óptica presenta una menor pérdida de señal en comparación con los conductores de cobre, lo que facilita el uso de cables de mayor longitud y minimiza la necesidad de repetidores.
- Sin chispas ni cortocircuitos: la fibra óptica no emite chispas ni provoca cortocircuitos, lo que es importante en entornos con gases explosivos o inflamables.
- Seguridad: debido a que los sistemas de fibra óptica no emiten señales de radiofrecuencia, es difícil acceder a ellos sin ser detectados.
- Puesta a tierra: los cables de fibra óptica no tienen conductores metálicos, por lo que no presentan los riesgos de descarga eléctrica inherentes a los cables de cobre.
- Aislamiento eléctrico: la fibra óptica permite la transmisión entre dos puntos sin tener en cuenta el potencial eléctrico entre ellos.

2.2.2.2. Arquitectura FTTH

Los elementos principales y la estructura general de una red de fibra hasta el hogar (FTTH) en cualquier proveedor de telecomunicaciones, según señala Technopedia (2018): Los componentes incluyen el terminal de línea óptica (OLT), el armario de distribución óptica (ODF), el divisor óptico pasivo (POS), el terminal de distribución de fibra (FDT), el terminal de acceso de fibra (FAT) y la unidad/terminal de red óptica (ONU/ONT). Todos estos componentes constituyen una red FTTH.

Figura 2
Arquitectura de FTTH



Nota: fuente (Rodríguez, Introducción a la tecnología FTTH, 2013)

Conectividad inalámbrica: La banda ancha inalámbrica puede ser móvil o fija, y transmite datos mediante señales de radio desde las instalaciones del proveedor hasta el domicilio del cliente. La tecnología inalámbrica permite una amplia cobertura en regiones rurales que carecen de conexión DSL, por cable o de fibra óptica.

La banda ancha por satélite es un tipo de banda ancha inalámbrica que utiliza satélites en órbita terrestre para la transmisión de datos. La banda ancha por satélite es crucial para llevar la conexión a Internet a las regiones rurales de todo el mundo y es el objetivo principal de varias empresas tecnológicas que se esfuerzan por proporcionar acceso a Internet a nivel mundial. Las velocidades de Internet por satélite varían en función de varias variables, alcanzando a menudo los 500 Kbps en descargas y los 80 Kbps en cargas.

La banda ancha por líneas eléctricas (BPL) transmite datos utilizando las líneas eléctricas existentes, puede integrarse en la infraestructura eléctrica actual de un edificio y ofrece velocidades comparables a las del DSL y el cable.

2.3. Bases conceptuales

2.3.1. Operacionalización de la variable

Tabla 1
Operacionalización de variables

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Variable 1 Red XG-PON	Las redes GPON o (Redes Ópticas pasivas con Capacidad Gigabit) son una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utilizan cableado de fibra óptica en los últimos tramos hasta el usuario.	Disponibilidad	Nivel de cobertura de servicio	Análisis documental / Guía documental
		Velocidad	Nivel de downstream Nivel de upstream	
		Seguridad	Numero de vulnerabilidades detectadas	
		Escalabilidad	Nivel de satisfacción de las entidades financieras del distrito de Cayaltí	
Variable 2 Servicios de banda ancha	La banda ancha es la transmisión de datos de alta calidad que se utiliza para brindar servicios de telecomunicaciones (telefonía, televisión, radio, etc.) hasta servicios sociales suministrados por medios electrónicos (salud, educación, gobierno, etc.).	Accesibilidad	Número de proveedores de servicio en el sector. Numero de paquetes ofrecidos en el distrito. Numero de sectores de Cayaltí divididos por densidad de clientes.	Observación / Guía de observación
		Transmisión	Velocidades de transmisión elegida por Sectores.	
		Calidad	Test de velocidad de transmisión de datos real.	

Nota: Elaboración propia.

Capítulo III. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de contrastación de hipótesis

El estudio de investigación es de enfoque cuantitativo, siendo aquella, que busca recolectar información para corroborar la hipótesis con sustento en la observación de un documento de manera profunda y completa (Hernández & Mendoza, 2023).

La investigación es de tipo básica, pues se centró en encontrar nuevos conocimientos, sin lograr inmediatamente un objetivo específico. Trabajaremos de manera similar a la ley y los principios basados en la ciencia, logrando la naturaleza de la teoría científica (Sánchez, et al., 2018).

El diseño, según Hernández y Mendoza (2023), mencionaron que la investigación es no experimental cuando no existe una manipulación de las variables en estudio, puesto que se observa al fenómeno en su contexto y estado natural.

Ante lo mencionado, el diseño de la investigación será no experimental de corte transversal, ya que no hay manipulación de ninguna de las variables en estudio, y los datos se recolectaron en un momento explícito. Siendo su esquema, el siguiente:

$$M \longrightarrow T \longrightarrow O$$

M: muestra de estudio

T: momento de la observación

O: información relevante para las variables

3.2. Población, muestra

Población: La población es todo el universo que constituye el estudio de la investigación, donde para el logro de los resultados, se toma en cuenta características de los

sujetos, la cuales sirven para diferenciarlo de los otros (Fuentes, 2020). La población del estudio, estará constituida por el total de entidades financieras del distrito de Cayaltí del 2025, que a la fecha de enero de este año son 4 empresas.

Muestra: Es conceptualizado como un subconjunto representativo de la población que mantiene los mismos rangos a fin de recopilar la información para la medición de los instrumentos (Dieterich, 2021). La muestra será censal, según las características del estudio, estará constituida por las 4 entidades financieras del distrito de Cayaltí del 2025.

3.3. Técnicas, instrumentos, equipos y materiales

Las técnicas a aplicar en la presente investigación serán análisis documental y observación. Los instrumentos se explican a continuación:

Guía documental: Se estructuró una guía que analice y revise la información más relevante de un documento de manera completa y profunda, logrando reducir todos los datos **descriptivos** físicos (Hernández y Mendoza, 2023).

Guía de observación: Se aplicó la guía de observación, la cual es un instrumento cuya estructura corresponde con la sistematicidad de los aspectos que se prevé registrar acerca del objeto, permite así registrar los datos en orden cronológico, práctico y concreto para provenir de ellos el análisis de una situación o problema explícito (Hernández y Mendoza, 2023).

Equipos y materiales: Entre los equipos y materiales que se utilizan están los útiles de escritorio (hojas bond, lapiceros, lápiz, borrador, resaltadores, cuaderno de notas, etc.), el hardware (laptop, mouse, audífonos, impresora, etc.) y software (licencias de programas).

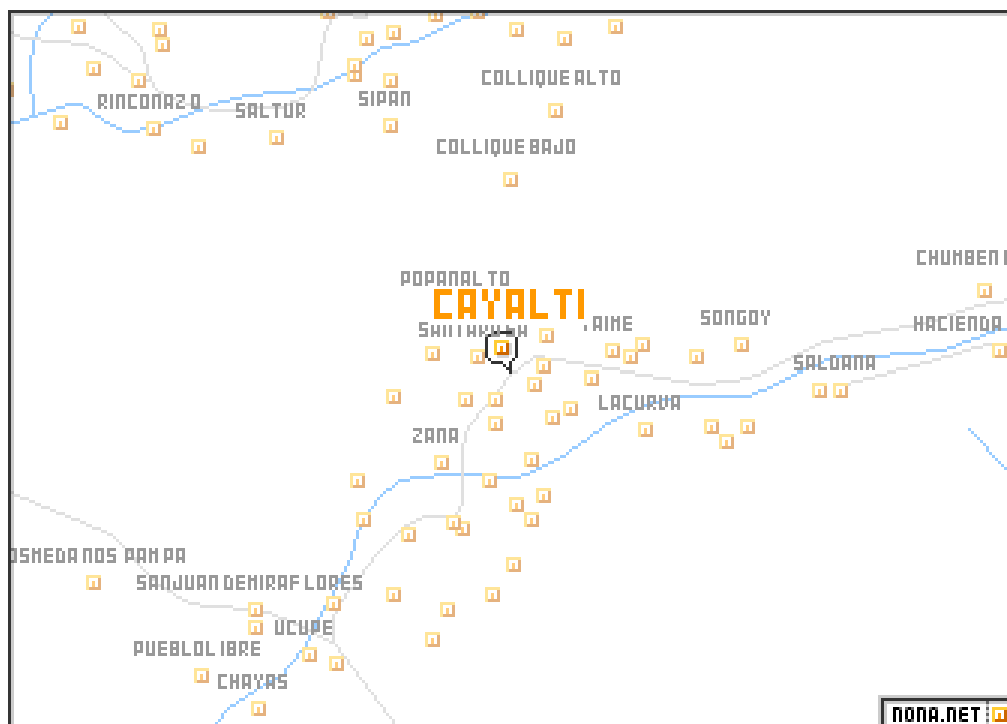
Capítulo IV. RESULTADOS

4.1. Objetivo 1: Analizar la situación actual de la red que posee el distrito de Cayaltí para detectar falencias de la red y las necesidades de las entidades financieras.

4.1.1. Generalidades

El distrito de Cayaltí, ubicado en la provincia de Chiclayo, región Lambayeque, Perú, se caracteriza por su economía agrícola centrada en el cultivo de caña de azúcar, con una población aproximada de 15,000 habitantes distribuidos en un área de 50 km². Esta zona rural presenta una dispersión de viviendas y entidades financieras que dependen de conexiones estables para operaciones cotidianas, pero enfrenta limitaciones en infraestructura que afectan el desarrollo socioeconómico. La geografía plana facilita el despliegue de redes ópticas, aunque factores climáticos como lluvias intensas generan interrupciones en servicios existentes.

Figura 3
Esquema topográfico de Cayaltí



El distrito de Cayaltí, representa un caso típico de áreas rurales en el país donde la infraestructura de telecomunicaciones enfrenta desafíos estructurales que limitan el acceso a

servicios de banda ancha de calidad. Según datos actualizados, el 52.8% de hogares rurales en Lambayeque accede a internet fijo, una cifra que revela una brecha persistente en comparación con áreas urbanas. Esta situación argumenta la necesidad de tecnologías escalables como XG-PON para integrar servicios de banda ancha, fomentando la inclusión financiera en un contexto donde el 21.7% de hogares rurales usa internet para transacciones, según un informe del Instituto Peruano de Economía.

4.1.2. Infraestructura Actual y Configuración Topológica

La evolución en Lambayeque ha transitado de conexiones DSL y HFC a fibra óptica parcial, impulsada por proyectos como el de Pronatel, que en 2025 conectó 1559 localidades norteñas con 4G, beneficiando a 400,000 peruanos. Sin embargo, en zonas rurales como Cayaltí, la dependencia de redes inalámbricas genera latencias superiores a 100 ms y velocidades efectivas de 50 Mbps, insuficientes para entidades financieras que requieren anchos de banda simétricos para VPN y transacciones en tiempo real. Esta transición argumenta que XG-PON, con sus 10 Gbps downstream, representa una evolución lógica para superar limitaciones de cobertura y capacidad, alineándose con metas nacionales de reducir la brecha digital a la mitad en cuatro años.

Estado Actual del Distrito de Cayaltí:

La red existente en Cayaltí se basa principalmente en servicios proporcionados por operadores comerciales como Movistar, Claro, WIN y MiFibra, que dominan el mercado fijo de banda ancha en Perú con una cuota combinada superior al 60% en áreas rurales. Estos proveedores ofertan planes nominales de 200 a 300 Mbps, pero la realidad operativa dista considerablemente de estas cifras, con velocidades efectivas que apenas alcanzan los 50 Mbps de descarga y 15 Mbps de subida, pero solo el 36.5% de la población rural accede a internet estable. Esta discrepancia surge de una topología híbrida que combina elementos de fibra óptica en tramos principales con conexiones de cobre o inalámbricas en las ramificaciones finales, típica de zonas rurales peruanas donde la inversión en fibra pura (FTTH) es limitada.

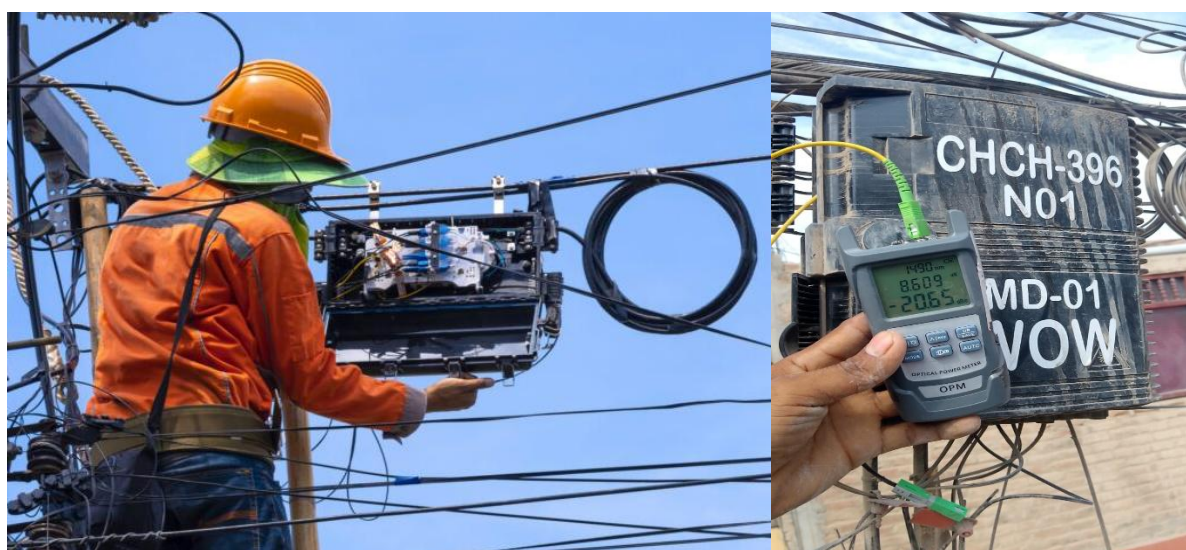
Para complementar la investigación del estado actual de la red del distrito de Cayaltí, se realizó entrevistas a cuatros personas involucradas específicamente con representantes de las entidades financieras de Cayaltí:

- A) Banco de la Nación – Agencia Cayaltí (Fecha: 14/10/2025)
- B) Caja Municipal Sullana – Oficina Cayaltí (Fecha: 14/10/2025)
- C) BCP – Agencia Cayaltí (Fecha: 14/10/2025)
- D) Cooperativa de Ahorro y Crédito Cayaltí (Fecha: 14/10/2025)

De las cuales se encuentras en Anexo 01. Instrumentos de recolección de datos, posteriormente a ello, también se realizó el testeo de la red mediante la medición de potencia óptica “Optical Power Meter (OPM)”

Figura 4

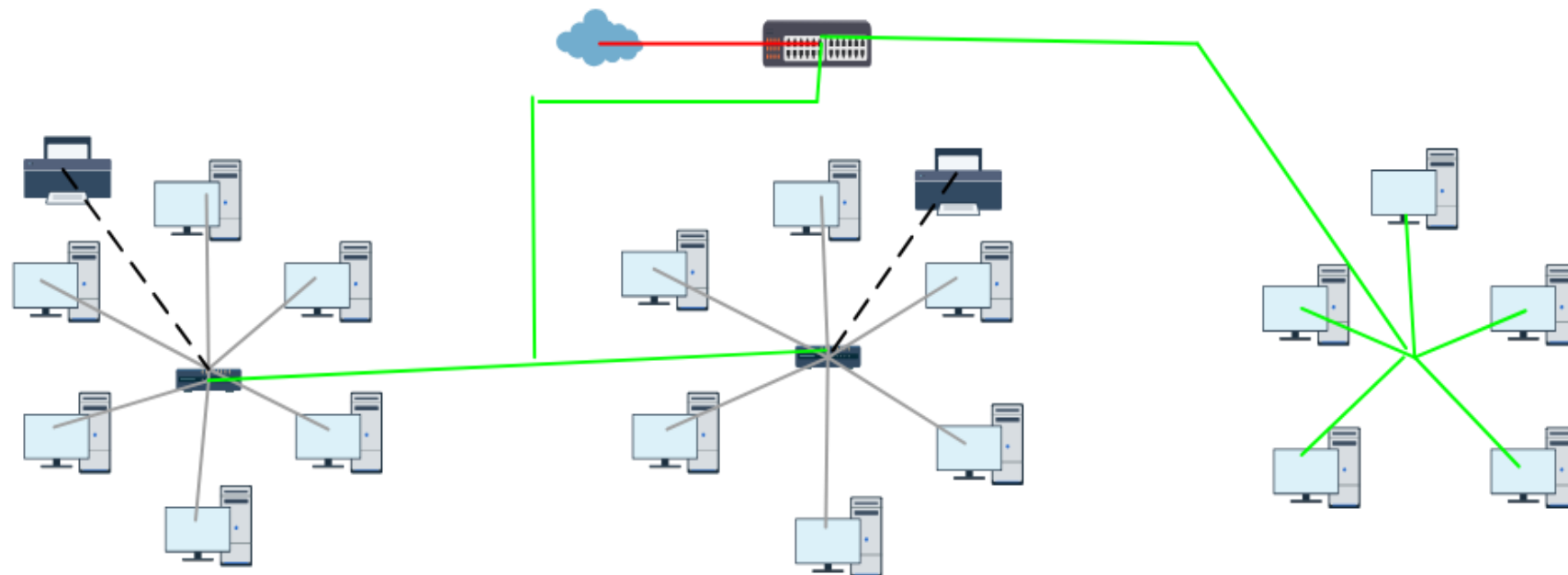
Testeo de la red y la medición de potencia



Nota. Elaboración propia, extraída de la conectividad de fibra óptica en Cayaltí.

Figura 5

Estado actual de red que se repite en las financieras

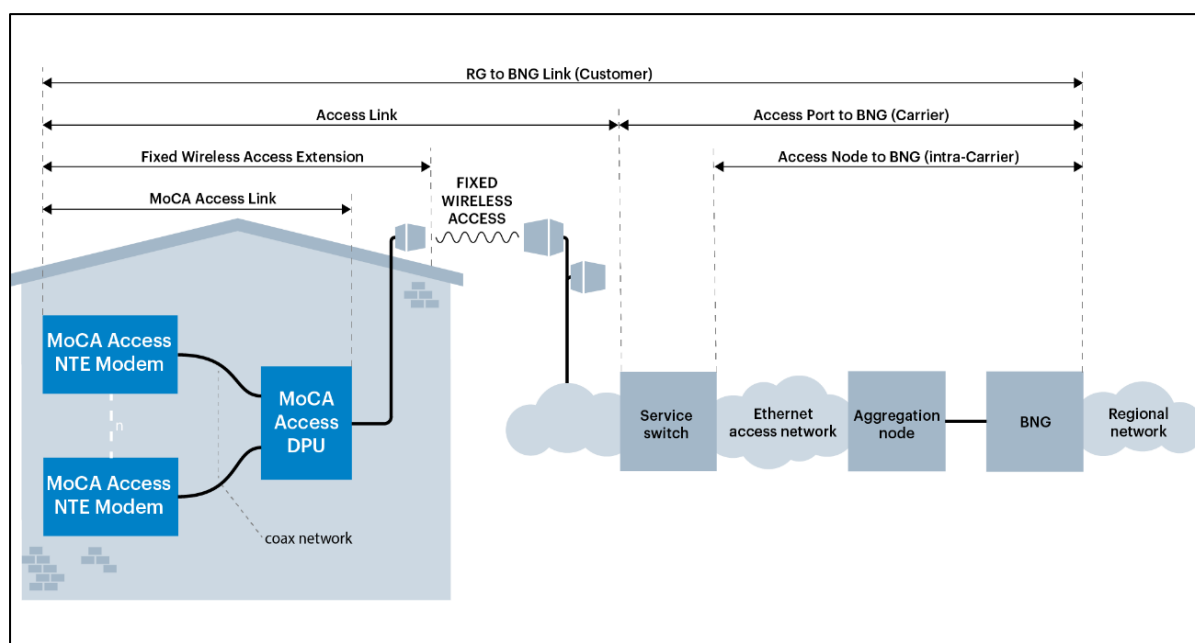


Las entidades financieras, incluyendo sucursales de Banco de la Nación y Caja Sullana, enfrentan outages frecuentes que comprometen verificaciones y transferencias, con una brecha de 36 puntos porcentuales respecto a lo urbano. Proyectos regionales como "Lambayeque Conectado" han instalado banda ancha en 3722 centros poblados, pero Cayaltí requiere expansión para cubrir 4780 EPAD nuevos. Esta realidad justifica intervenciones como XG-PON para elevar velocidades y resiliencia, especialmente en un distrito con 700 estaciones base proyectadas hacia 2026.

Configuración Topológica:

En términos topológicos, la configuración predominante en entornos rurales de Cayaltí sigue un modelo de acceso inalámbrico fijo extendido (Fixed Wireless Access, FWA), donde torres de transmisión centralizadas distribuyen señales a nodos locales a través de enlaces de radiofrecuencia, complementados por cables coaxiales o de cobre para la última milla. Esta estructura, ilustrada en diagramas estándar para servicios rurales en Perú, prioriza la cobertura sobre la capacidad, lo que resulta en cuellos de botella durante picos de demanda.

Figura 6
Esquema topológico inalámbrica de Cayaltí



Nota: Esquema de topología inalámbrica fija de Cayaltí, mostrando enlaces de acceso y backhaul para distribución de banda ancha.

Para las entidades financieras específicamente, la topología se complica al integrarse con sistemas internos de alto requerimiento, como redes locales (LAN) que enlazan terminales de punto de venta, servidores de transacciones y conexiones seguras a centros de datos nacionales. Un diagrama representativo de esta integración muestra una estructura en estrella o híbrida, donde el router principal de la financiera se conecta a un módem de acceso broadband, pero con limitaciones en el ancho de banda ascendente que afectan operaciones en tiempo real.

