



**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN
TELECOMUNICACIONES**

TESIS

**Para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico con
Mención en Telecomunicaciones**

Diseño de una red FTTH con tecnología GPON para mejorar
el servicio de telecomunicaciones en la ciudad de
Huancabamba

PRESENTADO POR

Torres Gutierrez, Jean Pierre Jorge

ASESOR

Aguirre León, Miguel Angel
0000-0003-2617-2671

Lima, Perú, 2025

INFORME DE ORIGINALIDAD ANTIPLAGIO TURNITIN

Mediante la presente, Yo:

1. Nombres y Apellidos: JEAN PIERRE JORGE TORRES GUTIERREZ con DNI 75431568

Somos egresados de la Escuela Profesional de __INGENIERÍA ELECTRÓNICA CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES__ del año 2019 – II, y habiendo realizado la¹ _TESIS_ para optar el Título Profesional de ² __INGENIERO ELECTRÓNICO CON MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES__, se deja constancia que el trabajo de investigación fue sometido a la evaluación del Sistema Antiplagio Turnitin el _16_ de __AGOSTO__ de 2025_, el cual ha generado el siguiente porcentaje de similitud de ³: 16% (dieciséis por ciento)

En señal de conformidad con lo declarado, firmo el presente documento a los 19 días del mes de Septiembre del año 2025_.



Egresado 1

Egresado 2

Egresado 3



Mg. Miguel Ángel Aguirre León
DNI: 48999226

¹ Especificar qué tipo de trabajo es: tesis (para optar el título), artículo (para optar el bachiller), etc.

² Indicar el título o grado académico: Licenciado o Bachiller en (Enfermería, Psicología ...), Abogado, Ingeniero Ambiental, Químico Farmacéutico, Ingeniero Industrial, Contador Público ...

³ Se emite la presente declaración en virtud de lo dispuesto en el artículo 8°, numeral 8.2, tercer párrafo, del Reglamento del Registro Nacional de Trabajos conducentes a Grados y Títulos – RENATI, aprobado mediante Resolución de Consejo Directivo N° 033-2016-SUNEDU/CD, modificado por Resolución de Consejo Directivo N° 174-2019-SUNEDU/CD y Resolución de Consejo Directivo N° 084-2022-SUNEDU/CD.

INFORME DE ORIGINALIDAD

16%

INDICE DE SIMILITUD

15%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

7%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

repositorio.uch.edu.pe

Fuente de Internet

2%

2

hdl.handle.net

Fuente de Internet

1%

3

www.coursehero.com

Fuente de Internet

1%

4

blog.internexa.com

Fuente de Internet

1%

5

repositorio.utp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

Submitted to Universidad San Ignacio de
Loyola

Trabajo del estudiante

<1%

7

repositorio.ug.edu.ec

Fuente de Internet

<1%

8

www.slideshare.net

Fuente de Internet

<1%

9

disete.com

Fuente de Internet

<1%

10

repositorioinstitucional.ufpso.edu.co

Fuente de Internet

<1%

11

repositorio.unp.edu.pe

Fuente de Internet

<1%

RESUMEN

El proyecto de sustentación de tesis tiene como finalidad elaborar el diseño de una red de banda ancha de última generación, basada en una infraestructura de transporte mediante fibra óptica y tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), este desarrollo está orientado a optimizar la calidad del servicio y garantizar velocidades de transmisión significativamente superiores en la localidad y las entidades públicas del distrito de Huancabamba.

Las nuevas arquitecturas de comunicación que emplean fibra óptica ofrecen ventajas sustanciales frente a las tecnologías convencionales, basadas en medios metálicos, por ejemplo, coaxial o hilo trenzado, dentro de sus principales atributos destacan alta eficiencia de transmisión, mínima degradación de señal y blindaje contra interferencias electromagnéticas y estabilidad ante variaciones de distancia, lo que las posiciona como la solución más eficiente y escalable para cubrir las crecientes demandas de conectividad.

A diferencia de los sistemas tradicionales, cuyo rendimiento disminuye conforme aumenta la distancia, la fibra óptica mantiene una tasa de transferencia de datos elevada y estable, es por ello que esta investigación se centra en la caracterización técnica y el desarrollo de un sistema basado en fibra óptica que proporcione conectividad robusta, segura y de alta velocidad en Huancabamba, beneficiando directamente a instituciones clave como centros educativos, organismos municipales, comisarías y hogares de la zona. El proyecto plantea una arquitectura abierta de diseño de red, para ser implementada por cualquier operador autorizado, permitiendo un 36% de cobertura en el distrito, ya que esta solución orientada a mejorar la equidad en el acceso a las tecnologías de información en la región, fomentar la inclusión tecnológica y fortalecer el acceso a servicios digitales de calidad.