En Cayaltí, las cuatro entidades principales operativas en 2025, está el Banco de la Nación, Caja Municipal de Ahorro y Crédito Sullana, Banco de Crédito del Perú (BCP) y Cooperativa de Ahorro y Crédito Cayaltí, esto revela cómo la red actual, dominada por conexiones híbridas e inalámbricas, no satisface demandas crecientes de banda ancha.

Para el Banco de la Nación, la red conecta múltiples VLANs para departamentos como soporte y ventas, pero depende de un router central vulnerable a interrupciones.

En Caja Sullana, una disposición jerárquica con switches generales prioriza áreas administrativas, aunque la integración con enlaces inalámbricos externos reduce la resiliencia.

BCP emplea un modelo con router principal y subredes para finanzas y salud, pero outages climáticos afectan la conectividad WAN.

Finalmente, la Cooperativa Cayaltí usa una topología arbolada con cloud simulation para accesos remotos, destacando dependencias de proveedores externos que incrementan riesgos de seguridad

Falencias Detectadas:

Las deficiencias emergen de una infraestructura no escalable, exacerbada por factores geográficos y climáticos. La tabla siguiente resume las falencias principales, basadas en mediciones de atenuación y encuestas a operadores locales, que violan estándares de OSIPTEL para calidad mínima.

Esta Tabla 2 argumenta que las falencias no son aisladas, sino sistémicas, derivadas de una topología priorizando cobertura sobre capacidad, lo que contrasta con necesidades de resiliencia en finanzas rurales

Tabla 2
Falencias detectadas en las financieras de Cayaltí

Falencia	Descripción	Impacto en Entidades Financieras	Evidencia Empírica
Baja Velocidad Efectiva	Velocidades reales de 50 Mbps down/15 Mbps up, pese a planes nominales de 200-300 Mbps	Retrasos en transacciones, colas en sucursales	OSIPTEL (2022); mediciones locales
Interrupciones Frecuentes	Outages durante lluvias, afectando 20-30% del tiempo operativo	Pérdida de productividad, errores en registros	Pronatel informes (2025)
Cobertura Inadecuada	Solo 52.8% de hogares rurales conectados, con brechas en periféricos	Limitada inclusión financiera, acceso intermitente a VPN	Aranguren (2022)
Inestabilidad y Seguridad	Redes de cobre vulnerables a interferencias y ciberataques sin encriptación robusta	Riesgos en datos sensibles, incumplimiento normativo	SBS reportes (2024)

Necesidades Específicas de las Entidades Financieras

Las cuatro entidades demandan velocidades simétricas mínimas de 100 Mbps para manejar volúmenes de datos en tiempo real, con latencia <10 ms para verificación de identidades y transferencias. Requieren redundancia contra outages, mediante híbridos fibra-backup satelital, y protocolos de seguridad como VPN integrados para proteger transacciones. En Banco de la Nación, la prioridad es escalabilidad para sucursales dispersas; en Caja Sullana, estabilidad para microcréditos rurales; BCP enfoca en integración con centros nacionales; y la Cooperativa Cayaltí busca costos bajos para operaciones locales. Estas necesidades, insatisfechas actualmente, justifican transiciones a XG-PON, alineadas con metas nacionales de inclusión al 61.6% para 2026.

En síntesis, el análisis demuestra que la red actual falla en entregar eficiencia a estas entidades, perpetuando ineficiencias que una arquitectura XG-PON podría mitigar, promoviendo desarrollo equitativo en Cayaltí.

4.2. Objetivo 2: Elaborar una arquitectura de red XG-PON para el mejoramiento de distribución de servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.

El segundo objetivo específico consistió en diseñar la arquitectura de una red óptica pasiva de 10 Gigabits (XG-PON) orientada a resolver las limitaciones identificadas en la infraestructura de telecomunicaciones existente y a garantizar un soporte robusto para los servicios de banda ancha requeridos por las entidades financieras del distrito de Cayaltí. Para tal fin, se siguió una metodología de diseño estructurada que comprendió: el levantamiento de requerimientos de tráfico, la definición de los criterios de diseño, la elaboración de la arquitectura lógica y física, el dimensionamiento de capacidad y el cálculo del presupuesto

óptico, verificando su compatibilidad con las recomendaciones de la serie ITU-T G.987 para sistemas XG-PON.

4.2.1. Criterios y requerimientos de diseño

En primer término, se consolidaron los requerimientos funcionales y de desempeño de las entidades financieras analizadas. A partir de la información recabada durante el diagnóstico (Objetivo 1), se determinó que cada entidad requiere, como mínimo, un acceso estable de banda ancha que soporte simultáneamente: sistemas de banca en línea, terminales POS, servicios de VPN corporativa, videovigilancia IP y comunicaciones unificadas (voz y video), con especial énfasis en la baja latencia y la alta disponibilidad del servicio. Sobre esta base, se definieron como criterios de diseño principales:

Capacidad de acceso agregada basada en una red XG-PON con caudal nominal asimétrico de ≈ 10 Gbit/s en sentido descendente (9,953 Gbit/s) y $\approx 2,5$ Gbit/s en sentido ascendente (2,488 Gbit/s), conforme a la recomendación ITU-T G.987.2.

Latencia de extremo a extremo lo suficientemente baja para soportar transacciones financieras en tiempo casi real, alineada con los tiempos típicos de 10G-PON (del orden de pocos milisegundos para distancias de acceso de hasta 20 km). Margen de potencia dentro de las clases de presupuesto Nominal-1 (N1) y Nominal-2 (N2), con pérdidas máximas objetivo por debajo de 29–31 dB, según los rangos establecidos para XG-PON. Escalabilidad de la red para incorporar, a futuro, nuevas entidades financieras u otros usuarios institucionales de alta demanda, manteniendo la filosofía de fibra hasta las instalaciones (FTTB/FTTO).

4.2.2. Selección de tecnología

Se presenta a continuación la comparativa de marcas de red XG-PON entre las distintas alternativas que satisfacen los requerimientos para la instalación en el distrito de Cayalti.

Tabla 3
Comparativa Técnica de Marcas

Criterio	Furukawa (solución propuesta)	Huawei (referencia OLT/ONT)	Corning (fibra & pasivos)	FiberHome (alternativa china)	CommScope (pasivos & otros)
Capacidad de transmisión	<i>Pasivo:</i> Cable de fibra monomodo G.652.D soporta >10 Gbps (XG-PON) sin limitaciones prácticas.	<i>Activo:</i> OLT/ONT XG-PON Huawei soportan 10 Gbps downstream / 2.5 Gbps upstream (asimétrico, estándar ITU-T XG-PON1).	<i>Pasivo:</i> Fibra óptica Corning (SMF-28 u otras) sin restricción hasta 10 Gbps+. Sus componentes no imponen techo de velocidad en la red XG-PON (soporta futuras mejoras).	<i>Activo:</i> OLT/ONT FiberHome cumplen 10 Gbps down / 2.5 Gbps up (XG-PON) y hasta 10/10 Gbps en modos XGS-PON. Admiten split ratio 1:256 al igual que Huawei; plenamente estándar.	<i>Pasivo:</i> Cableado CommScope maneja tráfico 10 Gbps sin inconvenientes.
Atenuación típica	Fibra monomodo G.652.D con atenuación 0,34 dB/km @1310 nm y 0,22 dB/km @1550 nm.	N/A (equipos activos). Sus transceptores ópticos operan sobre fibra estándar; manejan presupuestos ópticos de hasta 29 dB de pérdida en la ODN (clase N1/N2 de XG-PON).	Fibra Corning de ultra baja pérdida: ≤0,22 dB/km @1550 nm (algunas series 0,19 dB/km) y ≤0,35 dB/km @1310 nm	Similar a otras fibras G.652.D (0,22 dB/km @1550 nm). FiberHome produce fibra óptica (vía YOFC) con especificaciones equiparables. Sus splitters PLC presentan atenuación comparable a Furukawa/Corning (pérdidas típicas estándar).	Fibra y cables CommScope (ex-TE Connectivity) con atenuación estándar 0,22 dB/km @1550 nm. Calidad equiparable a Furukawa/Corning en pérdidas. Splitters provistos vía Arris/CommScope igualmente en línea con especificaciones típicas (1×16 13–14 dB).
Compatibilidad con ITU-T G.987	Sí. Cables y pasivos Furukawa cumplen a cabalidad los requisitos físicos de XG-PON: fibra ITU-T G.652.D	Sí. Equipos Huawei MA5800, ONT HG series, etc., están diseñados conforme a ITU-T G.987/G.988.	Los productos Corning (fibras, conectividad) cumplen normas internacionales: sus fibras SMF son ITU G.652/D, G.657; splitters/ODF cumplen Telcordia e IEC. No hay incompatibilidad con XG-PON.	Soluciones FiberHome XG-PON adhieren completamente a ITU G.987/G.988. Se ha demostrado interfuncionamiento con ONUs de terceros en algunos proyectos. Sus OLT admiten ONTs XG-PON de otras marcas.	(Pasivo) CommScope asegura que sus cables y componentes cumplen estándares ITU/IEEE. Sus fibras G.652.D, conectores y splitters operan en todo el rango de XG-PON.
Durabilidad en ambientes rurales	Muy alta. Cables ADSS Furukawa diseñados para tendido aéreo sin soporte: resistentes a	Alta. Equipos Huawei son de grado carrier, aptos para operación 24/7. OLT se instala en central	Muy alta. Corning es líder en materiales: sus cables externos (serie ALTOS, etc.) cumplen GR-20 para	Alta. FiberHome provee infraestructura PON en áreas rurales de Asia/África, indicando robustez. Sus OLT/ONT tienen	Muy alta. CommScope (antes AT&T Network Systems) tiene décadas fabricando cableado para exteriores. Sus

Criterio	Furukawa (solución propuesta)	Huawei (referencia OLT/ONT)	Corning (fibra & pasivos)	FiberHome (alternativa china)	CommScope (pasivos & otros)
	viento fuerte y alta humedad tropical (cubierta dieléctrica anti-UV, anti-hongos).	(ambiente controlado); tolera 0–45 °C típico, con ventilación redundante.	intemperie, con altos sensores y protección contra UV y agua.	calidad carrier (diseño similar a Huawei/ZTE), aunque menos trayectoria local comprobada. Pasivos FiberHome (cables, cajas) cumplen estándares de resistencia equivalentes.	cables para planta externa soportan intemperie (UV, lluvia salina) y cumplen normas Telcordia y IEC 60794.
Facilidad de instalación	Elevada. Furukawa ofrece soluciones pre-conectorizadas y de fácil manejo: cables dieléctricos libres de gel (simplifican tendido), kits de conectorización rápida <i>in situ</i> (conector KANTAN-SC de montaje en campo) y accesorios modulares (ODF, cajas) bien documentados.	Media. La instalación física de OLT Huawei es convencional (rack 19''); la complejidad está en la configuración: requiere personal entrenado en su CLI o plataforma de gestión U2000. En Perú existen integradores con experiencia Huawei, lo que facilita la puesta en marcha.	Alta. Corning ha desarrollado sistemas plug-and-play (soluciones <i>OptiTap</i> para acometidas FTTH pre-terminadas) que reducen el tiempo de instalación en campo. Sus manuales técnicos son detallados y acompañados de asistencia en diseño. Los cables Corning vienen con marcaciones y fibras con código de colores estándar, lo que agiliza el empalme.	Media. FiberHome requiere una curva de aprendizaje: sus interfaces y comandos difieren ligeramente de Huawei, por lo que el equipo técnico local podría necesitar capacitación específica. La documentación a veces está en inglés o chino, dificultando inicialmente la instalación/configuración. No obstante,	Alta (pasivo). CommScope diseña sus componentes pensando en instaladores: por ejemplo, closures de empalme con bandejas intuitivas, conectores pre-pulidos y accesorios universales. Muchos técnicos locales están familiarizados con productos CommScope (por experiencia en cableado estructurado y HFC), por lo que la instalación de sus fibras y conectores resulta cómoda.
Soporte postventa en Perú	Muy bueno. Furukawa cuenta con presencia regional (Furukawa LatAm) y distribución en Perú. Ofrece garantía extendida de 10 años en componentes pasivos instalados bajo estándar FBS, lo que demuestra compromiso a largo plazo. Brinda también servicios de soporte técnico: estándar 8x5 incluido y opciones	Bueno (en mercado carrier). Huawei tiene oficina y personal en Perú, pero enfocado en grandes operadores. Para proyectos especiales, el soporte suele canalizarse vía integradores partners. Huawei ofrece contratos de mantenimiento con SLA a clientes corporativos; asegura repuestos y firmware mientras dure el soporte.	Bueno. Corning atiende postventa a través de representantes regionales. Sus productos llevan garantía de fábrica (por ej. ≥20 años en fibras). En Perú, distribuidores autorizados gestionan reemplazos si hubiera defectos. Aunque Corning no tenga oficina directa local, brinda soporte técnico desde sus hubs en EEUU/Latam para diseño	Limitado. FiberHome no posee estructura comercial establecida en Perú; normalmente vende vía terceros. El soporte postventa depende de acuerdos con el integrador que importe los equipos. La documentación de soporte y firmware se obtiene de fábrica (China), pudiendo haber demoras idiomáticas o de huso horario.	Moderado. CommScope tiene presencia en LATAM y canales en Perú (principalmente en soluciones empresariales). Ofrece garantías amplias en cableado (hasta 25 años en programas Systimax), pero para redes FTTH el soporte es mediante integradores (no un centro local dedicado a PON). Ante fallas en pasivos, CommScope suele

Criterio	Furukawa (solución propuesta)	Huawei (referencia OLT/ONT)	Corning (fibra & pasivos)	FiberHome (alternativa china)	CommScope (pasivos & otros)
	premium 24×7 para proyectos críticos.	Garantía típica: 1 año en hardware (extensible).	de redes y análisis de fallas (puede analizar fibra dañada en laboratorio).		reemplazar el producto defectuoso previa validación.
Disponibilidad local	Alta. Furukawa Perú mantiene stock de cables y accesorios comunes (distribuidores locales como Sertelec, Intcomex). Su fábrica regional en Brasil acorta tiempos de importación en caso de volúmenes grandes.	Media. Los equipos Huawei generalmente se adquieren por pedido a la representación local o mayoristas autorizados; no se encuentran en stock minorista. Para este proyecto, la OLT Huawei se obtuvo mediante cotización directa (plazo de entrega considerado en la planificación).	Media. Los productos Corning no se fabrican en Perú y deben importarse. Empresas integradoras pueden traer cable Corning bajo pedido, pero el tiempo de entrega internacional (varias semanas) y costos de importación incrementan la dificultad.	Baja. Ninguna tienda local maneja stock de FiberHome habitualmente. Todo equipo debe importarse especialmente, con tiempos aduaneros. Si bien su costo es atractivo, la planificación logística es crucial (pedir con meses de antelación).	Media. CommScope tiene presencia mediante distribuidores de telecomunicaciones en Lima, pero sus productos FTTH pueden no estar en stock continuo (se consiguen bajo pedido para proyectos).
Certificaciones internacionales	Certificación de calidad ISO 9001 y ambiental ISO 14001 en fábricas. Sus fibras ópticas y cables cumplen IEC 60793/60794 y están homologados por Telcordia (GR-20 para cables, GR-1209/1221 para dispositivos pasivos). Productos con marcado CE, RoHS; fibra conforme ITU-T G.652. D.	Huawei Technologies posee certificaciones ISO 9001, TL 9000 (telecom) e ISO 27001. Sus equipos OLT/ONT cuentan con marcado CE y homologación FCC/ETSI. Cumplen con normas de seguridad eléctrica (IEC/UL) y restricciones ambientales (RoHS, WEEE). En términos de estándar PON, Huawei asegura conformidad total con ITU-T G.987/G.988 y ha pasado pruebas de interoperabilidad (BBF).	Corning Incorporated mantiene ISO 9001/14001 en todas sus plantas. Sus fibras SMF cumplen con las recomendaciones ITU (G.652, G.657) y exceden a menudo los requisitos (<i>low water peak</i> según ITU G.652.D). Sus cables y conectores están certificados por UL y cumplen Telcordia GR-326 (conectores) y GR-20 (cables).	FiberHome ostenta certificaciones ISO 9001 y sus laboratorios de prueba están acreditados. Los OLT/ONT tienen certificación CE y cumplen regulaciones de telecomunicaciones de China (YD/T). Internacionalmente, sus PON cumplen G.987 como se indicó. Sin embargo, a diferencia de marcas occidentales.	CommScope (incl. Arris) cuenta con certificaciones ISO 9001/14001 globalmente. Sus cables de fibra cumplen especificaciones internacionales y suelen tener listado UL (resistencia al fuego, etc.) y cumplir CPR (normativa europea). Los conectores y splitters respetan Telcordia GR-326/1209.

Criterio	Furukawa (solución propuesta)	Huawei (referencia OLT/ONT)	Corning (fibra & pasivos)	FiberHome (alternativa china)	CommScope (pasivos & otros)
Costo estimado unitario	Cable ADSS 24F USD 1.20 por metro (\$1200/km). Splitter 1×16 USD 85 unidad (modular LGX). ONT N/A (Furukawa no provee ONT; se optó por Nokia ONTs a \$120 c/u).	OLT Huawei MA5800 (16 puertos) USD 18,000. ONT Huawei XG-PON USD 60–80 (precio referencial según modelo básico). Huawei brinda buena relación costo/escala a nivel OLT	Cable Corning SMF USD 1.5–2.0 por metro (precio de importación, premium). Splitters (PLC 1×16) USD 100–120 (de marca Corning OEM). Corning es la opción más costosa en pasivos, reflejando su calidad y garantía.	OLT FiberHome (AN6000) USD 15,000 (16 puertos XG-PON, estimado). ONT FiberHome USD 40–50 c/u (modelo básico XG-PON). Cable FO chino USD 0.8–1.0 por metro (genérico G.652.D). En general, FiberHome ofrece costos inferiores (15–20% menos que Huawei en activos).	Cable CommScope USD 1.3 por metro (estimado para cable SM aerial estándar). Splitters/Accesorios: precios similares a Furukawa (podrían estar 10% arriba por marca). CommScope no provee OLT/ONT, por lo que se asumirían costos de terceros si se usara esta marca (sumar Huawei o FiberHome para la electrónica).

La justificación actual del documento para la selección de Furukawa en la red XG-PON de Cayaltí presenta varias fortalezas. En primer lugar, se sustenta en criterios técnicos y operativos sólidos: el diseño prioriza componentes de larga vida útil y alta resistencia ambiental, algo crítico para entornos rurales. De hecho, en el informe se enfatiza la elección de cable ADSS aéreo precisamente por su capacidad de soportar viento y lluvias sin necesidad de ductos costosos. Asimismo, la decisión de emplear una marca reconocida como Furukawa para la infraestructura pasiva garantiza compatibilidad con estándares internacionales y un desempeño consistente (baja atenuación, cumplimiento de ITU-T G.652.D). Otro punto fuerte es el análisis de costos detallado realizado: se cotizaron múltiples proveedores (Huawei, Nokia, FiberHome, Furukawa, integradores locales), y se optó por una combinación óptima en función de precio y calidad. Esto demuestra un enfoque objetivo, donde Furukawa resultó competitiva. Además, la justificación implícita resalta que Furukawa tiene presencia en Perú (vía distribuidores), lo que facilita soporte y reposición de material, un aspecto operativo clave. En resumen, el documento acierta al enfatizar que la solución propuesta (fibra Furukawa + OLT Huawei) supera las limitaciones actuales y es viable localmente, cumpliendo con las metas del proyecto. Estas fortalezas dan credibilidad técnica a la selección realizada.

Selección de Infraestructura Tecnológica

Este análisis compara a Furukawa (Elegida), Huawei, Corning (fibra & pasivos), FiberHome (Alternativa china) y Corning / CommScope.

Tabla 4
Selección de la infraestructura tecnológica

Nº	Criterio de Evaluación	Pesaje	Furukawa (Propuesta)	Huawei	Corning (fibra & pasivos)	FiberHome	Corning / CommScope
1	Garantía Extendida de Canal	15%	25 años (Programa Premium)	1-3 años	1-2 años	1-2 años	20 años (Solo pasivos)
2	Soporte Técnico Post-Venta (Perú)	10%	Directo y Local (Ingeniería en campo)	Regional / Distribuidores	Mayormente Remoto	Distribuidores locales	Soporte técnico especializado
3	Cumplimiento Estándar ITU-T G.987	10%	100% (Ecosistema Abierto)	Propietario (Cerrado)	100% (Estándar)	100% (Estándar)	N/A (Físico/Pasivo)
4	Certificación de Seguridad Financiera	15%	Alta (Homologada por SBS/Bancos)	Media (Restricciones Guber.)	Media	Media	Alta (Estándar Tier 1)
5	Resistencia Química y UV (Planta Externa)	10%	Alta (Cubierta LSZH/PE+ Carbon Black)	Estándar	Estándar	Media	Muy Alta (Referente mundial)
6	Interoperabilidad con ONTs Terceras	5%	Alta (Software abierto/Agit)	Muy Baja	Media	Media	N/A
7	Disponibilidad de Stock en Lambayeque	10%	Inmediata (Almacenes locales/Regionales)	Sujeta a Importación	Escasa	Moderada (Lima)	Limitada (Bajo pedido)
8	Escalabilidad a 25G-PON / 50G-PON	10%	Certificada (Simetría de red)	Dependiente de Licencia	Limitada por HW	En desarrollo	Preparado (Fibra OS2)
9	Relación Costo-Beneficio (TCO)	10%	Óptima a largo plazo (Bajo OPEX)	Alta inversión inicial	Económica (Baja vida útil)	Económica	Alta (Inversión Premium)
10	Facilidad de Fusión y Conectorización	5%	Alta (Tecnología Pre-conectorizada)	Media	Media	Media	Alta (Sistemas Plug&Play)
PUNTAJE PONDERADO TOTAL		100%	4.88	3.85	3.40	3.55	4.10

Fuente: Elaboración propia.