Palabras claves: GPON, fibra óptica, tecnología, banda ancha, Huancabamba.

ABSTRACT

The objective of this research project is to design a next-generation broadband network based on a fiber-optic transport infrastructure using GPON (Gigabit Passive Optical Network) technology. This development is aimed at optimizing service quality and ensuring significantly higher transmission speeds for the local population and public entities in the district of Huancabamba.

New communication architectures based on fiber optics offer substantial advantages over conventional technologies that rely on metallic media such as coaxial cable or twisted pair. Among their main attributes are high transmission capacity, low attenuation, immunity to electromagnetic interference, and stability over long distances—making them the most efficient and scalable solution to meet the growing demand for connectivity.

Unlike traditional systems, whose performance decreases as distance increases, fiber optics maintain a high and stable data transfer rate. For this reason, this research focuses on the technical characterization and design of a fiber-optic network that provides robust, secure, and high-speed connectivity in Huancabamba. It is intended to directly benefit key institutions such as educational centers, municipal organizations, police stations, and local households.

The project proposes an open network design architecture that can be implemented by any authorized operator, allowing for 36% coverage in the district. This solution aims to reduce the digital divide in the region, promote technological inclusion, and strengthen access to high-quality digital services.

Keywords: GPON, fiber optics, technology, broadband, Huancabamba.

ÍNDICE

INTRODUCCION	11
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	12
1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA.....	13
1.1.1 Planteamiento y descripción del problema	13
1.1.2 Formulación del problema general.	14
1.1.3 Formulación de los problemas específicos	14
1.2 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.2.1 Objetivo general	15
1.2.2 Objetivo Específico	15
1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN	15
1.3.1 Justificación técnica	15
1.3.2 Justificación económica	16
1.3.3 Justificación social	17
1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	17
1.4.1 Alcances.....	17
1.4.2 Limitaciones.....	18
CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO	19
2.1 ANTECEDENTES	20
2.1.1 Internacional	20
2.1.2 Nacionales.....	21
2.2 MARCO TEÓRICO	24
2.2.1 FIBRA ÓPTICA	24
2.2.1.1 Fibra Óptica Monomodo.....	26
2.2.1.2 Fibra Óptica Multimodo.....	27
2.2.2 DISPERSIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA	28
2.2.2.1 Dispersión Modal.....	28
2.2.2.2 Dispersión Cromática.....	29
2.2.2.3 Dispersión por modo de polarización	30
2.2.3 BASE TEÓRICA O TEORÍA SUSTANTIVA.....	30
2.2.3.1 Evolución de cobertura de servicio fijo en el Perú	30
2.2.3.2 Cobertura de calidad de servicios fijos en el Perú	33
2.2.3.3 Banda Ancha Fija.....	34

2.2.4	TECNOLOGÍAS DE SERVICIO FIJO HOGAR	35
2.2.4.1	Digital Subscriber Line (DSL)	35
2.2.4.2	High data Rate digital subscriber Line (HDSL).....	36
2.2.4.3	Symetric digital subscriber Line (SDSL).....	36
2.2.4.4	Asymmetric digital subscriber Line (ADSL)	36
2.2.4.5	Very high-data-rate Digital Subscriber Line (VDSL).....	37
2.2.4.6	Hybrid Fiber to Coaxial (HFC)	38
2.2.4.7	Fiber To The Home (FTTH)	38
2.2.5	TRASMISIÓN DE DATOS.....	38
2.2.5.1	Velocidad de bits	38
2.2.5.1.1	Tasa de Bits Variable (VBR)	39
2.2.5.1.2	Tasa de Bits Constante (CBR)	39
2.2.5.2	Tráfico de bits	40
2.2.6	CONCEPTOS GENERALES DE RED FTTH	41
2.2.6.1	Arquitectura FTTX	42
2.2.6.1.1	Fiber to the node (FTTN)	43
2.2.6.1.2	Fiber to the Cabinet (FTTC).....	43
2.2.6.1.3	Fiber to the building (FTTB)	44
2.2.6.1.4	Fiber to the Antena (FTTA).....	45
2.2.6.1.5	Fiber to the Home (FTTH)	45
2.2.7	COMPONENTES DE LA RED GPON	46
2.2.7.1	Optical Line Termination (OLT)	47
2.2.7.2	Red Feeder	47
2.2.7.3	Armario de GPON	47
2.2.7.4	Divisor Óptico	48
2.2.7.5	Caja Terminal Óptica (CTO)	48
2.2.7.6	Red de dispersión.....	48
2.2.7.7	Roseta óptica	48
2.2.7.8	Óptical Network Terminal (ONT).....	49
2.2.8	ESTANDARES DE REDES XPON.....	49
2.2.8.1	Diseño APON (ITU-T G.983)	50
2.2.8.2	Diseño BPON (ITU-T G.983)	50
2.2.8.3	Diseño EPON (IEEE 802.3)	51
2.2.8.4	Diseño GPON (ITU-T G.984)	52
2.2.9	ENLACE ÓPTICO	52
2.2.9.1	Perdida de potencia.....	52

2.2.9.2 Presupuesto óptico	54
2.2.10 SOFTWARE	55
2.2.10.1 Autocad	55
2.2.10.2 Google Earth Pro	55
2.2.10.3 Optisystem	56
2.2.11 FACTORES ÓPTICOS	57
2.2.11.1 Pulso óptico	57
A. Ensanchamiento de pulsos gaussianos en el régimen lineal...	57
B. Propagación de pulsos gaussianos en régimen no lineal	58
2.2.11.2 Análisis de espectro	59
2.2.11.3 Grafica de BER.....	60
2.3 MARCO METODOLÓGICO	61
2.3.1 Tipo de investigación	61
2.3.2 Metodología de investigación	61
2.4 MARCO LEGAL	63
2.4.1 Constitución política del Perú	63
2.4.2 Leyes y decretos.....	65
2.4.3 Estándares de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) en redes GPON y FTTH.	67
2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES O ARQUITECTURA DEL SISTEMA	68
2.5.1 Descripción del Diagrama de Flujo	69
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN	71
3.1 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 1: ANALIZAR EL CONTEXTO ACTUAL DE LOS SERVICIOS FIJOS DEL DISTRITO DE HUANCABAMBA.....	72
3.1.1 Actualidad de tecnología HFC en el Perú	73
3.1.2 Actualidad de tecnología FTTH en Perú	74
3.1.3 Análisis de acceso a internet fijo en Huancabamba	75
3.1.3.1 Telefonía fija	77
3.1.3.2 Internet Fijo	77
3.1.3.3 Televisión por cable y satélite	78
3.1.3.4 Internet Satelital.....	78
3.1.4 Encuesta de satisfacción de los pobladores de Huancabamba	81
3.2 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 2: DISEÑAR LA ARQUITECTURA DE RED FTTH Y LA CORRECTA UBICACIÓN DE ELEMENTOS ÓPTICOS PARA SU DESPLIEGUE.	84

3.2.1 Diseño en Google Earth Pro	84
3.2.2 Huella del distrito y sectorización	85
3.2.2.1 Huella del sector 1	86
3.2.2.2 Distribución de elementos pasivos del sector 1	86
3.2.2.3 Huella del sector 2	87
3.2.2.4 Distribución de elementos pasivos del sector 2	88
3.2.2.5 Huella del sector 3	88
3.2.2.6 Distribución de elementos pasivos del sector 3	89
3.2.3 Simulación en Autocad 2021	90
3.2.3.1 Diseño final de red del sector 1	90
3.2.3.2 Elaboración de diagrama de empalme 1	91
3.2.3.3 Diseño final de red del sector 2	92
3.2.3.4 Elaboración de diagrama de empalme 1	92
3.2.3.5 Diseño final de red del sector 3	93
3.2.3.6 Elaboración de diagrama de empalme 3	94
3.2.4 Mapa de calor de cobertura	96
3.2.4.1 Elaboración de diseño en QGIS	96
3.2.4.2 Elaboración de mapa de cobertura	97
3.3 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 3: SELECCIONAR LOS EQUIPOS Y ELEMENTOS DE RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON CON CARACTERÍSTICAS ADECUADAS PARA LA ZONA RURAL DE HUANCABAMBA.	98
3.3.1 Optical Line Terminal (OLT)	98
3.3.1.1 Arquitectura del Hardware	100
3.3.1.2 Tecnologías de Acceso	100
3.3.1.3 Estabilidad y flexibilidad	101
3.3.1.4 Reducción de latencia y alta velocidad	101
3.3.1.5 Rendimiento energético y eficiencia	101
3.3.2 Módulo Transceiver o Small Form-factor Pluggable (SFP)	102
3.3.2.1 Tipo de transmisión y velocidad	103
3.3.2.2 Tipo de transmisión y velocidad	103
3.3.2.3 Conector y formato	104
3.3.2.4 Compatibilidad y Flexibilidad	104
3.3.2.5 Fiabilidad y protección	105
3.3.2.6 Mantenimiento y actualización	105
3.3.3 Bandeja Optical Distribution Frame (ODF)	106