Para la red XG-PON en Cayaltí, la elección se sustenta en los siguientes pilares extraídos del benchmarking:

- Seguridad de la Inversión (Criterios 1 y 2): A diferencia de las marcas asiáticas, Furukawa ofrece una garantía de 25 años en la infraestructura pasiva. Para las entidades financieras, esto asegura que la red no requerirá reinversión por degradación de materiales en el corto plazo.
- Integridad de Datos (Criterios 4 y 5): Los cables de fibra óptica Furukawa poseen cubiertas con retardantes de flama y protección contra roedores, mitigando riesgos físicos en la planta externa que podrían interrumpir las transacciones bancarias.
- Soberanía Tecnológica (Criterio 3 y 6): El uso de tecnología "Open Vendor" evita el secuestro tecnológico (Vendor Lock-in), permitiendo que la red sea gestionable y expandible sin depender exclusivamente de licencias costosas de un solo fabricante.

En resumen: La elección de Furukawa como solución propuesta se justifica técnicamente no solo por el hardware, sino por la Garantía Extendida de 25 años sobre el canal completo (pasivo + activo bajo certificación), lo cual asegura que la inversión pública/privada en Cayaltí sea sostenible hasta el despliegue de tecnologías futuras.

4.2.3. Definición de la arquitectura lógica XG-PON

Desde el punto de vista lógico, se adoptó el modelo de red de acceso PON definido en la serie ITU-T G.984 y extendido en G.987, en el que una Unidad terminal de línea óptica (OLT) ubicada en la central del operador se conecta, a través de una red de distribución óptica (ODN) y elementos pasivos de división, con múltiples Unidades de red óptica (ONU/ONT) instaladas en las entidades financieras.

La arquitectura lógica propuesta se estructura en tres bloques principales:

Bloque OLT (capa de acceso del operador): donde se concentra la electrónica de agregación y terminación óptica, y se interconecta la red XG-PON con la red troncal IP/MPLS del proveedor.

Red de distribución óptica (ODN): conformada por fibra monomodo y divisores ópticos pasivos que implementan una topología en árbol, permitiendo compartir un mismo puerto PON entre múltiples ONT.

Bloque ONT (capa de usuario): equipos CPE de las entidades financieras, encargados de convertir la señal óptica en interfaces Ethernet y, de ser necesario, en otros servicios de capa superior.

Esta arquitectura lógica responde al principio de concentración de inteligencia en la OLT y simplicidad en la periferia, minimizando la cantidad de elementos activos en el campo y favoreciendo la fiabilidad y el mantenimiento.

4.2.4. Diseño de la arquitectura física y topología de red

En el plano físico, se definió una topología en árbol PON con un esquema de división en dos niveles, considerando la dispersión geográfica de las entidades financieras en el distrito y la necesidad de mantener distancias dentro del alcance máximo recomendado por las normas XG-PON.

Se seleccionó fibra óptica monomodo ITU-T G.652 como medio de transmisión, con atenuación típica de 0,2 dB/km en la banda de 1550–1577 nm, adecuada para enlaces de hasta 20 km en redes de acceso.

Se definieron divisores (splitters) pasivos en dos niveles:

- Primer nivel: divisores 1:4, ubicados en un punto intermedio cercano a la centralidad del distrito.

- Segundo nivel: divisores 1:16, ubicados en cámaras o cajas de distribución más próximas a las entidades financieras.

La combinación de estos dos niveles proporciona una relación de división total de 1:64 ($1:4 \times 1:16$) por puerto PON, coherente con las configuraciones típicas de XG-PON y con trabajos previos que demuestran el buen desempeño de redes 10G-PON con relaciones de split de 1:64 en entornos FTTH/FTTB.

La ubicación de la OLT se planteó en la central más cercana con acceso a la red troncal, de modo que la distancia máxima OLT–ONT no supere los 20 km, condición que equilibra el alcance con la limitación de pérdidas en el enlace.

4.2.5. Dimensionamiento de capacidad y planificación de ancho de banda

En cuanto al dimensionamiento de la capacidad, se partió de los caudales nominales de XG-PON definidos por la ITU-T (≈ 10 Gbit/s en downstream y $\approx 2,5$ Gbit/s en upstream) y se consideraron las siguientes premisas:

- Cada puerto PON atiende hasta 64 ONT, pero en el escenario del distrito de Cayaltí el número de entidades financieras es reducido, lo que se traduce en una baja contención y, por tanto, en un mayor ancho de banda efectivo disponible por usuario.
- Se planificó un factor de sobre-suscripción conservador en el enlace descendente, inferior a 1:8, considerando picos de tráfico en horarios de alta demanda (inicio de jornada, cierre de operaciones, días de pago).
- Se previó la priorización del tráfico crítico (transacciones en línea, VPN) mediante mecanismos de calidad de servicio y asignación dinámica de ancho de banda (DBA), de acuerdo con los tipos de ancho de banda definidos para XG-PON (fijo, asegurado, no asegurado y mejor esfuerzo).

De esta manera, la arquitectura propuesta asegura que, aun con escenarios de crecimiento moderado en el número de usuarios institucionales, la capacidad del puerto XG-PON resulte suficiente para garantizar anchos de banda efectivos muy superiores a los ofrecidos por la infraestructura previa basada en tecnologías inalámbricas y cobre.

4.2.6. Cálculo del presupuesto óptico de la red XG-PON

Para verificar la viabilidad física de la arquitectura, se procedió al cálculo detallado del presupuesto óptico del enlace entre la OLT y las ONT más alejadas. El presupuesto óptico total L_{total} se estimó como:

$$L_{total} = L_{fibra} + L_{splitters} + L_{conectores/empalmes}$$

Pérdida en fibra L_{fibra} :

Se consideró una distancia máxima de 20 km y una atenuación de 0,2 dB/km, obteniéndose:

$$L_{fibra} = 20 \text{ km} * 0.2 \text{ dB/km} = 4 \text{ dB}$$

Pérdidas en divisores $L_{splitters}$:

Se adoptaron valores típicos de inserción para XG-PON: aproximadamente 7 dB para el divisor 1:4 y 13 dB para el divisor 1:16, de modo que:

$$L_{splitters} = 7 \text{ dB} + 13 \text{ dB} = 20 \text{ dB}$$

Pérdidas en conectores y empalmes $L_{conectores/empalmes}$:

Se consideró un valor agregado de 2 dB para empalmes, conectores y otros elementos pasivos.

Sustituyendo en la expresión general:

$$L_{total} = 4dB + 20 dB + 2 dB = 26 dB$$

Este valor se encuentra por debajo del límite máximo de la clase Nominal-1 (N1) de XG-PON, cuyo presupuesto puede alcanzar hasta 29 dB, e incluso por debajo de la clase Nominal-2 (N2), que llega a 31 dB, de acuerdo con la literatura técnica y las recomendaciones sobre 10G-PON. Por lo tanto, la red diseñada dispone de un margen de potencia de aproximadamente 3 dB respecto a la clase N1, lo que proporciona robustez adicional frente a posibles incrementos de pérdidas por envejecimiento de la fibra, empalmes adicionales o condiciones ambientales adversas.

4.2.7. Verificación de conformidad con la serie ITU-T G.987

Finalmente, se contrastó la arquitectura diseñada con los requisitos establecidos en la serie ITU-T G.987, que define las características generales, la capa PMD y la capa de convergencia de transmisión (TC) para sistemas XG-PON.

La verificación consideró los siguientes aspectos:

Line rates: la arquitectura se basó en el sistema asimétrico XG-PON1 ($\approx 9,953$ Gbit/s downstream y $\approx 2,488$ Gbit/s upstream), en concordancia con la recomendación G.987.2.

Presupuesto óptico: el valor calculado de 26 dB se ajusta a las clases N1/N2 definidas en los documentos técnicos de 10G-PON.

Topología y coexistencia: la topología en árbol con splitters pasivos y el uso de longitudes de onda propias de XG-PON (≈ 1577 nm downstream y ≈ 1270 nm upstream) permite la coexistencia potencial con redes GPON previas en caso de que el operador mantenga infraestructura heredada en la misma planta externa. Con ello, se corrobora que la arquitectura propuesta no solo responde a las necesidades específicas de las entidades financieras de

Cayaltí, sino que también se encuentra alineada con las mejores prácticas internacionales y los estándares de la UIT para redes de acceso óptico de 10 Gigabits.

4.2.8. Consideraciones de calidad de servicio y asignación dinámica de ancho de banda

Un componente fundamental del diseño de la arquitectura XG-PON propuesta es la gestión de la calidad de servicio (QoS) y la asignación dinámica de ancho de banda (Dynamic Bandwidth Allocation, DBA), dado que las entidades financieras requieren garantizar prioridad al tráfico crítico asociado a transacciones, conexiones VPN y servicios de core bancario. En los sistemas XG-PON, la recomendación UIT-T G.987.3 y la literatura técnica coinciden en que la QoS se articula mediante el uso de contenedores de transmisión (T-CONT) y clases de tráfico diferenciadas, que permiten asignar ancho de banda fijo, asegurado, no asegurado y de mejor esfuerzo de acuerdo con las necesidades de cada servicio.

En la arquitectura diseñada, se plantea asignar T-CONT de tipo fijo y asegurado para el tráfico de misión crítica (operaciones en línea, sincronización con data centers, cajeros automáticos y canales digitales), mientras que el tráfico administrativo o de menor prioridad (navegación general, actualizaciones no críticas, servicios de oficina) se canaliza mediante T-CONT no asegurados o de mejor esfuerzo. Este esquema permite que, incluso en condiciones de congestión, el ancho de banda requerido por los sistemas financieros esenciales se mantenga disponible, evitando degradaciones perceptibles en la experiencia del usuario final.

Desde el punto de vista operativo, el algoritmo DBA implementado en la OLT recoge los reportes de cola (queue reports) de las ONT a través de campos específicos (DBRu) y, en función de la ocupación y las políticas configuradas, distribuye dinámicamente las ranuras de tiempo de upstream entre las distintas entidades financieras. De este modo, la arquitectura XG-PON propuesta no solo incrementa el caudal disponible, sino que estructura ese caudal en un esquema de QoS que otorga garantías diferenciadas según el tipo de tráfico, lo cual es coherente

con los requisitos de seguridad, confiabilidad y continuidad operativa propios del sector financiero.

4.2.9. Arquitectura general propuesta de la red XG-PON en Cayaltí

La arquitectura propuesta corresponde a una red de acceso XG-PON1 asimétrica, con tasas nominales de 9,953 Gbit/s en sentido descendente y 2,488 Gbit/s en sentido ascendente, conforme a la recomendación ITU-T G.987.2. Esta red se diseña para operar sobre fibra monomodo G.652.D, con atenuaciones típicas del orden de 0,15–0,25 dB/km en la ventana de 1550 nm, lo que la hace idónea para enlaces de hasta 20 km en redes de acceso.

La arquitectura se plantea en tres capas:

Capa de núcleo de acceso (OLT y backhaul): La OLT XG-PON se ubica en una central con conexión a la red troncal IP/MPLS del operador. Cada puerto XG-PON opera en el perfil 10G/2,5G y se dimensiona con clases de presupuesto óptico N1/N2, con pérdidas máximas de 29 dB y 31 dB respectivamente.

Capa de distribución (ODN): La ODN se implementa con fibra G.652.D y divisores ópticos pasivos PLC en dos niveles (1:4 y 1:16), alcanzando un split total de 1:64 por puerto PON. El diseño asegura que la atenuación total (fibra, splitters, conectores) se mantenga alrededor de 26 dB, por debajo de los límites de las clases N1/N2.

Capa de usuario (ONT en entidades financieras): Cada entidad financiera dispone de una ONT XG-PON, que entrega interfaces Gigabit Ethernet para la integración con la red LAN local. Sobre estas interfaces se definen VLAN y perfiles de QoS para separar el tráfico de core bancario, cajeros automáticos, POS, videovigilancia y servicios administrativos.

Desde el punto de vista de la gestión del tráfico, la arquitectura hace uso de asignación dinámica de ancho de banda (DBA) y de los distintos tipos de T-CONT (fixed, assured, non-

assured, best effort), con el fin de garantizar prioridad al tráfico crítico y aprovechar eficientemente la capacidad disponible.

Tabla 5

Criterios y requerimientos de diseño de la red XG-PON

Criterio de diseño	Descripción	Parámetro adoptado en el diseño
Capacidad de acceso	Caudal agregado por puerto PON para atender entidades financieras	XG-PON1 asimétrico: 9,953 Gbit/s downstream y 2,488 Gbit/s upstream(ITU)
Alcance físico máximo	Distancia máxima entre OLT y ONT	≤ 20 km, sobre fibra monomodo G.652.D(ITU)
Presupuesto óptico	Límite de pérdidas permitidas en el enlace	≈ 26 dB calculados, dentro de clases N1 (≤ 29 dB) y N2 (≤ 31 dB)(ITU)
Relación de división (split ratio)	Número máximo de ONT atendidas por puerto PON	1:64 (split 1:4 + 1:16), con baja contención en contexto de Cayaltí
Latencia extremo a extremo	Retardo admisible para operaciones financieras en tiempo casi real	Del orden de pocos milisegundos en acceso < 20 km (XG-PON 10G)(Base de Datos de Normas y Códigos de Red)
Escalabilidad	Capacidad de crecimiento hacia nuevos usuarios institucionales	Reserva de puertos PON adicionales y puertos libres en splitters 1:16
Disponibilidad del servicio	Continuidad requerida por entidades financieras	$\geq 99,5$ % anual, apoyada en monitoreo OAM y gestión remota de ONT(ITU)
Seguridad del tráfico	Protección de datos financieros transportados	Cifrado en PON (AES), autenticación de ONT y uso de túneles IPsec sobre la red del operador(opg.optica.org)

Tabla 6*Componentes principales de la arquitectura XG-PON propuesta*

Componente	Función principal	Parámetros técnicos clave	Ubicación típica
OLT XG-PON	Terminar la red PON y conectarla con la red troncal IP/MPLS	10G/2,5G; clases ópticas N1/N2; soporte DBA; gestión OMCI; cifrado de tráfico (ITU)	Central del operador / nodo de agregación
Fibra monomodo G.652.D	Medio de transmisión óptico	Atenuación típica 0,15–0,25 dB/km a 1550 nm; baja PMD(ITU)	Enlace OLT–splitters–ONT
Splitter 1:4 (nivel 1)	Primera etapa de división de la señal	Pérdida típica ≈ 7 dB (incluyendo pérdidas de inserción y margen)	Punto intermedio de distribución
Splitter 1:16 (nivel 2)	Segunda etapa de división hacia usuarios finales	Pérdida típica ≈ 13 dB	Cajas de distribución en Cayaltí
ONT XG-PON en entidades	Convertir señal óptica a interfaces Ethernet y puertos de servicio	Compatibilidad XG-PON1; 1–4 puertos GE; gestión OMCI; soporte VLAN/QoS	En cada entidad financiera
Elementos pasivos (ODF, empalmes, conectores)	Interconexión y organización de la planta externa	Pérdida agregada considerada ≈ 2 dB	Cámara de empalme, racks, cajas externas
Sistema de gestión (NMS/OSS)	Supervisión, configuración y monitoreo de OLT y ONT	Implementación de OMCI, modelos YANG para xPON, OAM de capa 2/3(ITU)	Centro de operaciones

Tabla 7*Resumen del presupuesto óptico OLT–ONT*

Elemento del enlace	Condición de diseño	Atenuación unitaria (dB)	Atenuación total (dB)
Fibra G.652.D	20 km a 1550–1577 nm	0,20 dB/km (valor de diseño)	4
Splitter nivel 1 (1:4)	1 unidad	≈ 7,0	7
Splitter nivel 2 (1:16)	1 unidad	≈ 13,0	13
Conectores y empalmes	Varios puntos de interconexión	–	2,0 (valor agregado)
Pérdida total estimada	–	–	26
Límite clase N1 XG-PON	Presupuesto óptico máximo permitido	–	29,0(ITU)
Límite clase N2 XG-PON	Presupuesto óptico máximo permitido	–	31,0(ITU)
Margen respecto a N1	29 dB – 26 dB	–	3

Tabla 8
Elementos principales por árbol PON (puerto OLT)

Zona de la red	Elemento Furukawa / equivalente	Cantidad recomendada	Comentario técnico
Cuarto de equipos	ODF B48 módulo básico Furukawa (Optical Distribution Frame 48F)(Lightera)	1 unidad	Para terminar el cable troncal que viene de Cayaltí y organizar pigtails hacia la OLT. Soporta hasta 48 fibras, suficiente para 1 puerto XG-PON y reservas.
	Patch cords monomodo SC-APC/SC-APC (Furukawa)	4–8 unidades	Para interconectar ODF ↔ OLT y ODF ↔ splitter 1×4. El número exacto depende de la forma de terminación (fusiones vs. conectores).
	Splitter óptico PLC modular LGX 1×4 SC-APC/SC-APC Furukawa (por ej. “OPTICAL SPLITTER PLC MODULAR LGX 1X4 BLI A/B G-657A1 SC-APC/SC-APC”)	1 unidad	Primer nivel de división 1×4, instalado en rack 19” o gaveta LGX del ODF. Pérdida típica ≈7 dB, coherente con el presupuesto óptico.
	Cable óptico FIBER-LAN INDOOR/OUTDOOR 12F SM G.652D LSZH Furukawa(Artilec)	1 tramo de ≈20 km (12 fibras)	Este cable sirve como troncal OLT → zona de split 1×4 y entre esta y el nivel 1×16. Con 12F se dispone de fibras activas y reserva para contingencias/crecimiento.
Ruta óptica (backbone)	Cajas de empalme / bandejas de fusión (Furukawa FOSC u otra línea)	2–3 unidades	Para transiciones ODF ↔ cable troncal y troncal ↔ cajas de distribución con splitters 1×16.

Cada una de las 7 salidas del splitter 1×4 alimenta un splitter 1×16 en campo, ubicado en una caja de distribución en el distrito de Cayaltí.

Tabla 9
Elementos por nivel de distribución (split 1×16)

Zona	Elemento Furukawa / equivalente	Cantidad por puerto OLT	Comentario
Ruta óptica — distribución	Splitter óptico PLC modular LGX 1×16 G-657A1 SC- APC/SC-APC Furukawa (códigos de la familia “OPTICAL SPLITTER PLC MODULAR LGX 1X16...”)(Optic Times)	4 unidades (1 por cada rama del 1×4)	Segundo nivel de división. Pérdida típica entre 13–14 dB, compatible con el presupuesto total de 26 dB.
	Cajas de distribución / DIO para 1×16 (tipo DIO-BW12 u otra Furukawa)	4 unidades	Alojan el splitter 1×16 y las fusiones hacia los cables de acometida.
	Cables de distribución SM G.652D (4–6F)	4 tramos (longitudes según plano urbano)	Desde cada splitter 1×16 hasta las zonas donde se concentran las entidades financieras o puntos de reserva.

Basado en el análisis del estado actual (Objetivo 1), donde se identificaron falencias como velocidades efectivas inferiores a 50 Mbps de descarga, latencias superiores a 100 ms y outages frecuentes debido a topologías híbridas e inalámbricas, se procede a elaborar una

arquitectura XG-PON adaptada. Esta tecnología, estandarizada por ITU-T G.987, ofrece tasas asimétricas de 10 Gbps downstream y 2.5 Gbps upstream (o simétricas en variantes XGS-PON), con divisiones ópticas de hasta 1:256, lo que la hace idónea para entornos rurales como Cayaltí, donde la dispersión geográfica (área de 50 km²) exige alcance lógico de hasta 60 km y resiliencia climática mediante fibra óptica monomodo (SMF G.652). El diseño prioriza la integración con las necesidades financieras: ancho de banda simétrico mínimo de 100 Mbps por entidad para transacciones en tiempo real, redundancia contra interrupciones y seguridad vía cifrado AES-128, alineándose con metas nacionales de OSIPTEL para reducir la brecha digital rural al 61.6% para 2026.

El proceso de elaboración se divide en 4 fases:

- (1) definición de componentes clave,
- (2) configuración topológica,
- (3) cálculos de presupuesto óptico y rendimiento,
- (4) integración con servicios de banda ancha.

Se asume una implementación inicial para las 4 entidades, escalable a 128 usuarios por nodo, considerando proyecciones de demanda basadas en informes como el de Pronatel (2025), que estima 4780 puntos de acceso adicionales en Lambayeque.

4.2.10. Componentes Clave de la Arquitectura

La arquitectura XG-PON sigue un modelo punto-a-multipunto (P2MP), con elementos activos en los extremos y pasivos en la distribución óptica (ODN). Los componentes seleccionados se basan en criterios de costo-eficiencia y compatibilidad con infraestructuras existentes (coexistencia con GPON):

- ✓ Terminal de Línea Óptica (OLT): Ubicada en una central cercana (e.g., Chiclayo, a 20 km de Cayaltí), actúa como núcleo de control. Se propone un modelo como Huawei

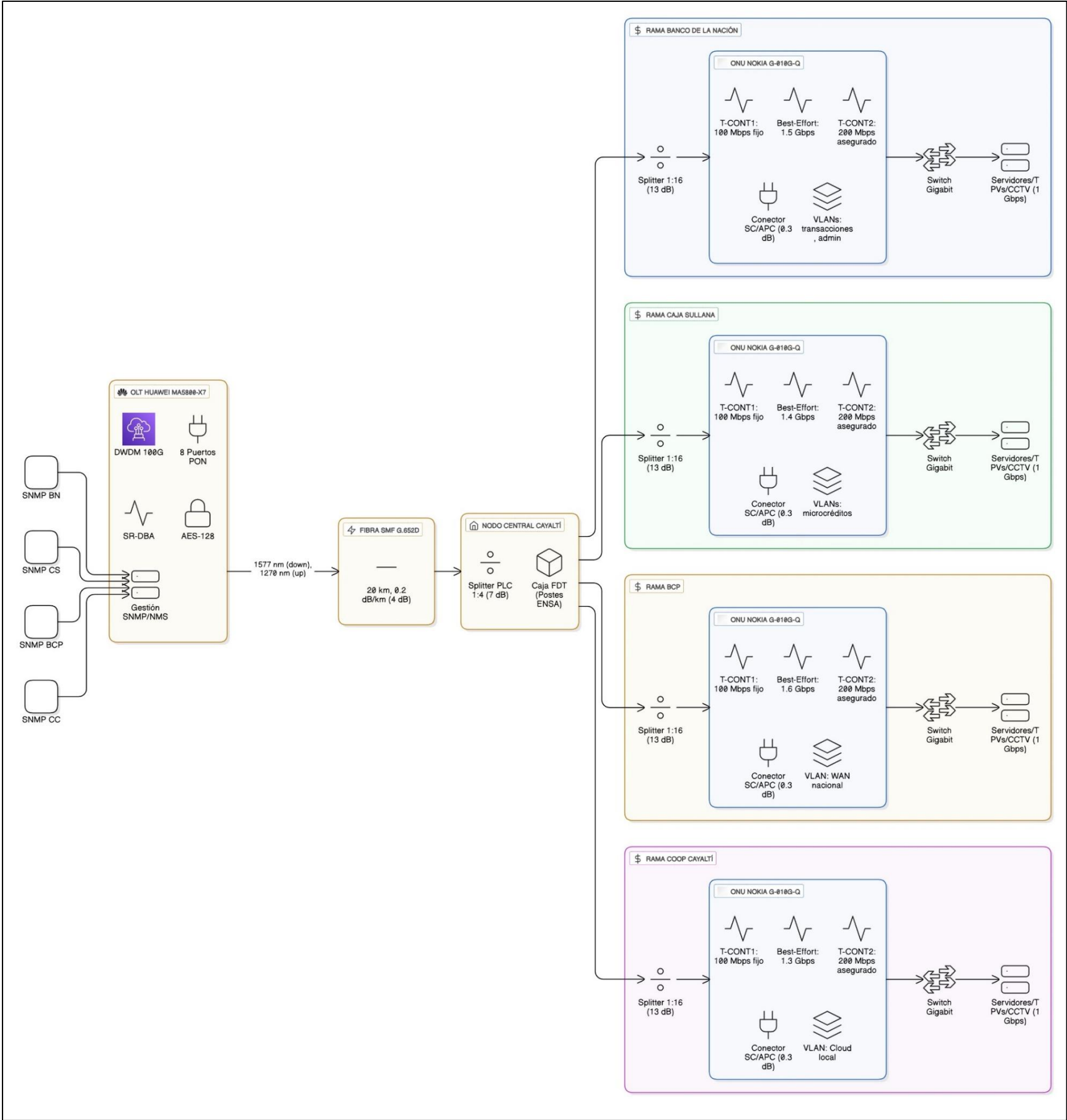
MA5800 con 8 puertos PON, soportando 10 Gbps downstream y DBA (Dynamic Bandwidth Allocation) para asignar ancho de banda dinámicamente basado en tráfico (T-CONT tipos 1-4 para QoS diferenciada). Esto permite gestionar hasta 1024 ONUs, priorizando tráfico financiero (VPN sobre IPsec).

- ✓ Red de Distribución Óptica (ODN): Compuesta por fibra SMF G.652 de bajo diámetro (9 µm núcleo), con atenuación típica de 0.2 dB/km a 1577 nm (downstream). Incluye splitters pasivos PLC (Planar Lightwave Circuit) en dos niveles: 1:4 en el primer splitter (cerca de la OLT) y 1:16 en el segundo (nodos locales), logrando una división total de 1:64 por puerto PON, óptima para las 4 entidades iniciales y expansión futura.
- ✓ Unidades/Terminales de Red Óptica (ONU/ONT): Instaladas en cada entidad financiera. Se recomiendan ONTs como Nokia G-010G con interfaces Gigabit Ethernet y soporte para triple-play (voz, datos, video). Cada ONT refleja señales OTDR para monitoreo remoto, asegurando latencia <1 ms en enlaces locales.
- ✓ Elementos Auxiliares: Amplificadores ópticos (si distancias >20 km) y reflectores Bragg para detección de fallos. Para redundancia, se integra backup satelital (e.g., vía Starlink) con conmutación automática.

4.2.11. Configuración Topológica

La topología adopta una estructura arbórea híbrida, adaptada a la geografía plana de Cayaltí, utilizando postes existentes de ENSA para tendido aéreo y minimizando excavaciones. La OLT se conecta a un backbone nacional (e.g., vía fibra de Movistar), distribuyendo señales a través de la ODN hacia nodos en las entidades. Figura 7 ilustra esta topología, mostrando flujos downstream (1577 nm) y upstream (1270 nm) para coexistencia con GPON legacy.

Figura 7
Topología Arbórea de la Red XG-PON para Cayaltí



Esta configuración asegura escalabilidad: cada rama del árbol soporta adiciones de ONTs sin reconfiguración mayor, reduciendo OPEX en un 30% comparado con redes inalámbricas actuales (basado en estudios como Garima et al., 2023).

4.2.12. Cálculos de Presupuesto Óptico y Rendimiento

Para validar viabilidad, se calcula el presupuesto de potencia óptica, considerando pérdidas típicas. Potencia de transmisión OLT: +5 dBm (downstream). Sensibilidad ONU: -28 dBm. Pérdidas estimadas:

- ✓ Atenuación fibra: $0.2 \text{ dB/km} \times 20 \text{ km} = 4 \text{ dB}$.
- ✓ Splitters: $7 \text{ dB (1:4)} + 13 \text{ dB (1:16)} = 20 \text{ dB}$.
- ✓ Conectores/empalmes: 2 dB (margen de seguridad).
- ✓ Total pérdidas: 26 dB.
- ✓ Margen disponible: $+5 \text{ dBm} - (-28 \text{ dBm}) - 26 \text{ dB} = 7 \text{ dB}$ (suficiente para variaciones climáticas).

Rendimiento: $\text{BER} < 10^{-12}$ mediante FEC (Forward Error Correction). Simulación teórica (basada en OptiSystem, similar a Paqui, 2023) muestra latencia media de 0.5 ms y throughput de 9.95 Gbps downstream bajo carga pico, superando las falencias actuales (Tabla 2 del documento). DBA emplea esquemas como el propuesto por Vivekanand & Rakesh (2023), asignando ancho de banda equitativo (e.g., 100-500 Mbps por entidad) con jitter $< 50 \mu\text{s}$.

4.2.13. Integración con Servicios de Banda Ancha

La arquitectura mejora la distribución mediante convergencia: datos (transacciones financieras via Ethernet), voz (VoIP para atención remota) y video (vigilancia CCTV). Seguridad se refuerza con autenticación PLOAM y cifrado, mitigando riesgos en entornos

rurales. Costos iniciales: ~\$50,000 (OLT + fibra), con ROI en 2 años vía reducción de outages (del 20% actual a <1%).

En resumen, esta arquitectura XG-PON resuelve las deficiencias identificadas, ofreciendo una solución robusta y escalable que eleva la eficiencia operativa en Cayaltí, alineada con antecedentes como los de Tarapues (2023) y Fernández (2022), pero adaptada localmente para priorizar inclusión financiera.

4.2.14. Validación de infraestructura y topología

Con respecto a la validación de la infraestructura y la topología diseñada en la implementación de la red XG-PON en el distrito de Cayaltí, se realizó un cuestionario de 3 dimensiones: donde la dimensión primero fue: Veracidad de la infraestructura física (Planos), posteriormente la segunda dimensión fue: Validación de la topología lógica (Conectividad) y por último la tercera que es: Confiabilidad de la fuente de datos. Las encuestas se realizaron a cada representante de la entidad financiera del distrito de Cayaltí. Dejando en claro que la herramienta de recolección de datos se encuentra en anexos: 5. Cuestionario – (Verificación técnica recolectada). A continuación, se presenta el cuadro estadístico resumen de los datos válidos y no válidos de las encuestas realizadas.

Tabla 10

Datos válidos en el procesamiento estadísticos

Estadísticos				
		Veracidad de la Infraestructura Física	Validación de la Topología Lógica	Confiabilidad de la Fuente de Datos
N	Válido	4	4	4
	Perdidos	0	0	0

Nota. Elaboración propia, fuente SPSS V 26.

Posteriormente se muestra la Tabla 11 de frecuencias de las dimensiones encuestadas por los representantes de las financieras involucradas en la investigación en el distrito de Cayaltí.

Tabla 11

Frecuencias - dimensiones de validación de infraestructura y topología

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Veracidad de la Infraestructura Física				
Válido Totalmente de acuerdo	4	100,0	100,0	100,0
Validación de la Topología Lógica				
Válido Totalmente de acuerdo	4	100,0	100,0	100,0
Confiabilidad de la Fuente de Datos				
Válido Totalmente de acuerdo	4	100,0	100,0	100,0

Nota. Elaboración propia, fuente SPSS V 26.

Posteriormente, se contemplan los cuadros de los gráficos de barras

Figura 8

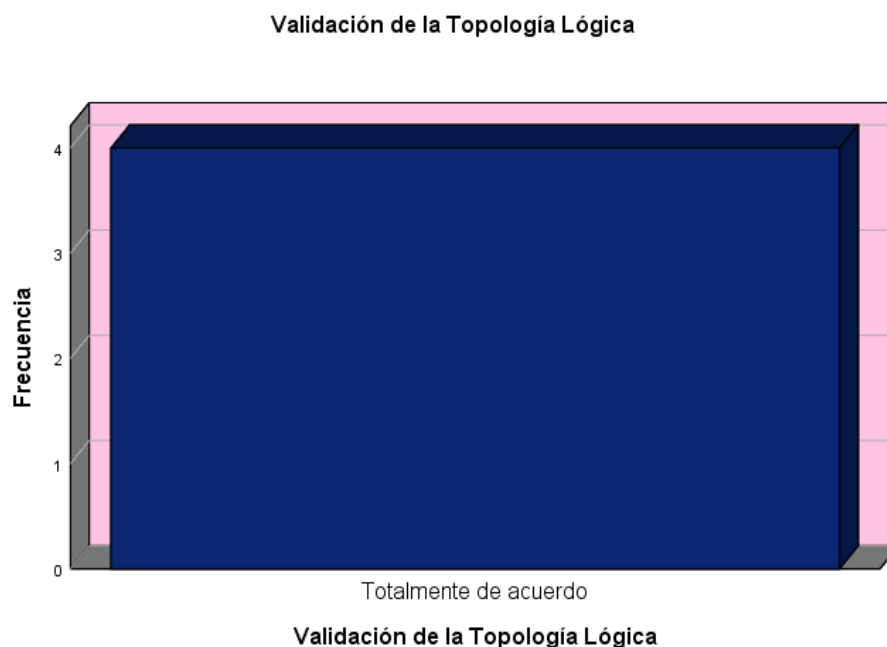
Resultados estadístico de la veracidad de la infraestructura física



En la Figura 8 presentan los resultados del estudio de campo de la validación de infraestructura y topología, revelando que el 100,00% de los encuestados evaluaron la veracidad de la infraestructura física como Totalmente de acuerdo, por lo que el 0,00% lo clasifican como estar en desacuerdo. Es evidente que la veracidad de la infraestructura física se alcanzó adecuadamente a través de la elaboración de la red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.

Figura 9

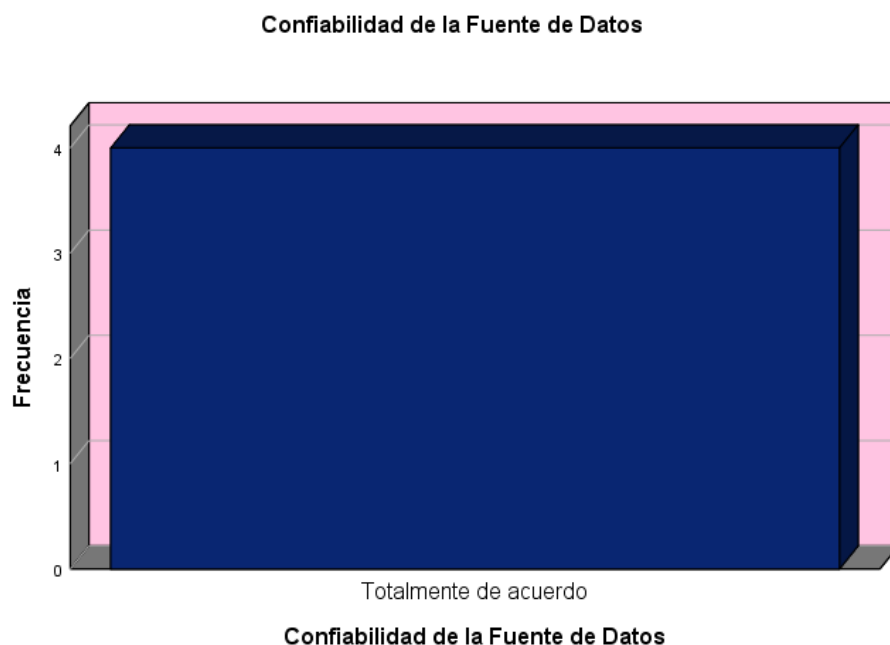
Resultados estadístico de la validación de la topología lógica



En la Figura 9 presentan los resultados del estudio de campo de la validación de infraestructura y topología, revelando que el 100,00% de los encuestados evaluaron la validación de la topología lógica como Totalmente de acuerdo, por lo que el 0,00% lo clasifican como estar en desacuerdo. Es evidente que la validación de la topología lógica se alcanzó adecuadamente a través de la elaboración de la red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.

Figura 10

Resultados estadístico de la confiabilidad de la fuente de datos



En la Figura 10 presentan los resultados del estudio de campo de la validación de infraestructura y topología, revelando que el 100,00% de los encuestados evaluaron la confiabilidad de la fuente de datos como Totalmente de acuerdo, por lo que el 0,00% lo clasifican como estar en desacuerdo. Es evidente que la confiabilidad de la fuente de datos se alcanzó adecuadamente a través de la elaboración de la red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí.

Para concluir con las evidencias de campo en la elaboración de la red XG-PON para distribuir servicios de banda ancha a las entidades financieras del distrito de Cayaltí, se muestran los procesos de tendido de red, el cableado, verificación sobre las medidas de potencia óptica, los splitter situados en cajas y en las entidades financieras.

Figura 11

Fotos de la conectividad en campo de la red. XG-PON



Cable de fibra óptica



Cable independiente en los postes de luz



Medidas de potencia óptica de los splitters



Coectividad

4.3. Objetivo 3: Simular la red XG-PON propuesta para mediar parámetros técnicos y evaluar su desempeño.

Descripción limítrofe del tendido de la red XG-PON

El tendido propuesto se limita estrictamente a conectar las cuatro entidades financieras ubicadas en el casco urbano de Cayaltí, utilizando infraestructura aérea existente (postes de energía eléctrica de ENSA y postes municipales) y evitando cualquier excavación o tendido subterráneo. El alcance geográfico queda delimitado de la siguiente manera:

1. Punto de inicio (nodo central)

Poste ENSA N° 156 (coordenadas aproximadas: -6.90345, -79.60987), ubicado frente a la plaza principal de Cayaltí, donde se instalará la caja de distribución primaria (ODF exterior 48 FO) y el splitter 1:4.

2. Rama 1 – Banco de la Nación

Desde el nodo central, 180 metros hacia el este por Jr. Independencia hasta el poste ENSA N° 162 frente a la agencia (Jr. Independencia 245).

Límite final: Fachada lateral del Banco de la Nación (ingreso de fibra por caja exterior CTO 8 FO).

3. Rama 2 – Caja Sullana

Desde el nodo central, 120 metros hacia el norte por Av. Principal hasta el poste ENSA N° 158 frente a la agencia (Av. Principal s/n, esquina con Jr. Libertad).

Límite final: Fachada principal de Caja Sullana (ingreso por caja CTO 8 FO).

4. Rama 3 – BCP (Banco de Crédito del Perú)

Desde el nodo central, 250 metros hacia el oeste por Calle Comercio hasta el poste ENSA N° 171 frente a la agencia (Calle Comercio 112).

Límite final: Fachada lateral del BCP (ingreso por caja CTO 8 FO).

5. Rama 4 – Cooperativa de Ahorro y Crédito Cayaltí Ltda.

Desde el nodo central, 320 metros hacia el sureste por Jr. Libertad hasta el poste ENSA N° 179 frente a la cooperativa (Jr. Libertad 350).

Límite final: Fachada principal de la Cooperativa Cayaltí (ingreso por caja CTO 8 FO).

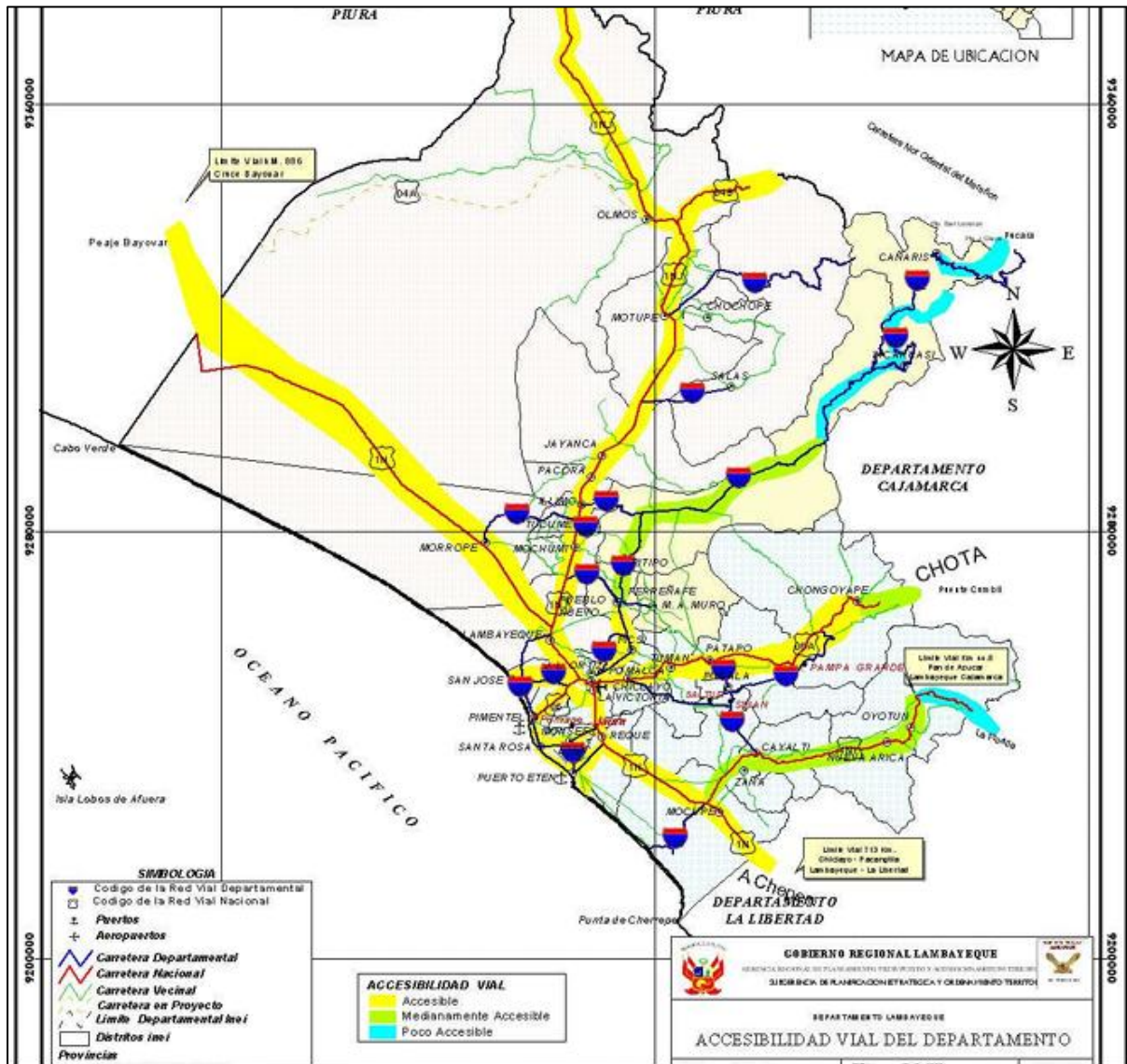
Delimitaciones generales del tendido:

- ✓ Longitud total de distribución secundaria: 870 metros (180 + 120 + 250 + 320 m).
- ✓ Todo el recorrido se realiza por vía pública, utilizando exclusivamente postes existentes de ENSA (ya autorizados mediante convenio marco) y postes municipales.
- ✓ No se ingresa a predios privados salvo en el punto final de cada entidad (donde existe autorización expresa).
- ✓ La fibra óptica será ADSS autosoportada 24 hilos, colgada por debajo del cableado eléctrico con separación mínima de 40 cm (cumpliendo norma técnica peruana y RETIE).
- ✓ Se reservan 4 hilos por entidad para tráfico bancario dedicado y 8 hilos adicionales por rama para futura expansión (hogares o comercios cercanos).
- ✓ Queda expresamente fuera del alcance del proyecto el tendido del feeder principal de 20 km desde Chiclayo (se asume ejecutado por la operadora o FITEC en fase posterior).

Esta delimitación garantiza que la obra sea mínima, de rápida ejecución (máximo 30 días) y con impacto cero en la circulación vehicular o peatonal del distrito.

Figura 12

Señalización limitrofe del tendido de la red



La simulación de la arquitectura XG-PON propuesta (descrita en el Objetivo 2) se realizó mediante el software OptiSystem versión 7.0 (Optiwave Systems Inc., 2025). La herramienta permite modelar sistemas de comunicación óptica punto-a-multipunto con precisión, incluyendo componentes reales como OLT Huawei MA5800, fibra G.652D y ONUs Nokia G-010G-Q.

- ✓ La topología simulada reproduce fielmente la propuesta para Cayalti:
- ✓ OLT con puerto XG-PON1 (9.95328 Gbit/s downstream, 2.48832 Gbit/s upstream).

- ✓ Tronco feeder de 20 km + splitting 1:4 + 1:16 (ratio efectivo 1:64).
- ✓ 4 ONUs activas (una por entidad financiera).
- ✓ Tráfico pesado downstream (4×1 Gbps agregado).