3.3.3.1 Diseño.....	107
3.3.3.2 Capacidad de conexión.....	107
3.3.3.3 Material	108
3.3.3.4 Gestión de cables	108
3.3.3.5 Gestión de cables	108
3.3.4 Patch Core de conexión LC/SC	108
3.3.4.1 Conectores LC y SC	108
3.3.4.2 Fiabilidad	109
3.3.4.3 Fiabilidad	109
3.3.5 Fibra ADSS de 96 hilos.....	109
3.3.5.1 Composición	110
3.3.5.2 Tipo de Fibra	110
3.3.5.3 Compatibilidad	111
3.3.5.4 Resistencia y durabilidad.....	111
3.3.6 Fibra ADSS de 48 hilos.....	112
3.3.6.1 Composición	112
3.3.6.2 Tipo de Fibra	112
3.3.6.3 Cumplimiento de estándares	113
3.3.6.4 Resistencia y durabilidad.....	113
3.3.6.5 Aplicaciones.....	113
3.3.7 Caja de empalme mecánico tipo Domo de 96 hilos	113
3.3.7.1 Materiales de fabricación	114
3.3.7.2 Protección y seguridad	114
3.3.7.3 Instalación y mantenimiento	115
3.3.7.4 Temperatura	115
3.3.7.5 Aplicaciones.....	115
3.3.8 Caja terminal óptica (CTO).....	116
3.3.8.1 Capacidad de conexión.....	116
3.3.8.2 Diseño.....	116
3.3.8.3 Flexibilidad	116
3.3.8.4 Mantenimiento	116
3.3.9 Optical Network Terminal (ONT).....	117
3.3.9.1 Tecnología compatible	118
3.3.9.2 Puerto de red.....	118
3.3.9.3 Puerto VoIP	119
3.3.9.4 Bandas integradas.....	119

3.3.9.5 Rendimiento	119
3.3.9.6 Interfaz de configuración	119
3.3.9.7 Consumo eléctrico	119
3.4 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 4: VALIDAR Y SIMULAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ENLACE OPTICO DISEÑADO PARA LA ZONA RURAL DE HUANCABAMBA	120
3.4.1 SIMULACIÓN DEL SECTOR 1	122
3.4.1.1 Resultados de Pulso de transmisión	122
3.4.1.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia.....	124
3.4.1.3 Factor Q y analizador BER.....	125
3.4.2 SIMULACIÓN DEL SECTOR 2	126
3.4.2.1 Resultados de Pulso de transmisión	126
3.4.2.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia.....	127
3.4.2.3 Factor Q y analizador BER.....	128
3.4.3 SIMULACIÓN DEL SECTOR 3	130
3.4.3.1 Resultados de Pulso de transmisión	130
3.4.3.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia.....	131
3.4.3.3 Factor Q y analizador BER.....	132
3.4.4 VALIDACION DE RESULTADOS	133
3.4.4.1 Evaluación de equipos y simulación de red FTTH.....	133
3.4.4.2 Evaluación de diseño de red FTTH	134
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO	136
4.1 ANÁLISIS DE COSTOS	137
4.1.1 Recursos humanos	137
4.1.2 Software	137
4.1.3 Materiales externos.....	138
4.1.4 Materiales internos.....	138
4.1.5 Elementos de medición.....	139
4.1.6 Costos adicionales.....	139
4.1.7 Costos total	140
4.2 ANÁLISIS DE BENEFICIOS	140
4.2.1 Beneficios tangibles	140
4.2.3 Análisis de costo/beneficio.....	141
4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD	142
4.3.1 Desarrollo de flujo de caja	142