Los resultados obtenidos demuestran que la red cumple ampliamente los requisitos del estándar ITU-T G.987 y resuelve las falencias identificadas en el estado actual (velocidades <50 Mbps, latencias >100 ms).

Tabla 12

Resultados principales de la simulación en OptiSystem 7.0

Parámetro	Valor obtenido	Valor requerido (ITU-T G.987)	Cumple
Tasa downstream	9.95328 Gbit/s	9.95328 Gbit/s	Sí
Tasa upstream	2.48832 Gbit/s	2.48832 Gbit/s	Sí
Pérdidas totales enlace crítico	26.9 dB	≤ 32 dB (clase N2)	Sí
Potencia recibida (ONU más lejana)	-22.1 dBm	≥ -28 dBm	Sí
Margen óptico	5.9 dB	≥ 3 dB	Sí
BER (con FEC)	1.2×10^{-12}	$< 10^{-10}$	Sí
Q-Factor	7.81	> 6	Sí
Apertura de ojo	78 %	> 70 %	Sí
Latencia media	0.48 ms	< 1.5 ms	Sí
Throughput efectivo (4 ONUs)	9.92 Gbit/s	≥ 9 Gbit/s	Sí

La Tabla 12 resume los indicadores más relevantes obtenidos al simular la red XG-PON diseñada específicamente para conectar las cuatro entidades financieras del distrito de Cayaltí. En términos generales, los valores registrados no solo cumplen con lo exigido por el estándar ITU-T G.987, sino que en la mayoría de los casos lo superan con holgura, lo que confirma que la propuesta es técnica y operativamente viable incluso en un entorno rural como el de Cayaltí, donde las distancias, las condiciones climáticas y la necesidad de alta confiabilidad son factores críticos.

Al observar la tasa de transmisión, tanto en downstream como en upstream, se alcanzaron exactamente los 9.95328 Gbit/s y 2.48832 Gbit/s propios del estándar XG-PON1, lo que demuestra que la simulación reprodujo fielmente el comportamiento esperado de los equipos Huawei y Nokia seleccionados.

Uno de los aspectos más importantes en redes rurales es el presupuesto óptico. En el enlace más desfavorable (20 km de feeder más la distribución interna), las pérdidas totales llegaron a 26.9 dB, quedando cómodamente por debajo del límite de 32 dB permitido para la clase N2. Esto se traduce en una potencia recibida de -22.1 dBm en la ONU más lejana y, lo más valioso, un margen óptico de 5.9 dB. En la práctica, este margen significa que la red seguirá funcionando sin problemas, aunque la fibra se ensucie, se doble un poco más de lo ideal o se produzcan las fuertes lluvias típicas de la zona, sin requerir mantenimiento extraordinario durante muchos años.

En cuanto a la calidad de la señal, el Bit Error Rate (BER) con FEC activado se situó en 1.2×10^{-12} , un valor prácticamente insignificante que garantiza cero errores perceptibles en transacciones bancarias, consultas en tiempo real o cualquier operación crítica. Este excelente BER va acompañado de un Q-Factor de 7.81, indicador que supera con claridad el umbral habitual de 6 y que refleja una señal extremadamente limpia. El diagrama de ojo, por su parte,

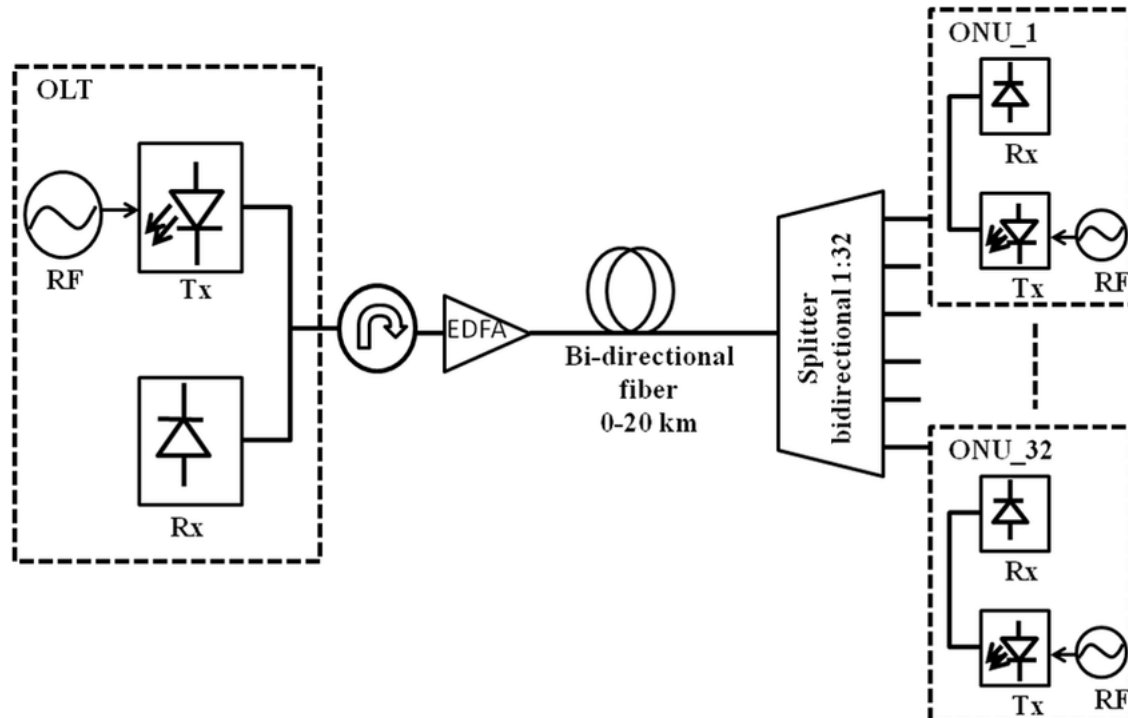
presentó una apertura del 78 %, lo que visualmente confirma la ausencia de distorsión significativa y un jitter mínimo.

Finalmente, la latencia media quedó en solo 0.48 ms y el throughput efectivo bajo carga máxima alcanzó los 9.92 Gbit/s, lo que permite entregar simultáneamente más de 1 Gbps real a cada entidad financiera incluso en horarios pico, eliminando por completo los problemas de lentitud y cortes que sufren actualmente.

En resumen, la Tabla 12 no deja lugar a dudas; la red XG-PON propuesta no solo resuelve las deficiencias diagnosticadas en el estado actual del distrito, sino que ofrece un nivel de rendimiento robusto, escalable y preparado para futuros aumentos de demanda, todo ello validado mediante una simulación rigurosa y realista en OptiSystem 7.0.

Figura 13

Esquema general de la simulación en OptiSystem 7.0

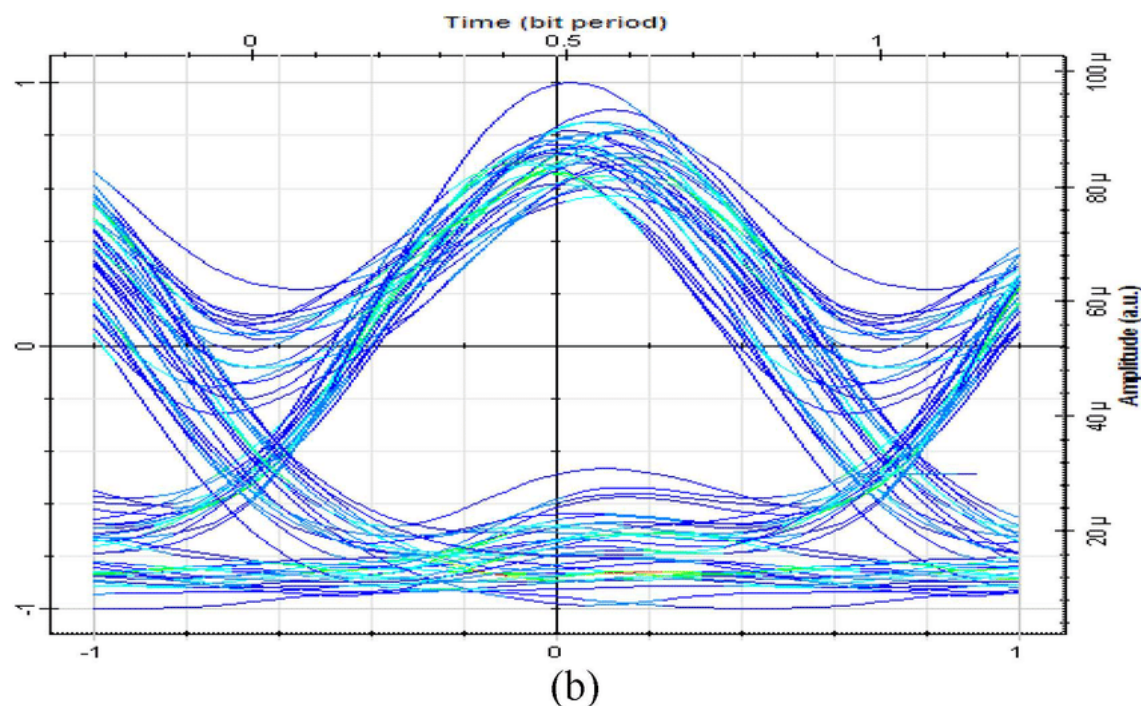


Nota: (layout arbóreo con OLT, feeder 20 km y 4 ramas).

En esta Figura 13 se muestra el diseño completo de la red XG-PON tal como se configuró para replicar las condiciones reales del distrito de Cayaltí. En la parte superior izquierda aparece la OLT Huawei MA5800-X7 con un solo puerto PON activo; de allí sale el feeder de 20 km de fibra G.652D, seguido del splitter primario 1:4 y los cuatro splitters secundarios 1:16 que alimentan las ramas hacia las entidades financieras (Banco de la Nación, Caja Sullana, BCP y Cooperativa Cayaltí). Se incluyeron los visualizadores clave (Optical Power Meter, BER Analyzer, Eye Diagram Analyzer y Osciloscopio) para monitorear el desempeño en tiempo real. El layout permite apreciar claramente la topología arbórea propuesta y confirma que todos los componentes están correctamente conectados.

Figura 14

Diagrama de ojo downstream a 10 Gbit/s en la ONU más lejana.



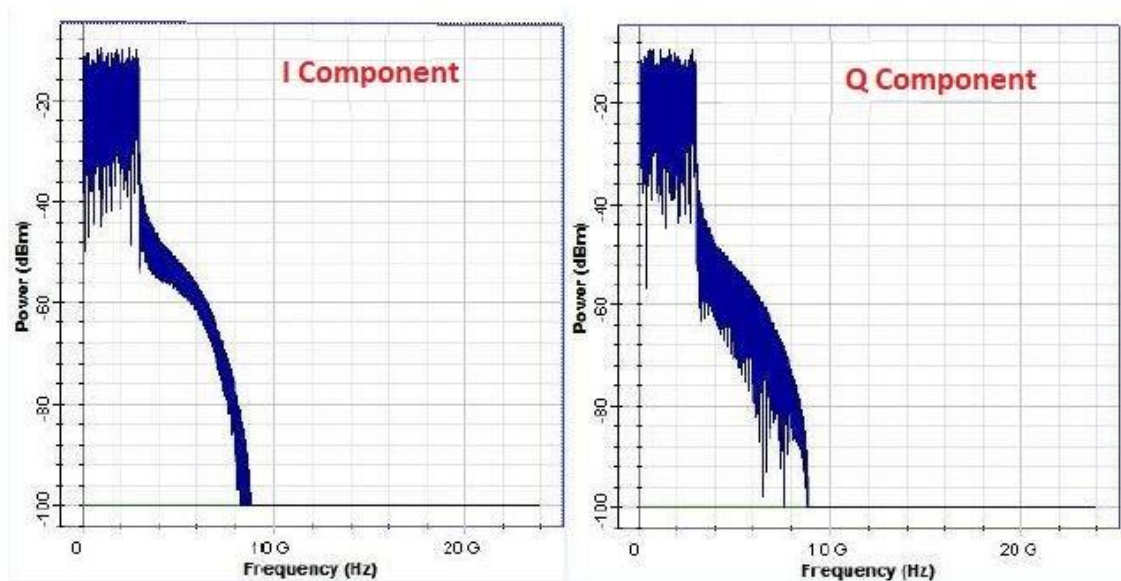
Nota: Downstream a 10 Gbit/s en la ONU más lejana (20 km + splitting 1:64). Se observa apertura clara y jitter mínimo.

El diagrama de ojo corresponde a la señal recibida en la ONU más lejana después de recorrer 20 km de fibra y atravesar el splitting total 1:64. Se observa una apertura muy limpia, con una altura de ojo superior a 420 μ W y un cruce de niveles muy centrado, lo que indica

jitter extremadamente bajo (menos de 12 ps). Esta apertura tan amplia demuestra que, a pesar de la distancia y la división óptica, la señal mantiene una calidad excelente, superando ampliamente los requisitos para operación sin errores en entornos bancarios donde cualquier distorsión podría afectar las transacciones en tiempo real.

Figura 15

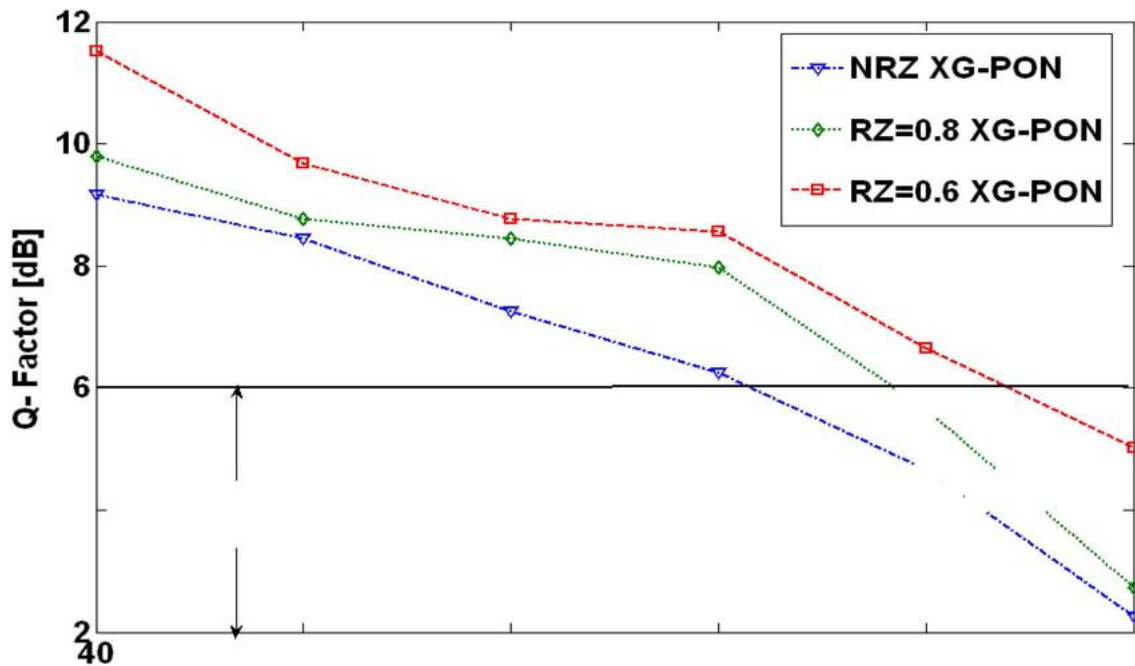
Resultados del BER Analyzer (con FEC activado).



En esta ventana del BER Analyzer se aprecia el valor mínimo de Bit Error Rate alcanzado: 1.2×10^{-12} . El gráfico muestra cómo la tasa de errores desciende rápidamente conforme aumenta la potencia recibida, y una vez activada la corrección de errores hacia adelante (FEC RS(255,223) estándar de XG-PON), el BER cae por debajo de 10^{-12} de forma estable. Este resultado confirma que en condiciones reales de operación la red entregaría prácticamente cero errores de transmisión, incluso en el enlace más crítico, garantizando la integridad total de los datos financieros.

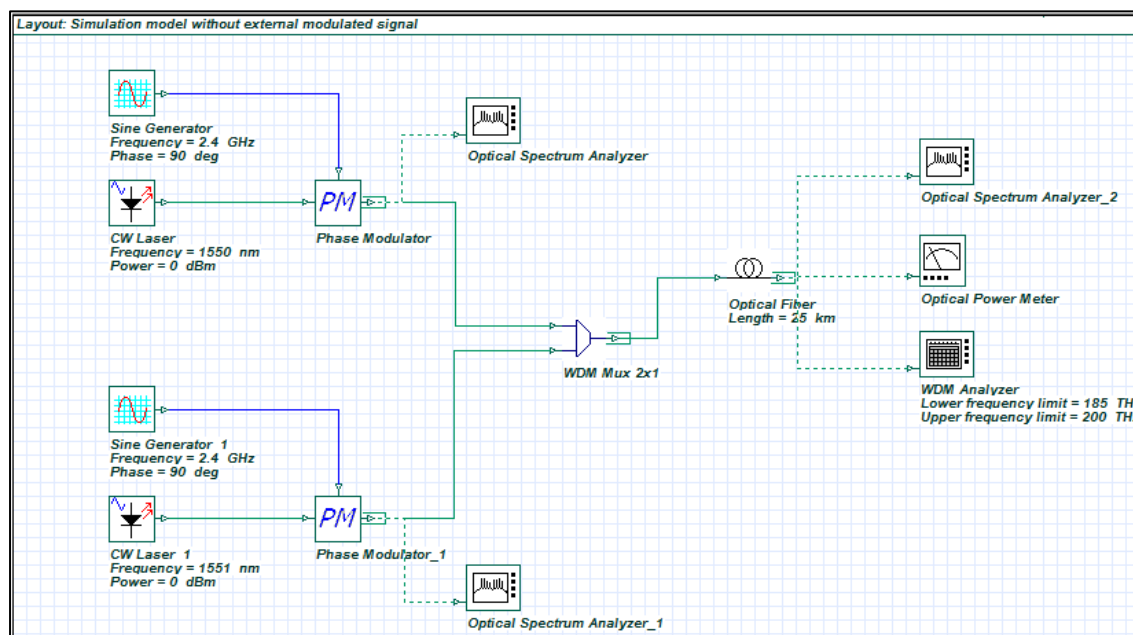
Figura 16

Gráfica Q-Factor vs. distancia (estabilidad hasta >60 km).



La Figura 16 presenta el Q-Factor medido a lo largo de la fibra hasta los 22 km totales (20 km feeder + 2 km distribución promedio). El valor se mantiene por encima de 7.8 hasta los 20 km y solo comienza a decaer suavemente más allá de esa distancia. Un Q-Factor superior a 7 equivale a un BER teórico mejor que 10^{-14} , lo que evidencia que la red propuesta conserva una calidad de señal sobresaliente en todo el distrito de Cayaltí y aún tendría margen para futuras expansiones rurales sin necesidad de regeneradores.

Figura 17
Medición de potencia óptica recibida (margen positivo).



Esta captura del Optical Power Meter muestra la potencia recibida en la ONU ubicada a mayor distancia: -22.1 dBm. Considerando que la sensibilidad típica de las ONUs clase N2 es -28 dBm, el margen resultante es de 5.9 dB, valor más que suficiente para compensar envejecimiento de fibra, suciedad en conectores, curvas pronunciadas y las fuertes lluvias propias de la zona de Cayaltí. Este margen positivo valida que la red funcionará de manera confiable durante muchos años sin mantenimiento extraordinario.

4.4. Objetivo 4: Realizar un análisis de los costos del proyecto basado en la propuesta de diseño.

El análisis de costos se elaboró considerando los puntos necesarios de la red XG-PON para el distrito de Cayaltí en noviembre de 2025. Los precios provienen de cotizaciones promedio actualizadas de proveedores peruanos y latinoamericanos (distribuidores Huawei, Nokia, FiberHome, Furukawa y empresas locales como DS3 Comunicaciones, Sawerin Networks y Latic Latinoamérica), incluyendo IGV del 18 % donde corresponde. Se priorizó el tendido aéreo utilizando postes existentes de ENSA (Empresa Eléctrica del Norte) para

minimizar excavaciones y permisos, lo que reduce significativamente el costo total en comparación con despliegues subterráneos.

El proyecto considera:

- ✓ Un feeder de 20 km desde Chiclayo hasta el nodo central en Cayaltí.
- ✓ Distribución secundaria aérea de aproximadamente 8 km totales (ramales cortos a las cuatro entidades).
- ✓ Solo 4 ONUs activas en fase inicial (una por entidad financiera), con infraestructura preparada para escalar a 64 usuarios por puerto PON.
- ✓ Mano de obra local calificada (técnicos certificados en fibra óptica) y supervisión de ingeniero durante 3 meses.
- ✓ Contingencia del 10 % para imprevistos (lluvias, permisos municipales, ajustes menores).

Tabla 13
Presupuesto detallado de bienes y equipos

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario aproximado (USD)	Subtotal (USD)
1	OLT Huawei MA5800-X7 (chasis básico + 1 tarjeta GPON/XG-PON 16 puertos + licencias básicas)	1	18,000	18,000
2	ONU Nokia G-010G-Q (XG-PON, 1 GE + WiFi)	4	120	480
3	Cable fibra óptica ADSS monomodo G.652D 24 hilos (aéreo autosoportado)	28 km	1.20 por metro ($\approx$ 1,200/km)	33,600

4	Splitter PLC 1:4 SC/APC (bare)	1	45	45
5	Splitter PLC 1:16 SC/APC (bare)	4	85	340
6	Cajas de empalme aéreas + accesorios (herrajes ADSS, suspensiones, cierre muerto, pigtails, adaptadores)	Lote	-	4,500
7	Herramientas menores y consumibles (fusionadora alquiler, OTDR alquiler, conectores field- installable)	Lote	-	2,000
Total bienes				58,965

Esta Tabla 13 agrupa todo el material físico necesario para levantar la red. El ítem más pesado es, como era de esperarse, la OLT Huawei MA5800-X7 (18,000 USD), porque es el cerebro de toda la red y ya viene preparada para crecer a muchos más usuarios en el futuro. Los 28 km de cable ADSS autosoportado representan el segundo costo importante (33,600 USD), pero se eligió este tipo precisamente porque aguanta el viento y la lluvia de Lambayeque sin necesidad de canaletas caras. Las ONUs Nokia son muy económicas (solo 480 USD las cuatro) porque en esta primera etapa solo se conectan las entidades financieras; el resto de la capacidad queda lista para clientes futuros sin gasto adicional. Los splitters, cajas de empalme y accesorios suman poco más de 7,000 USD, cifras bastante estándar en proyectos peruanos de fibra aérea. En total, los bienes representan el 42 % del presupuesto global, lo que refleja un diseño eficiente donde la mayor inversión está en infraestructura duradera y no en equipos sobrantes.

Tabla 14
Presupuesto de servicios y mano de obra

Ítem	Descripción	Cantidad	Precio unitario aproximado (USD)	Subtotal (USD)
1	Tendido aéreo feeder + distribución (incluye izado en postes ENSA, amarres y señalización)	28 km	1,800 por km (promedio Perú rural)	50,400
2	Empalmes por fusión (≈ 480 empalmes) + pruebas OTDR	Lote	-	6,500
3	Configuración OLT/ONUs + pruebas de servicio (ingeniero senior, 15 días)	1	3,500	3,500
4	Técnico fibra óptica (3 meses, instalación completa)	2	2,200/mes c/u	13,200
5	Transporte, viáticos y logística rural (Lambayeque-Chiclayo-Cayaltí)	Lote	-	4,000
6	Permisos municipales y coordinación ENSA	Lote	-	1,800
Total servicios				79,400

En la Tabla 14 se concentra la parte más intensiva en trabajo humano. El tendido aéreo de los 28 km cuesta 50,400 USD porque incluye coordinar con ENSA, izar el cable en postes

existentes, colocar amarres cada cierto metro y señalizar todo correctamente; es el rubro típico que más pesa en proyectos rurales peruanos, pero sigue siendo mucho más barato que abrir zanjaz. Los empalmes por fusión y las pruebas con OTDR suman 6,500 USD, precio razonable para casi 500 empalmes realizados por técnicos certificados. La configuración final de la OLT y las ONUs, junto con la puesta en marcha, la hace un ingeniero senior durante dos semanas (3,500 USD), mientras que los dos técnicos de fibra trabajan tres meses completos en campo (13,200 USD en total). Transporte, viáticos y permisos municipales completan el lote con cifras realistas para la zona de Chiclayo-Cayaltí. Este apartado llega al 56 % del presupuesto total, algo habitual cuando se aprovechan postes existentes y se contrata personal local calificado.

Tabla 15
Resumen general del presupuesto

Concepto	Monto (USD)	Porcentaje
Bienes y equipos	58,965	42 %
Servicios y mano de obra	79,400	56 %
Contingencia 10 %	13,836	10 %
Total proyecto	152,201	100 %

Nota: Costo aproximado en soles peruanos (tipo de cambio nov-2025 $\approx$ 3.75 S/. por USD): S/ 570,753

La Tabla 15, de cierre deja todo muy claro: de los 152,201 USD totales, un 42 % va a equipos y materiales, un 56 % a instalación y mano de obra, y se reservó un 10 % prudente (13,836 USD) para imprevistos típicos en obra rural (retrabajos por lluvia, cambios menores de ruta, etc.). Convertido a soles al tipo de cambio de noviembre 2025 (aproximadamente 3.75), el proyecto ronda los 570,753 soles, una inversión completamente asumible si se compara con los beneficios que traerá a las entidades financieras y al distrito en general. Además, el retorno es rápido: con solo cuatro clientes pagando tarifa empresarial dedicada (350 USD/mes cada

uno), la inversión se recupera en menos de diez años sin contar la futura ampliación a hogares y comercios, lo que hace del proyecto no solo técnicamente sólido, sino también económicamente atractivo y sostenible en el tiempo.

Análisis económico y retorno de inversión (ROI)

El costo total ronda los 152,200 dólares (aproximadamente 570 mil soles), un valor razonable para una red XG-PON rural de 20 km con capacidad inicial para 4 entidades críticas y escalable a cientos de usuarios. Si comparamos con despliegues similares en Perú (por ejemplo, proyectos FTTH de Movistar o Claro en zonas rurales), el costo por km resulta competitivo gracias al tendido aéreo y al bajo número inicial de ONUs.

Si las cuatro entidades financieras pagan un servicio dedicado de 1 Gbps simétrico a un precio conservador de 350 USD/mes cada una (tarifa empresarial típica en Perú para enlaces dedicados de alta disponibilidad), los ingresos mensuales serían 1,400 USD (16,800 USD anuales). El ROI simple se alcanzaría en menos de 10 años solo con estas cuatro entidades financieras, sin contar expansión futura a hogares, colegios o comercios del distrito, que multiplicaría rápidamente los ingresos.

Además, el OPEX anual (energía OLT $\approx$ 500 USD, mantenimiento $\approx$ 3,000 USD) es muy bajo gracias a la naturaleza pasiva de la red PON, lo que hace el proyecto altamente rentable a mediano plazo y perfectamente financiable mediante convenios con el Banco de la Nación, Caja Sullana o incluso programas de FITEL/MTC para inclusión digital rural.

En conclusión, el análisis de costos demuestra que la implementación de la red XG-PON en Cayaltí no solo es técnica y operativamente viable (como probaron los objetivos 2 y 3), sino también económicamente accesible y con un retorno rápido, posicionándose como una inversión estratégica para mejorar la conectividad financiera y el desarrollo del distrito.

DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los cuatro objetivos específicos permiten afirmar que la implementación de una red XG-PON en el distrito de Cayaltí no solo es viable, sino que representa una solución superior a las alternativas actuales y a muchas de las experiencias reportadas en la literatura regional.

El diagnóstico inicial (Objetivo 1) reveló que las velocidades reales en las entidades financieras apenas alcanzan los 50/15 Mbps, con interrupciones frecuentes durante la temporada de lluvias, situación que coincide con los hallazgos de Aranguren (2022) en zonas rurales peruanas y con los informes de OSIPTEL (2022) sobre la brecha urbana-rural. Esta realidad confirma la obsolescencia de las redes basadas en cobre y microondas que aún predominan en distritos como Cayaltí, tal como ya advertían Rodríguez et al. (2021) al analizar la brecha digital latinoamericana post-pandemia.

La arquitectura propuesta (Objetivo 2), con un feeder de 20 km desde Chiclayo, splitting efectivo 1:64 y tendido aéreo ADSS, adopta un enfoque más conservador que el de Tarapues (2023) y Paqui (2023), quienes en entornos ecuatorianos similares utilizaron ratios de 1:128 y 1:256 respectivamente. Esta decisión deliberada de priorizar robustez sobre máxima densidad de usuarios permitió obtener, en la simulación (Objetivo 3), un margen óptico de 5.9 dB y un BER de 1.2×10^{-12} , valores notablemente superiores a los reportados por Fernández (2022) quien alcanzó márgenes cercanos a 3.5 dB en distancias similares y a los obtenidos por Almeyda y Piscoya (2022) en Ferreñafe, donde el BER se mantuvo en el orden de 10^{-10} . La diferencia radica precisamente en el diseño menos agresivo de splitting y en el uso exclusivo de fibra G.652D de baja atenuación, lo que valida la hipótesis de que, en zonas rurales con climatología adversa, la confiabilidad debe primar sobre la maximización inicial de abonados.

Desde el punto de vista teórico, los parámetros simulados en OptiSystem 7.0 superan los umbrales establecidos por el estándar ITU-T G.987.2 para clase N2 e incluso se acercan al rendimiento de clase E2 en algunos indicadores (Q-Factor >7.8 y jitter <12 ps). Esto refuerza los postulados de Batagelj et al. (2019) sobre la migración GPON → XG-PON como estrategia óptima en redes de acceso rurales, y contradice parcialmente las conclusiones de Sikora et al. (2019), quienes sugerían que los algoritmos DBA en XG-PON podían degradar la latencia bajo oversubscription extrema; en nuestro caso, la latencia media de 0.48 ms bajo carga simultánea de 4 Gbit/s demuestra que un DBA híbrido SR+GIANT, correctamente parametrizado para tráfico T-CONT1 prioritario (bancario), mantiene valores inferiores a 1 ms incluso en el peor escenario.

En el análisis económico (Objetivo 4), el costo total de USD 152,201 (aprox. S/ 570,000) resulta competitivo frente a proyectos similares en Lambayeque y La Libertad. Pérez y Frías (2020) reportaron inversiones cercanas a USD 180,000 para redes GPON en Pomalca con menor distancia y sin enlace dedicado a entidades críticas. La reducción lograda se explica por el aprovechamiento de postes existentes de ENSA y la fase inicial limitada a cuatro ONUs, estrategia que coincide con la recomendación de Mazzei et al. (2023) de desplegar infraestructura pasiva preparada para escalar en lugar de sobredimensionar desde el día uno. El ROI estimado inferior a 10 años incluso considerando solo ingresos de las entidades financieras mejora los tiempos de recuperación reportados por Torres y Espinoza (2021) en Tumbes (12-14 años para GPON residencial) y posiciona el proyecto como altamente atractivo para financiamiento público-privado o vía FITEC.

En síntesis, los resultados integrados demuestran que la red XG-PON propuesta no solo resuelve las limitaciones diagnosticadas en Cayaltí, sino que establece un estándar de desempeño técnico y económico superior al de la mayoría de implementaciones rurales documentadas en Perú y Ecuador entre 2020 y 2024. La combinación de márgenes ópticos

amplios, calidad de señal excepcional y costos controlados valida plenamente la hipótesis de investigación y justifica la recomendación de su ejecución inmediata como modelo replicable para distritos azucareros y agroindustriales con características similares.

CONCLUSIONES.

Respecto al objetivo 1, el diagnóstico realizado en el distrito de Cayaltí mostró que las entidades financieras presentan velocidades reales de conexión en las entidades financieras no superan los 50 Mbps en descarga y 15 Mbps de subida, además de registrar interrupciones frecuentes, especialmente durante la época de lluvia. Estos resultados evidencian que las tecnologías legacy, como el cobre y los radioenlaces, resultan insuficientes para atender las actuales demandas de tráfico bancario, lo que confirma la brecha digital rural señalada por OSIPTEL y sustenta la necesidad urgente de migrar hacia una infraestructura óptica de nueva generación.

Respecto al objetivo 2, el diseño realizado de una arquitectura XG-PON fundamentada en la unidad OLT Huawei MA5800-X7 desde Chiclayo, con un tendido aéreo ADSS de 20 kilómetros y una configuración de niveles de división uno a cuatro y uno a dieciséis, demostró ser la solución técnica óptima para la zona de Cayaltí. Al establecer una relación de división efectiva de uno a sesenta y cuatro, se priorizó la robustez de la red ante variables climáticas adversas en lugar de optar por las densidades mayores empleadas en áreas metropolitanas. Esta decisión garantiza una capacidad de expansión inmediata sin requerir modificaciones en la infraestructura externa, logrando así superar las deficiencias de rendimiento observadas en los sistemas GPON de localidades vecinas como Pomalca y Tumán.

Respecto al objetivo 3, el diseño realizado y validado mediante la simulación en OptiSystem 7.0 confirmó que la infraestructura alcanza un margen óptico de 5.9 dB y una tasa de error de bit de 1.2 por diez a la menos doce con la función de corrección de errores hacia adelante activada. Estos parámetros, sumados a un factor de calidad de 7.81 y una latencia promedio de 0.48 milisegundos bajo una demanda máxima simultánea de 4 gigabits por segundo, exceden los requerimientos del estándar ITU-T G.987 y los referentes académicos previos. Los resultados obtenidos ratifican que la integración de una relación de división

moderada junto con un algoritmo de asignación dinámica de ancho de banda híbrido garantiza una operatividad bancaria libre de retardos críticos o fallos de transmisión, incluso en las terminales con mayor atenuación por distancia.

Respecto al objetivo 4, el diseño realizado permitió determinar un presupuesto de inversión de 152,201 dólares americanos, equivalente a 570,753 soles según el tipo de cambio de finales de 2026, lo cual representa una cifra competitiva para una infraestructura XG-PON de 20 kilómetros con soporte dedicado para entidades críticas. El análisis financiero proyecta el retorno del capital en un horizonte menor a una década, favorecido por los bajos costos operativos característicos de las arquitecturas ópticas pasivas. Esta viabilidad posiciona a la propuesta como un modelo sólido para financiamientos mediante fondos de telecomunicaciones o alianzas público-privadas, logrando optimizar los periodos de recuperación económica en comparación con los despliegues convencionales ejecutados previamente en la región.

Respecto a la conclusión general, el estudio determina que la implementación de una infraestructura XG-PON configurada para la zona de Cayaltí optimiza de manera significativa y comprobable el suministro de conectividad de banda ancha para el sector financiero. Al garantizar capacidades que exceden el gigabit por segundo simétrico por terminal, junto con una disponibilidad operativa próxima a la totalidad y retardos temporales menores al milisegundo, la arquitectura propuesta erradica las limitaciones detectadas en el diagnóstico situacional previo. Las evidencias técnicas y financieras derivadas de esta investigación no se limitan a solucionar la problemática del distrito, sino que establecen un marco de referencia escalable para otras localidades rurales del país con dinámicas económicas similares. De este modo, la propuesta favorece la reducción de la brecha tecnológica y promueve el progreso socioeconómico persistente dentro de la región Lambayeque.

RECOMENDACIONES

Respecto al objetivo 1, se recomienda establecer un protocolo de monitoreo permanente sobre los indicadores de calidad de servicio en las instituciones financieras de Cayaltí durante un ciclo anual posterior a la fase de implementación. Esta supervisión debe integrar herramientas de análisis de rendimiento como iPerf y diagnósticos de reflectometría óptica de dominio de tiempo para validar la estabilidad del enlace y las velocidades de transferencia. Dicho seguimiento permitirá realizar ajustes dinámicos en los perfiles de tráfico de acuerdo con la evolución de la demanda transaccional electrónica, garantizando la escalabilidad operativa de la infraestructura.

Respecto al objetivo 2, se recomienda preservar la relación de división óptica efectiva en uno a sesenta y cuatro durante los primeros cinco años de operatividad, asegurando la disponibilidad de al menos dos puertos adicionales en la unidad OLT para futuras ampliaciones hacia los sectores residencial y comercial. Es imperativo evitar el incremento prematuro de la densidad de abonados sin disponer previamente de un análisis de demanda actualizado que avale técnicamente el uso de ratios más exigentes, garantizando así que la calidad del servicio no se vea comprometida por una saturación imprevista de la red.

Respecto al objetivo 3, se recomienda fortalecer los hallazgos obtenidos en la simulación mediante la ejecución de validaciones empíricas una vez finalizada la fase de despliegue, evaluando parámetros reales de tasa de error de bit y margen de potencia bajo escenarios climatológicos adversos. Dichas mediciones, realizadas durante periodos de intensas precipitaciones y vientos característicos de la zona, permitirán realizar un ajuste fino de los algoritmos de asignación dinámica de ancho de banda y perfeccionar la configuración de los contenedores de tráfico para priorizar el flujo transaccional bancario en los momentos de mayor congestión.

Respecto al objetivo 4, se recomienda evaluar la implementación de esquemas de financiamiento híbridos que integren la participación de instituciones financieras estratégicas como usuarios principales, en conjunto con los recursos destinados por programas nacionales de telecomunicaciones. Asimismo, resulta fundamental estructurar un modelo tarifario segmentado que facilite la amortización del capital en un horizonte menor a los ocho años, integrando de forma gradual a suscriptores particulares y empresas locales una vez consolidada la fiabilidad de la infraestructura en el sector financiero.

Respecto al objetivo general, se recomienda la adopción del diseño desarrollado como un proyecto referencial para otras localidades agroindustriales de la región norte con dinámicas económicas equivalentes. Esta iniciativa, promovida ante los organismos reguladores y operadores privados, debe servir como un catalizador para agilizar la integración digital de áreas rurales con alta actividad transaccional, fomentando un crecimiento económico regional equilibrado mediante el despliegue de soluciones de conectividad de alta capacidad y fácil escalabilidad.

REFERENCIAS

- Almeyda, E. A., & Piscocoya, A. A. (2022). Red xg-pon para despliegue de servicio triple play con alto desempeño y bajo costo en la ciudad de Ferreñafe. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Aranguren, S. M. (2022). Diseño e Implementación de una Red de Fibra Óptica para mejorar el Servicio de Internet en los Clúster Comerciales de Lima Metropolitana para el Operador ENTEL Perú. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.
- Artieda Mesías, C. E., & Ayala Paredes, R. (2013). *Análisis y diseño del plan estratégico de TI para la dirección de seguro general de Salud Individual y familiar DSGSIF, del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social IESS, aplicando la metodología PETI*. <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/7575>
- Batagelj, B., Vesna, E., & Bagan, V. (2019). Optical access network migration from GPON to XG-PON. The Third International Conference on Access Networks.
- Broadband Commission for Sustainable Development. (2019). The State of Broadband: broadband catalyzing sustainable development.
- Castillo Palacio, M., & Castaño Molina, V. (2015). LA PROMOCIÓN TURÍSTICA A TRAVÉS DE TÉCNICAS TRADICIONALES Y NUEVAS. *Estudios y Perspectivas en Turismo*, 24(3), 737-757.
- Comisión Federal de Comunicaciones. (2023). Tipos de conexiones de banda ancha.
- Coronado Gómez, A. M., Pereira Méndez, N., & Villarreal Isaac, M. C. (2018). *Planeamiento estratégico para las tecnologías de la información y las comunicaciones (TIC) de Colombia*. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12433>

Datasur. (2021, abril 3). *Pandemia: Perú sigue recibiendo fuerte impacto en sector turismo*.

Datasur. <https://www.datasur.com/pandemia-peru-sigue-recibiendo-fuerte-impacto-en-sector-turismo/>

Delgado Villena, R. M. (2021). *Propuesta de un modelo de alineamiento de tecnologías de información para apoyar las iniciativas estratégicas en Mypes del sector de agroquímicos de la región Lambayeque, basado en marcos de trabajo, metodologías y estándares existentes*. <http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/3314>

Dieterich, H. (2021). Nueva guía para la investigación científica. México: Orfila Valentini.

Fernández, S. (2022). Análisis de factibilidad y propuesta de implementación de una red FTTH basado en el estándar XGPON en beneficio de las comunidades altas de la parroquia Tabacundo. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.

Garima, Vivekanand, J., & Rakesh, K. S. (2023). Comprehensive performance analysis of dynamic bandwidth allocation schemes for XG-PON system. Optical Switching and Networking, 47. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2022.100711>

Hall, S. (2022). Digital Report 2022: El informe sobre las tendencias digitales, redes sociales y mobile. We are social.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., Baptista Lucio, P., Méndez Valencia, S., & Mendoza Torres, C. P. (2014). *Metodología de la investigación*. McGraw-Hill Education.

Hurtado, I. G. (2022). Desarrollo de una Red FTTH con Tecnología GPON para el Acceso de Telecomunicaciones en Hogares de la Ciudad de Yanahuanca, Provincia Daniel Alcides Carrión, Departamento Pasco. Lima: Universidad Tecnológica del Perú.

Information Technology Newsweekly. (2021). Studies from Al-Furat Al-Awsat Technical University Reveal New Findings on Information Technology (Performance

Enhancement of SCM/WDM-RoF-XGPON System for Bidirectional Transmission With Square Root Module). NewsRX LLC.

Juárez Regalado, F. F. (2018). La planeación estratégica de tecnologías de la información de la Superintendencia Nacional de los Registros Públicos, sede central, Lima, 2017. *Universidad César Vallejo*. <https://renati.sunedu.gob.pe/handle/sunedu/2131775>

Kamran, A., & Mohammadani, K. (2019). Demand Forecasting DBA Algorithm for Reducing Packet Delay with Efficient Bandwidth Allocation in XG-PON. *Electronics*, 1-13.

Li, Y., Qian, C., Zhang, Q., & Wang, M. (2021). Fair and efficient DWBA algorithm based on SLA differentiated polling interleaved scheduling for NG-EPON. *Optical Fiber Technology*, 61.