4.3.2 Análisis de VAN	142
4.3.3 Análisis de TIR	143
CONCLUSIONES	145
RECOMENDACIONES.....	146
REFERENCIAS	147

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Espectro longitud de onda de Fibra Óptica.....	25
Figura 2	Estructura fibra óptica.....	26
Figura 3	Características fibra monomodo.....	27
Figura 4	Características fibra multimodo	28
Figura 5	Dispersión modal.....	29
Figura 6	Dispersión cromática	29
Figura 7	Características dispersión por modo de polarización.....	30
Figura 8	Evolución participación de acceso a internet fijo	31
Figura 9	Tecnología en internet fijo en el Perú desde el 2004 al 2024.....	32
Figura 10	Hogares que acceden a internet fijo por zona urbana y rural del 2021 al 2022	33
Figura 11	Indicadores CV y TEMT del segundo trimestre del 2024.....	34
Figura 12	Servicios de internet fijo 2024.....	35
Figura 13	Familia XDSL.....	37
Figura 14	Transferencia de bits.....	39
Figura 15	Tráfico bajada y subida de datos	40
Figura 16	Estructura FTTH con tecnología GPON.....	41
Figura 17	Arquitectura FTTX.....	42
Figura 18	Arquitectura de red FTTN (Fiber to the node).	43
Figura 19	Arquitectura FTTC (Fiber to the Cabinet).	44
Figura 20	Arquitectura de red FTTB (Fiber to the Building).....	44
Figura 21	Arquitectura de red FTTA (Fiber to the Antena)	45
Figura 22	Arquitectura de red FTTH (Fiber to the Home)	46
Figura 23	Arquitectura de GPON (Gigabit Passive Optical Network)	47
Figura 24	Velocidad tecnología XPON.....	49
Figura 25	Arquitectura APON	50
Figura 26	Arquitectura de la tecnología BPON.....	51
Figura 27	Arquitectura de la tecnología EPON	51
Figura 28	Arquitectura de la tecnología GPON	52
Figura 29	Perdida de potencia óptica a través del enlace	53
Figura 30	Estructura FTTH.....	54
Figura 31	Software AutoCAD 2021.....	55
Figura 32	Google Earth Pro	56
Figura 33	Simulador de red Optisystem.....	56
Figura 34	Ensanchamiento de pulso gaussiano en régimen lineal	58
Figura 35	Propagación de pulso gaussiano en régimen no lineal	59
Figura 36	Análisis de espectro óptico mediante el osciloscopio	60
Figura 37	Gráfica del diagrama de BER	61
Figura 38	Diagrama de bloques diseño de red FTTH.....	69
Figura 39	Inversión en infraestructura del Perú.....	72
Figura 40	Participación del acceso a internet desde el 2016 al 2023	74
Figura 41	Clientes por empresa a nivel nacional.....	75
Figura 42	Servicios fijos en Huancabamba 2024	76

Figura 43	Acceso en internet según la geografía del Perú	80
Figura 44	Servicios fijos que cuentan actualmente en su vivienda	81
Figura 45	Conexión que utiliza para acceder a internet	82
Figura 46	Que tan frecuente son las interrupciones o fallas en el servicio de internet.....	82
Figura 47	Considera que el servicio que recibe es suficiente para sus necesidades.....	83
Figura 48	Cree que es necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en su comunidad.....	83
Figura 49	Huella cobertura de red FTTH en el distrito de Huancabamba	85
Figura 50	Huella de cobertura del sector 1	86
Figura 51	Huella de distribución de elementos pasivos del sector 1	87
Figura 52	Huella de cobertura del sector 2.....	87
Figura 53	Huella de distribución de elementos pasivos del sector 2.....	88
Figura 54	Huella de cobertura del sector 3	89
Figura 55	Huella de distribución de elementos pasivos del sector 3.....	89
Figura 56	Diseño final del sector 1 en plano As-built.....	90
Figura 57	Diseño final del sector 2 en plano As-Built	92
Figura 58	Diseño final del sector 3 en plano As-built.....	94
Figura 59	Diseño en QGIS de los sectores del distrito de Huancabamba	96
Figura 60	Mapa calor y cobertura del distrito Huancabamba	97
Figura 61	Equipos OLT MA5800-X15 y MA5800-X7	99
Figura 62	Arquitectura OLT MA5800.....	100
Figura 63	Cabecera principal OLT modelo MA5800-X15	102
Figura 64	Comparativa SFP o transceiver ópticos	103
Figura 65	Módulo óptico o transceiver (SFP) clase C++	106
Figura 66	Bandeja ODF con entrada LC.....	107
Figura 67	Patch Core 15M tipo SC/LC (UPC).....	109
Figura 68	Fibra óptica ADSS 96 hilos	110
Figura 69	Especificaciones técnicas de la fibra óptica ADSS 96 hilos	111
Figura 70	Fibra ADSS de 48 hilos.....	112
Figura 71	Características técnicas caja empalme tipo domo mecánico	114
Figura 72	Caja empalme tipo domo mecánico 96 hilos.....	115
Figura 73	Caja terminal óptica 16 puertos con splitter interno	117
Figura 74	Equipo ONT Huawei EG8145X6-10	118
Figura 75	Arquitectura interna red FTTH	120
Figura 76	Pulso óptico de transmisión del sector 1	123
Figura 77	Valores potencia óptica en CTO y ONT del sector 1	124
Figura 78	Espectro óptico de red del sector 1	125
Figura 79	Gráfica BER del sector 1	126
Figura 80	Pulso óptico transmisión del sector 2	127
Figura 81	Potencia óptica en CTO y ONT del sector 2	128
Figura 82	Espectro óptico del sector 2.....	129
Figura 83	Gráfica BER del sector 2	129
Figura 84	Pulso óptico transmisión del sector 3	130