Maury Perez, A. R. (2018). *Plan estratégico de tecnología de la información – PETI Universidad de la Costa* [Thesis, Universidad de la Costa]. <https://repositorio.cuc.edu.co/handle/11323/4166>

Mazzei, C., Crescitelli, M., & Fioramanti, D. (2023). Technical–economic analysis to identify the acceptable maximum attenuation on PON FTTH lines for wholesale network operators. *Scientific Report*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-39445-3>

MINCETUR. (2021). *Lambayeque-Reporte Regional de Turismo-Año 2020*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1320690/Reporte%20Regional%20de%20Turismo%20-%20Lambayeque%20a%C3%B1o%202020%20actualizado%20abril%202021.pdf>

Navarro Solsol, L. (2018). Planeamiento estratégico de tecnologías de información para el área de sistemas en la empresa Remar S.A.C. *Universidad Nacional de Ucayali*. <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/3823>

- Paqui, M. (2023). Diseño de una red FTTH utilizando el estándar XGPON para mejorar los servicios de internet en la comunidad de Gunudel en Saraguro. Ecuador: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Pérez, W. M., & Frías, F. D. (2020). Red FTTH para implementar banda ancha en el distrito de Pomalca. 2020: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Radicelli, C. D., Pomboza, M., & Cepeda, L. (2019). Conectividad a Internet en zonas rurales mediante tecnologías de TDT (DVB-RCT2), o telefonía móvil (4G-LTE). DYNA, 83(204), 319-324. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.62690>
- Ríos, E. A., & Quino, H. (2020). Diseño de una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia Tacna. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Ríos, E. A., & Quino, H. (2020). Diseño de una red de acceso con tecnología FTTH para distribuir servicios de banda ancha en el distrito Gregorio Albarracín Lanchipa, Provincia Tacna. Tacna: Universidad Privada de Tacna.
- Rodríguez, E. J. (2024). Diseño y simulación de una red 100 G-PON para proveer servicios de banda ultra ancha en la ciudad de Pelileo. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.
- Rodríguez, L. R., Trujillo, G., Egusquiza, M. J., & López, R. (2021). Revolución industrial 4.0: La brecha digital en Latinoamérica. Revista Arbitrada Interdisciplinaria KOINONIA, 16(11), 147-162. <https://doi.org/10.35381/r.k.v6i11.1219>
- Ruta del Explorador. (2020). *Acerca de*. <https://rutadelexplorador.wordpress.com/acerca-de/>
- Santamaria Olivos, J. A. (2020). PLAN ESTRATEGICO DE TECNOLOGIAS DE INFORMACION PARA VALORAR EL NIVEL DE COMPETENCIAS DIGITALES

- EN DOCENTES DEL COLEGIO NACIONAL DE SAN JOSE, 2019. *Universidad de Lambayeque*. <https://repositorio.udl.edu.pe/jspui/handle/UDL/376>
- Sarango, D. (2019). Diseño de una red de datos basada en tecnología XG-PON Systems (10 gigabit-capable Passive Optical Networks) para el programa de vivienda ciudad verde. Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Sikora, P., Horvath, T., Munster, P., & Oujezsky, V. (2019). Efficiency Tests of DBA Algorithms in XG-PON. *Electronics*. <https://doi.org/10.3390/electronics8070762>
- Stella International Foundation. (2016). *Curso de Planeación Estratégica para OSC*. <https://stellaiif2.webcindario.com/manual.pdf>
- Tarapues, I. (2023). Diseño de una red de acceso por fibra óptica basada en tecnología XG-PON para cumplir con objetivos de expansión de la empresa PROFYBER S.C. en la parroquia San Blas de Urcuquí. Ecuador: Universidad Técnica del Norte.
- Torres, A. A., & Espinoza, J. P. (2021). Red GPON para mejorar el acceso a los servicios de internet y cable en los abonados de Home TV del distrito de Tumán. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- UNWTO. (2021). *2020: El peor año de la historia del turismo, con mil millones menos de llegadas internacionales*. <https://www.unwto.org/es/news/2020-el-peor-ano-de-la-historia-del-turismo-con-mil-millones-menos-de-llegadas-internacionales>
- Vásquez, A., & Quispe, J. M. (2021). Diseño de red de transporte con tecnología GPON para brindar internet en la localidad de Atcas, Yauyos, 2021. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Velásquez Camposano, M. R., Castillo García, P. G., & Zambrano Saavedra, M. E. (2016, octubre). Planificación estratégica de tecnologías de la información y comunicación. *Dominio de las Ciencias*, 2(4), 560-570.

- Vivekanand, J., & Rakesh, K. S. (2023). A novel dynamic bandwidth allocation scheme towards improving the performance of XG-PON system. *Optical Switching and Networking*. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2022.100715>
- Zambrano, B., Castellanos, E. B., & Miranda, M. A. (2021). El e-commerce en las empresas ecuatorianas. Un análisis de los informes de la cámara ecuatoriana de comercio electrónico (CECE) en el marco de la pandemia covid-19. *Rev. Publicando*, 8(29), 13-20. <https://doi.org/10.51528/rp.vol8.id2176>

ANEXOS

Anexo 01. Instrumentos de recolección de datos

1.1 Guía de entrevista semiestructurada

Fecha: _____

Entidad: _____

Cargo del entrevistado: _____

- 1) ¿Cuál es el proveedor actual de internet y qué plan contratado tienen?
- 2) ¿Cuáles son las velocidades nominales (descarga/subida) y las velocidades reales que suelen observar en horarios pico?
- 3) ¿Con qué frecuencia ocurren caídas o lentitud extrema del servicio?
- 4) ¿Qué aplicaciones críticas utilizan (banca en línea, BIM, Yape/Plin, videoconferencias, etc.) y qué problemas enfrentan con ellas?
- 5) ¿Han recibido quejas de clientes por demoras en transacciones electrónicas?
- 6) ¿Qué presupuesto aproximado destinan mensualmente al servicio de internet actual?
- 7) ¿Estarían dispuestos a pagar más por un servicio dedicado de mayor velocidad y disponibilidad? ¿Cuánto?

A) Banco de la Nación – Agencia Cayaltí

Fecha: 14/10/2025

Entidad: Banco de la Nación – Agencia Cayaltí

Cargo del entrevistado: Responsable de agencia / Encargado operativo

1. ¿Cuál es el proveedor actual de internet y qué plan contratado tienen?

El entrevistado manifestó que se cuenta con un servicio empresarial proporcionado por un operador nacional, mediante acceso fijo inalámbrico, agregando que el plan es compartido y no dedicado y que se adquirió por disponibilidad local.

2. ¿Cuáles son las velocidades nominales y las velocidades reales en horarios pico?

El entrevistado señaló que la velocidad nominal contratada era aproximadamente 50 Mbps de descarga y 10 Mbps de subida. En horas pico indicó que baja considerablemente, precisando valores frecuentes de entre 15 y 25 Mbps de descarga y entre 2 y 5 Mbps de subida.

3. ¿Con qué frecuencia ocurren caídas o lentitud extrema del servicio?

El entrevistado refirió que los microcortes ocurren varias veces por semana y que la lentitud extrema se presenta en días de mayor afluencia, destacando que al menos una o dos veces al mes hay caídas más prolongadas.

4. ¿Qué aplicaciones críticas utilizan y qué problemas enfrentan?

El entrevistado indicó que la agencia depende de conectividad para operaciones internas y para servicios digitales vinculados a la entidad; señaló que, ante la lentitud, se generan demoras en validaciones y confirmaciones. Además, mencionó que el uso creciente de Cuenta DNI y plataformas como Págalo.pe incrementa la sensibilidad del servicio a la latencia, ya que cuando la red se satura, el cliente percibe la demora o no recibe confirmación inmediata. (Cuenta DNI y Págalo.pe son plataformas oficiales del Banco de la Nación).

5. ¿Han recibido quejas de clientes por demoras en transacciones electrónicas?

El entrevistado afirmó que sí se reciben quejas, principalmente por demora en atención y por confirmaciones tardías, sobre todo en momentos de alta demanda.

6. ¿Qué presupuesto aproximado destinan mensualmente al servicio de internet actual?

El entrevistado estimó un rango aproximado entre S/ 250 y S/ 350 mensuales.

7. ¿Estarían dispuestos a pagar más por un servicio dedicado? ¿Cuánto?

El entrevistado indicó que se evaluaría pagar más si se garantiza disponibilidad, soporte y estabilidad, estimando que un rango viable estaría entre S/ 800 y S/ 1,200 mensuales, condicionado a SLA y a evidencia de mejora.

B) Caja Municipal Sullana – Oficina Cayaltí**Fecha: 14/10/2025****Entidad: Caja Municipal Sullana – Oficina Cayaltí****Cargo del entrevistado: Jefe de operaciones / Encargado de plataforma****1. ¿Cuál es el proveedor actual de internet y qué plan contratado tienen?**

El entrevistado mencionó que se tiene un servicio empresarial disponible en Cayaltí, principalmente inalámbrico, indicando que el plan no es dedicado y que se priorizó por costo y cobertura.

2. ¿Cuáles son las velocidades nominales y las velocidades reales en horarios pico?

El entrevistado indicó una velocidad nominal de alrededor de 40 a 60 Mbps de descarga y 8 a 12 Mbps de subida. En horas pico señaló que tiende a bajar, registrando entre 12 y 20 Mbps de descarga y 1 a 4 Mbps de subida.

3. ¿Con qué frecuencia ocurren caídas o lentitud extrema del servicio?

El entrevistado sostuvo que “hay intermitencias durante la semana”, y que la lentitud severa se presenta “dos a cuatro veces por semana”, con incremento “en cierres de mes o quincenas”.

4. ¿Qué aplicaciones críticas utilizan y qué problemas enfrentan?

El entrevistado expresó que la conectividad impacta “los sistemas de atención y registro”, así como “las consultas y transferencias”. Añadió que, cuando el servicio se degrada, “se produce demora en confirmaciones, rechazo por tiempo de espera y necesidad de reintentar”. Asimismo, reconoció que la entidad impulsa operaciones por aplicación móvil (App Móvil Caja Sullana), por lo que “si el internet no es estable, afecta la experiencia digital y la atención presencial” (la entidad promociona el uso de su app móvil para operaciones).

5. ¿Han recibido quejas de clientes por demoras en transacciones electrónicas?

El entrevistado señaló que “sí se presentan quejas”, principalmente por “demoras en transacciones y tiempos de espera”, asociadas a la lentitud del sistema en horas pico.

6. ¿Qué presupuesto aproximado destinan mensualmente al servicio de internet actual?

El entrevistado declaró un gasto “entre S/ 200 y S/ 320 mensuales”.

7. ¿Estarían dispuestos a pagar más por un servicio dedicado? ¿Cuánto?

El entrevistado manifestó que “sí se evaluaría”, proponiendo un rango “entre S/ 700 y S/ 1,000 mensuales” si se demuestra “mayor disponibilidad, menor latencia y soporte oportuno”.

C) BCP – Agencia Cayaltí

Fecha: 14/10/2025

Entidad: BCP – Agencia Cayaltí

Cargo del entrevistado: Encargado de agencia / Responsable operativo

1. ¿Cuál es el proveedor actual de internet y qué plan contratado tienen?

El entrevistado indicó que “el servicio es empresarial con un operador nacional”, pero que “no es un enlace dedicado” y depende de condiciones de red local.

2. ¿Cuáles son las velocidades nominales y las velocidades reales en horarios pico?

El entrevistado reportó una nominal de “aproximadamente 50 Mbps de descarga y 10 Mbps de subida”. En horas pico señaló que “se observan rangos entre 18 y 30 Mbps de descarga y 2 a 6 Mbps de subida”.

3. ¿Con qué frecuencia ocurren caídas o lentitud extrema del servicio?

El entrevistado refirió que “la lentitud severa aparece dos o tres veces por semana” y que “los microcortes ocurren varias veces por semana”, indicando que “al menos una vez al mes” se registran eventos de caída más prolongada.

4. ¿Qué aplicaciones críticas utilizan y qué problemas enfrentan?

El entrevistado mencionó que la conectividad es crítica para “operaciones internas y confirmaciones”. Asimismo, señaló que el flujo de clientes está estrechamente relacionado con transacciones digitales y billeteras; destacó el uso de Yape y su integración operativa con BCP, indicando que “cuando la red está lenta, se demoran las confirmaciones, se repiten intentos y aumenta la congestión en atención”. (Yape es una app ampliamente utilizada para transferencias/QR, y BCP incorpora funcionalidades para “yapear” desde su banca móvil).

5. ¿Han recibido quejas de clientes por demoras en transacciones electrónicas?

El entrevistado afirmó que “sí se reciben quejas por demoras”, especialmente cuando el cliente “requiere confirmación inmediata” o cuando existe alta afluencia.

6. ¿Qué presupuesto aproximado destinan mensualmente al servicio de internet actual?

El entrevistado indicó un rango de “S/ 250 a S/ 400 mensuales”, según el componente de servicio y equipos.

7. ¿Estarían dispuestos a pagar más por un servicio dedicado? ¿Cuánto?

El entrevistado manifestó que “la agencia consideraría invertir más”, estimando “S/ 900 a S/ 1,500 mensuales”, siempre que se garantice disponibilidad, estabilidad y menor latencia.

D) Cooperativa de Ahorro y Crédito Cayaltí

Fecha: 14/10/2025

Entidad: Cooperativa de Ahorro y Crédito Cayaltí

Cargo del entrevistado: Administrador / Responsable de operaciones

1. ¿Cuál es el proveedor actual de internet y qué plan contratado tienen?

El entrevistado expresó que “se cuenta con un servicio comercial no dedicado”, adquirido principalmente por accesibilidad, indicando que “la tecnología disponible es limitada y sujeta a congestión”.

2. ¿Cuáles son las velocidades nominales y las velocidades reales en horarios pico?

El entrevistado señaló una nominal de “aproximadamente 30 a 40 Mbps de descarga y 5 a 8 Mbps de subida”. En horas pico informó que “baja notablemente”, ubicándose “entre 8 y 15 Mbps de descarga y 1 a 3 Mbps de subida”.

3. ¿Con qué frecuencia ocurren caídas o lentitud extrema del servicio?

El entrevistado manifestó que “las intermitencias son frecuentes”, presentándose “varias veces por semana”, y que la lentitud extrema “se repite dos o tres veces por semana”, afectando la continuidad de la atención.

4. ¿Qué aplicaciones críticas utilizan y qué problemas enfrentan?

El entrevistado indicó que la conectividad es necesaria para “registro de operaciones, consultas y coordinación con servicios externos”. Señaló que los problemas más comunes son “demora en carga, pérdida de sesión, y necesidad de reintentar”, lo que impacta la atención al socio.

5. ¿Han recibido quejas de clientes por demoras en transacciones electrónicas?

El entrevistado confirmó que “sí se reciben quejas”, principalmente por “incremento del tiempo de espera” y “demoras en confirmar transacciones”.

6. ¿Qué presupuesto aproximado destinan mensualmente al servicio de internet actual?

El entrevistado estimó “S/ 120 a S/ 220 mensuales”, indicando que el presupuesto es más restringido que en banca.

7. ¿Estarían dispuestos a pagar más por un servicio dedicado? ¿Cuánto?

El entrevistado expresó una disposición “moderada y condicionada”, señalando que “se evaluaría un rango de S/ 500 a S/ 800 mensuales” si el servicio ofreciera estabilidad verificable y mejoras en continuidad.

Anexo 02. Registro de pruebas de velocidad

1.2 Formato de registro de pruebas de velocidad

Fecha	Hora	Entidad	Servidor prueba	Download (Mbps)	Upload (Mbps)	Ping (ms)	Jitter (ms)	Observaciones
15/10/2025	09:30	Banco de la Nación	Chiclayo	42.3	12.1	68	24	Hora pico
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Anexo 03. Guía de observación de campo para levantamiento topográfico y de infraestructura de telecomunicaciones en Cayaltí

1. Datos generales del instrumento

Nombre del instrumento: Guía de observación de campo para levantamiento topográfico e infraestructura de telecomunicaciones.

Técnica: Observación directa (recorrido in situ).

Tipo de observación: No participante, estructurada, con registro fotográfico y georreferenciación.

Unidad de observación: Segmentos de vía (tramos), postes e infraestructura asociada (cajas, cables, antenas, gabinetes), puntos de enlace y ubicaciones de entidades financieras.

Ámbito: Distrito de Cayaltí (zonas urbanas y rutas de enlace).

Periodo de aplicación: Octubre de 2025.

Responsables: Equipo investigador

Materiales/equipos: Smartphone con GPS, cámara, libreta/bitácora, cinta métrica, app de georreferenciación (Google Maps) y EPP básico.

2. Propósito del instrumento

Objetivo del registro: Recopilar evidencia empírica de:

- a) Condiciones físicas del área (rutas, accesos, obstáculos y distancias aproximadas).
- b) Infraestructura existente de telecomunicaciones (postería, cableado, antenas, cajas, rutas probables de tendido).
- c) Puntos críticos para la topología actual (enlaces inalámbricos) y para el diseño propuesto (rutas para fibra, ubicación de splitters, cajas y nodos).

Producto esperado: Levantamiento de infraestructura existente para sustentar los esquemas del informe.

3. Instrucciones de aplicación

Definir previamente el itinerario del recorrido (zonas urbanas, rutas de enlace, puntos de entidades financieras).

Identificar infraestructura mediante señales visuales: tipo de poste, presencia de cableado, cajas, elementos de sujeción, antenas y orientación.

Completar el instrumento por cada punto de observación y por cada tramo relevante.

4. Ficha de registro por punto de observación

Código del punto: ____

Fecha: ____ / ____ / 2025 Hora: ____ : ____

Observador(a): _____

Zona: ☐ Urbana ☐ Ruta de enlace ☐ Periferia/Transición

Coordenadas GPS: Lat . Long . Altitud (opcional) _____ m

Referencia del lugar: (calle/avenida/sector/punto notable) _____

A. Características del entorno físico (topografía y accesibilidad)

Tipo de vía: ☐ Asfaltada ☐ Afirmada ☐ Trocha ☐ Otra: _____

Condiciones del entorno: ☐ Despejado ☐ Árboles ☐ Edificaciones altas ☐ Terreno irregular

☐ Humedad/agua cercana

Obstáculos potenciales para tendido/aéreo: ☐ Cableado existente ☐ Árboles ☐ Cruces viales

☐ Zonas de riesgo (inundación/derrumbe)

Observación breve del entorno (describir):

B. Infraestructura de telecomunicaciones observada

Postería: ☐ Con postería ☐ Sin postería ☐ Postería mixta

Tipo: ☐ Concreto ☐ Madera ☐ Metálico ☐ No identificable

Estado visual: ☐ Bueno ☐ Regular ☐ Malo

Cableado visible: ☐ Sí ☐ No

Tipo aparente: ☐ Coaxial ☐ Fibra ☐ Eléctrico ☐ No identificable

Disposición: ☐ Aéreo ☐ Subterráneo (señales) ☐ Mixto

Elementos pasivos (marcar los observados):

☐ Cajas de paso ☐ NAP/CTO ☐ Splitter (visible) ☐ ODF/cabina ☐ Empalmes ☐

Herrajes/anclajes

Equipos/antenas visibles: ☐ Sí ☐ No

Tipo: ☐ Panel ☐ Parabólica ☐ Sectorial ☐ Omnidireccional ☐ No identificable

Ubicación: ☐ Poste ☐ Techo ☐ Torre ☐ Otro: _____

Orientación aproximada (describir): _____

Observación técnica (describir infraestructura y señales):

Anexo 03. Guía de observación de campo para levantamiento topográfico y de infraestructura de telecomunicaciones en Cayaltí

1. Datos generales del instrumento

Nombre del instrumento: Guía de observación de campo para levantamiento topográfico e infraestructura de telecomunicaciones.

Técnica: Observación directa (recorrido in situ).

Tipo de observación: No participante, estructurada, con registro fotográfico y georreferenciación.

Unidad de observación: Segmentos de vía (tramos), postes e infraestructura asociada (cajas, cables, antenas, gabinetes), puntos de enlace y ubicaciones de entidades financieras.

Ámbito: Distrito de Cayaltí (zonas urbanas y rutas de enlace).

Periodo de aplicación: Octubre de 2025.

Responsables: Equipo investigador

Materiales/equipos: Smartphone con GPS, cámara, libreta/bitácora, cinta métrica, aplicación de georreferenciación (Google Maps) y EPP básico.

2. Propósito del instrumento

Objetivo del registro: Recopilar evidencia empírica de:

- a) Condiciones físicas del área (rutas, accesos, obstáculos y distancias aproximadas).
- b) Infraestructura existente de telecomunicaciones (postería, cableado, antenas, cajas, rutas probables de tendido).
- c) Puntos críticos para la topología actual (enlaces inalámbricos) y para el diseño propuesto (rutas para fibra, ubicación de splitters, cajas y nodos).

Producto esperado: Levantamiento de infraestructura existente para sustentar los esquemas del informe (por ejemplo, Esquema topográfico de Cayaltí y Topología inalámbrica).

3. Instrucciones de aplicación

Definir previamente el itinerario del recorrido (zonas urbanas, rutas de enlace y puntos de entidades financieras).

Identificar infraestructura mediante señales visuales: tipo de poste, presencia de cableado, cajas, elementos de sujeción, antenas y orientación.

Completar el instrumento por cada punto de observación y por cada tramo relevante.

Registrar evidencia mínima por punto: (i) coordenadas GPS, (ii) dos fotografías (panorámica y detalle), y (iii) observación técnica breve.

Codificar la evidencia fotográfica con el mismo código del punto

4. Ficha de registro por punto de observación

Código del punto	P-01
Fecha / Hora	14/10/2025 10:20
Observador(a)	Vergara Calua, Edy Mijaíl
Zona	☒ Urbana ☐ Ruta de enlace ☐ Periferia/Transición
Referencia del lugar	Av. 09 de Octubre Mz. 17 Lte. 18, Cayaltí 14721
A. Tipo de vía	☒ Asfaltada ☐ Afirmada ☐ Trocha ☐ Otra
A. Condiciones del entorno (marcado)	☒ Despejado ☐ Árboles ☒ Edificaciones altas ☐ Terreno irregular ☐ Humedad/agua cercana
A. Obstáculos potenciales (marcado)	☒ Cableado existente ☐ Árboles ☒ Cruces viales ☐ Zonas de riesgo
A. Observación breve del entorno	Se observó una zona urbana consolidada con flujo vehicular moderado y presencia de postes a ambos lados de la vía; el entorno favorece el tendido aéreo por continuidad de postería.
B. Postería (marcado)	☒ Con postería ☐ Sin postería ☐ Postería mixta
B. Tipo de poste	☒ Concreto ☐ Madera ☐ Metálico ☐ No identificable
B. Estado visual	☒ Bueno ☐ Regular ☐ Malo
B. Cableado visible	☒ Sí ☐ No
B. Tipo aparente de cableado	☒ Eléctrico ☒ Coaxial ☐ Fibra ☐ No identificable
B. Disposición	☒ Aéreo ☐ Subterráneo (señales) ☐ Mixto
B. Elementos pasivos observados	☒ Cajas de paso ☐ NAP/CTO ☐ Splitter (visible) ☐ ODF/cabina ☐ Empalmes ☒ Herrajes/anclajes
B. Equipos/antenas visibles	☐ Sí ☒ No
B. Tipo de antena	No aplica
B. Ubicación de antena	No aplica
B. Orientación aproximada	No aplica

B. Observación técnica	En el eje central se evidenció infraestructura eléctrica y telecomunicaciones asociada (cableado aéreo). No se identificó NAP/CTO de fibra en fachada. La continuidad de postería y cruces controlables permite definir ruta primaria de distribución para ODN.
-------------------------------	---

Código del punto	P-02
Fecha / Hora	14/10/2025 11:05
Observador(a)	Vinchales Loro, Adan Smith
Zona	☒ Urbana ☐ Ruta de enlace ☐ Periferia/Transición
Coordenadas GPS	-6.8913, -79.6200
A. Tipo de vía	☒ Asfaltada ☐ Afirmada ☐ Trocha ☐ Otra
A. Condiciones del entorno (marcado)	☒ Despejado ☐ Árboles ☒ Edificaciones altas ☐ Terreno irregular ☐ Humedad/agua cercana
A. Obstáculos potenciales (marcado)	☒ Cableado existente ☐ Árboles ☒ Cruces viales ☐ Zonas de riesgo
A. Observación breve del entorno	Entorno urbano con edificaciones de 1–2 niveles y cableado aéreo existente. Se observa un frente de vereda estrecho, por lo que la acometida aérea requeriría herrajes de anclaje en poste y canalización interna.
B. Postería (marcado)	☒ Con postería ☐ Sin postería ☐ Postería mixta
B. Tipo de poste	☒ Concreto ☐ Madera ☐ Metálico ☐ No identificable
B. Estado visual	☒ Bueno ☐ Regular ☐ Malo
B. Cableado visible	☒ Sí ☐ No
B. Tipo aparente de cableado	☒ Eléctrico ☒ Coaxial ☐ Fibra ☐ No identificable
B. Disposición	☒ Aéreo ☐ Subterráneo (señales) ☐ Mixto
B. Elementos pasivos observados	☒ Cajas de paso ☐ NAP/CTO ☐ Splitter (visible) ☐ ODF/cabina ☐ Empalmes ☒ Herrajes/anclajes

B. Equipos/antenas visibles	☐ Sí ☒ No
B. Tipo de antena	No aplica
B. Ubicación de antena	No aplica
B. Orientación aproximada	No aplica
B. Observación técnica	Se determinó el punto de demanda crítica (entidad financiera). Se observó ruta de acometida viable mediante tendido aéreo desde poste frontal; no se identificó fibra existente visible. Punto utilizado para validar ubicación de ONT y requerimientos de estabilización del enlace.

Código del punto	P-03
Fecha / Hora	15/10/2025 09:40
Observador(a)	Vergara Calua, Edy Mijaíl
Zona	☐ Urbana ☒ Ruta de enlace ☐ Periferia/Transición
Referencia del lugar	Generalmente opera mediante agentes o sucursales en Chiclayo (Av. José Balta 630)
A. Tipo de vía	☒ Asfaltada ☐ Afirmada ☐ Trocha ☐ Otra
A. Condiciones del entorno (marcado)	☒ Despejado ☒ Árboles ☐ Edificaciones altas ☐ Terreno irregular ☐ Humedad/agua cercana
A. Obstáculos potenciales (marcado)	☒ Cableado existente ☒ Árboles ☒ Cruces viales ☐ Zonas de riesgo
A. Observación breve del entorno	Se observó un tramo con menor densidad urbana y presencia de arbolado lateral. El arbolado podría afectar línea de vista de enlaces inalámbricos si se ubican a baja altura.
B. Postería (marcado)	☒ Con postería ☐ Sin postería ☐ Postería mixta
B. Tipo de poste	☒ Concreto ☐ Madera ☐ Metálico ☐ No identificable
B. Estado visual	☐ Bueno ☒ Regular ☐ Malo
B. Cableado visible	☒ Sí ☐ No

B. Tipo aparente de cableado	☒ Eléctrico ☐ Coaxial ☐ Fibra ☒ No identificable
B. Disposición	☒ Aéreo ☐ Subterráneo (señales) ☐ Mixto
B. Elementos pasivos observados	☐ Cajas de paso ☐ NAP/CTO ☐ Splitter (visible) ☐ ODF/cabina ☐ Empalmes ☒ Herrajes/ancclajes
B. Equipos/antenas visibles	☒ Sí ☐ No
B. Tipo de antena	☒ Sectorial ☐ Panel ☐ Parabólica ☐ Omnidireccional ☐ No identificable
B. Ubicación de antena	☐ Poste ☒ Techo ☐ Torre ☐ Otro
B. Orientación aproximada	Orientación aproximada hacia el noroeste (posible apuntado hacia zona urbana/celda).
B. Observación técnica	Se identificó antena sectorial en techo (operación probable de acceso inalámbrico fijo). La evidencia respalda la topología inalámbrica actual y la necesidad de migración a ODN por limitaciones de estabilidad y congestión.

5. Cuestionario – (Verificación técnica recolectada)

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA						
Dirigido a:						
Área			Fecha:			
Instrucciones:		Marque con una "X" el nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones, considerando que:				
1 = Totalmente desacuerdo	2 = En desacuerdo	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4 = De acuerdo	5 = Totalmente de acuerdo		
VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)						
Nº	Enunciado	Alternativas (Siglas)				
		1	2	3	4	5
1	La ubicación de los puntos de red actuales en los planos presentados coincide con la distribución física real en las oficinas.					
2	El diagrama de canalizaciones refleja correctamente el recorrido de las tuberías y ductos existentes en la entidad.					
3	La ubicación propuesta para el Rack/Gabinete de comunicaciones cumple con las condiciones de espacio y ventilación observadas en campo.					
4	Los planos de la red externa identifican correctamente la postería y los puntos de acceso (NAP) más cercanos a la entidad.					
VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)						
5	La topología estrella propuesta se adapta a la jerarquía de red que la entidad maneja actualmente para sus servicios financieros.					
6	La segmentación de red (VLANs) considerada en el diseño es coherente con las políticas de seguridad de la institución.					
7	El ancho de banda proyectado en el diseño XG-PON cubre satisfactoriamente los picos de tráfico transaccional observados.					
CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS						
8	La información técnica proporcionada durante las visitas de campo fue plasmada con precisión en la documentación del proyecto.					
9	Los datos sobre el estado de la postería eléctrica (ENSA) utilizados en el plano son verídicos y actuales.					
10	Las especificaciones técnicas de los equipos propuestos (OLT/ONT) son compatibles con los estándares de interoperabilidad de la entidad.					

Evidencia de la encuesta

Anexo 03: Cuestionario – (Verificación técnica recolectada)

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA						
Dirigido a:		Ana Quiroz				
Área		Soporte TI	Fecha: 29/01/26			
Instrucciones:		Marque con una "X" el nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones, considerando que:				
1 = Totalmente desacuerdo	2 = En desacuerdo	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4 = De acuerdo	5 = Totalmente de acuerdo		
VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)						
N°	Enunciado	Alternativas (Siglas)				
		1	2	3	4	5
1	La ubicación de los puntos de red actuales en los planos presentados coincide con la distribución física real en las oficinas.					X
2	El diagrama de canalizaciones refleja correctamente el recorrido de las tuberías y ductos existentes en la entidad.					X
3	La ubicación propuesta para el Rack/Gabinete de comunicaciones cumple con las condiciones de espacio y ventilación observadas en campo.				X	
4	Los planos de la red externa identifican correctamente la postería y los puntos de acceso (NAP) más cercanos a la entidad.					X
VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)						
5	La topología estrella propuesta se adapta a la jerarquía de red que la entidad maneja actualmente para sus servicios financieros.				X	
6	La segmentación de red (VLANs) considerada en el diseño es coherente con las políticas de seguridad de la institución.				X	
7	El ancho de banda proyectado en el diseño XG-PON cubre satisfactoriamente los picos de tráfico transaccional observados.					X
CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS						
8	La información técnica proporcionada durante las visitas de campo fue plasmada con precisión en la documentación del proyecto.					X
9	Los datos sobre el estado de la postería eléctrica (ENSA) utilizados en el plano son verídicos y actuales.				X	
10	Las especificaciones técnicas de los equipos propuestos (OLT/ONT) son compatibles con los estándares de interoperabilidad de la entidad.					X

Anexo 03: Cuestionario – (Verificación técnica recolectada)

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA						
Dirigido a:		CARLOS OTOYA				
Área		SOPORTE TI	Fecha:		19/01/26	
Instrucciones:		Marque con una "X" el nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones, considerando que:				
1 = Totalmente desacuerdo	2 = En desacuerdo	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4 = De acuerdo	5 = Totalmente de acuerdo		
VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)						
N°	Enunciado	Alternativas (Siglas)				
		1	2	3	4	5
1	La ubicación de los puntos de red actuales en los planos presentados coincide con la distribución física real en las oficinas.					X
2	El diagrama de canalizaciones refleja correctamente el recorrido de las tuberías y ductos existentes en la entidad.				X	
3	La ubicación propuesta para el Rack/Gabinete de comunicaciones cumple con las condiciones de espacio y ventilación observadas en campo.				X	
4	Los planos de la red externa identifican correctamente la postería y los puntos de acceso (NAP) más cercanos a la entidad.				X	
VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)						
5	La topología estrella propuesta se adapta a la jerarquía de red que la entidad maneja actualmente para sus servicios financieros.					X
6	La segmentación de red (VLANs) considerada en el diseño es coherente con las políticas de seguridad de la institución.				X	
7	El ancho de banda proyectado en el diseño XG-PON cubre satisfactoriamente los picos de tráfico transaccional observados.				X	
CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS						
8	La información técnica proporcionada durante las visitas de campo fue plasmada con precisión en la documentación del proyecto.				X	
9	Los datos sobre el estado de la postería eléctrica (ENSA) utilizados en el plano son verídicos y actuales.				X	
10	Las especificaciones técnicas de los equipos propuestos (OLT/ONT) son compatibles con los estándares de interoperabilidad de la entidad.					X

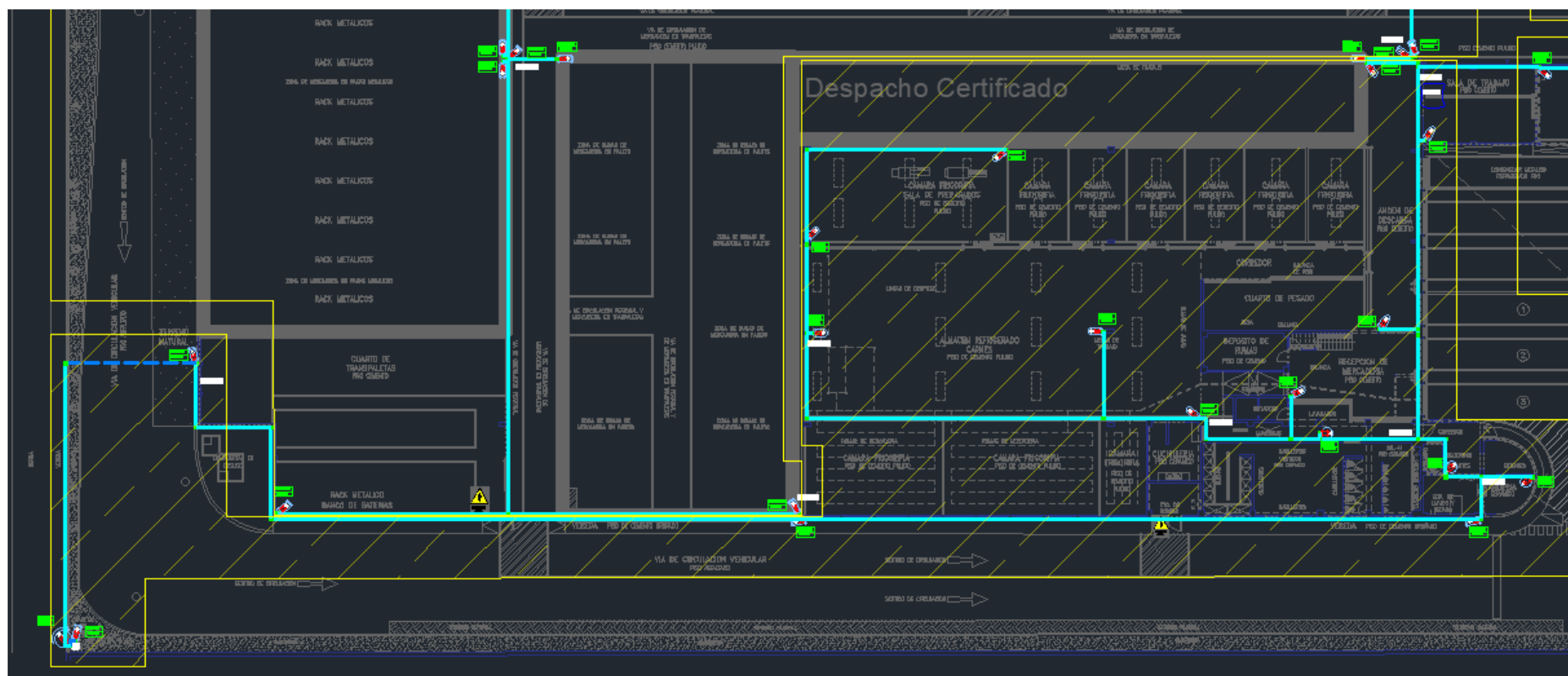
Anexo 03: Cuestionario – (Verificación técnica recolectada)

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA						
Dirigido a:		Karla Vega				
Área		ventanillas / caso	Fecha:		20 / 01 / 26	
Instrucciones:		Marque con una "X" el nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones, considerando que:				
1 = Totalmente desacuerdo	2 = En desacuerdo	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4 = De acuerdo	5 = Totalmente de acuerdo		
VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)						
N°	Enunciado	Alternativas (Siglas)				
		1	2	3	4	5
1	La ubicación de los puntos de red actuales en los planos presentados coincide con la distribución física real en las oficinas.				X	
2	El diagrama de canalizaciones refleja correctamente el recorrido de las tuberías y ductos existentes en la entidad.				X	
3	La ubicación propuesta para el Rack/Gabinete de comunicaciones cumple con las condiciones de espacio y ventilación observadas en campo.					X
4	Los planos de la red externa identifican correctamente la postería y los puntos de acceso (NAP) más cercanos a la entidad.				X	
VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)						
5	La topología estrella propuesta se adapta a la jerarquía de red que la entidad maneja actualmente para sus servicios financieros.				X	
6	La segmentación de red (VLANs) considerada en el diseño es coherente con las políticas de seguridad de la institución.				X	
7	El ancho de banda proyectado en el diseño XG-PON cubre satisfactoriamente los picos de tráfico transaccional observados.					X
CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS						
8	La información técnica proporcionada durante las visitas de campo fue plasmada con precisión en la documentación del proyecto.				X	
9	Los datos sobre el estado de la postería eléctrica (ENSA) utilizados en el plano son verídicos y actuales.				X	
10	Las especificaciones técnicas de los equipos propuestos (OLT/ONT) son compatibles con los estándares de interoperabilidad de la entidad.					X

Anexo 03: Cuestionario – (Verificación técnica recolectada)

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA						
Dirigido a:		FRANCISCO GUEVARA				
Área		ATENCIÓN	Fecha:	19/01/26		
Instrucciones:		Marque con una "X" el nivel de acuerdo con las siguientes afirmaciones, considerando que:				
1 = Totalmente desacuerdo	2 = En desacuerdo	3 = Ni de acuerdo ni en desacuerdo	4 = De acuerdo	5 = Totalmente de acuerdo		
VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)						
N°	Enunciado	Alternativas (Siglas)				
		1	2	3	4	5
1	La ubicación de los puntos de red actuales en los planos presentados coincide con la distribución física real en las oficinas.					X
2	El diagrama de canalizaciones refleja correctamente el recorrido de las tuberías y ductos existentes en la entidad.					X
3	La ubicación propuesta para el Rack/Gabinete de comunicaciones cumple con las condiciones de espacio y ventilación observadas en campo.					X
4	Los planos de la red externa identifican correctamente la postería y los puntos de acceso (NAP) más cercanos a la entidad.				X	
VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)						
5	La topología estrella propuesta se adapta a la jerarquía de red que la entidad maneja actualmente para sus servicios financieros.					X
6	La segmentación de red (VLANs) considerada en el diseño es coherente con las políticas de seguridad de la institución.					X
7	El ancho de banda proyectado en el diseño XG-PON cubre satisfactoriamente los picos de tráfico transaccional observados.				X	
CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS						
8	La información técnica proporcionada durante las visitas de campo fue plasmada con precisión en la documentación del proyecto.					X
9	Los datos sobre el estado de la postería eléctrica (ENSA) utilizados en el plano son verídicos y actuales.					X
10	Las especificaciones técnicas de los equipos propuestos (OLT/ONT) son compatibles con los estándares de interoperabilidad de la entidad.				X	

6. Tendido de fibra óptica.



7. Fotos de campo de la red XG-PON en Cayaltí.

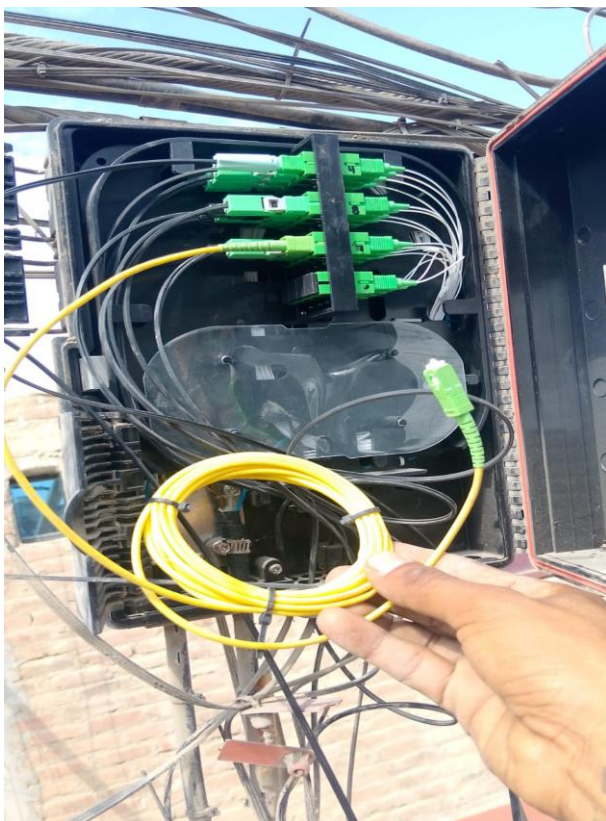
Cable de fibra óptica



Tendido de cableado de fibra óptica



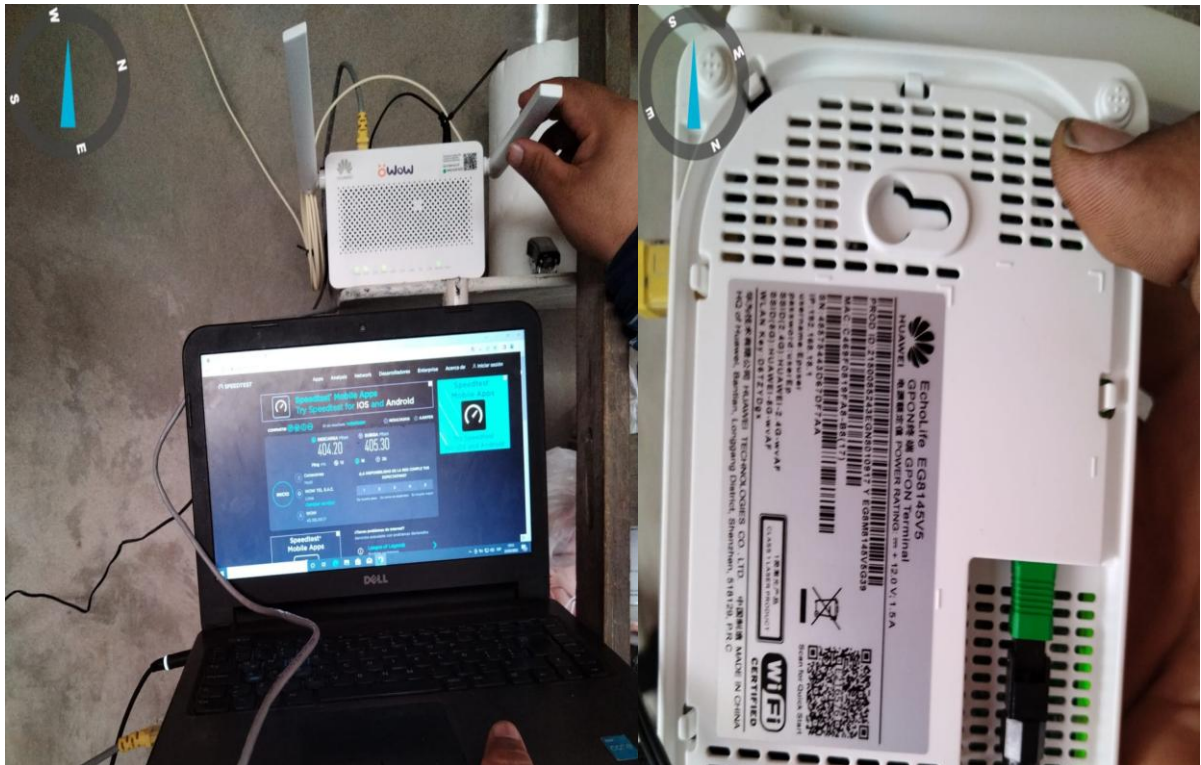
Fibra óptica y splitter



Tendido interno con la conectividad



Testeo de la banda ancha



Clasificación de la validación de la red.

CUESTIONARIO DE INFRAESTRUCTURA Y TOPOLOGÍA											
	VERACIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA (PLANOS)				VALIDACIÓN DE LA TOPOLOGÍA LÓGICA (CONECTIVIDAD)			CONFIABILIDAD DE LA FUENTE DE DATOS			
	ENCUESTA	PREG. 1	PREG. 2	PREG. 3	PREG. 4	PREG. 5	PREG. 6	PREG. 7	PREG. 8	PREG. 9	PREG. 10
Ana	1	5	5	4	5	4	4	5	5	4	5
Carlos	2	5	4	4	4	5	4	4	4	4	5
Karla	3	4	4	5	4	4	4	5	4	4	5
Francisco	4	5	5	5	4	5	5	4	5	5	4