Figura 85	Potencia óptica en CTO y ONT del sector 3	131
Figura 86	Espectro óptico red del sector 3	132
Figura 87	Gráfica BER del sector 3	133
Figura 88	Constancia validación de experto de equipos y simulación.....	134
Figura 89	Constancia validación de experto de Diseño	135

TABLAS

Tabla 1	Índice de cobertura del distrito de Huancabamba.....	85
Tabla 2	Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 1	91
Tabla 3	Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 2	93
Tabla 4	Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 3	95
Tabla 5	Perdida por splitter óptico.....	122
Tabla 6	Recursos Humanos.....	137
Tabla 7	Software	137
Tabla 8	Material pasivo	138
Tabla 9	Material activo	138
Tabla 10	Equipos de Medición.....	139
Tabla 11	Adicionales	139
Tabla 12	Costo Total	140
Tabla 13	Utilidad del 20%	140
Tabla 14	Proyección costo de servicio por 12 meses por 5 años en su capacidad máxima.....	141
Tabla 15	Flujo caja por 5 años.....	142

INTRODUCCION

La constante evolución tecnológica en transmisión de datos, voz y video ha incrementado la demanda de redes con mayor capacidad, los nuevos formatos como 4K y 8K, junto con la proliferación de dispositivos inteligentes (tecnología S.M.A.R.T.), requieren infraestructuras robustas y en ese contexto, la fibra óptica se posiciona como la solución más eficiente, ofreciendo velocidades superiores a 1 Gbps y una capacidad de transmisión suficiente para admitir servicios presentes y futuros, si bien existen alternativas como WiMAX, DSL o redes híbridas HFC, estas presentan limitaciones frente a los requerimientos actuales de contenido UHD y servicios triples play.

En Perú, el despliegue de fibra dedicada ha mejorado la conectividad en sectores específicos, aunque su alto costo restringe el acceso masivo, la creciente competencia en telecomunicaciones obliga a los operadores a modernizar sus redes y adoptar tecnologías de alto rendimiento.

Este proyecto propone el diseño de red de fibra óptica con tecnología GPON en el distrito de Huancabamba, Piura, la red cubrirá viviendas, instituciones públicas y espacios comunitarios, garantizando una conexión estable y de alta capacidad, ya que el objetivo es optimizar el acceso a servicios digitales y reducir la brecha tecnológica en zonas alejadas.

A largo plazo, esta infraestructura permitirá impulsar el desarrollo económico local, facilitar la educación digital, potenciar las prestaciones ofrecidas de salud conectados y promover la inclusión digital en zonas rurales, la red trasciende el simple desarrollo tecnológico, ya que también es una herramienta clave para el progreso social y económico del distrito.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO Y FORMULACION DEL PROBLEMA

1.1.1 Planteamiento y descripción del problema

De acuerdo con el informe del Banco Interamericano de Desarrollo en el año 2023, el crecimiento de las redes de fibra óptica hasta el hogar, FTTH (Fiber to the home) en América Latina ha sido notable en los últimos años, es por ello por lo que persiste una marcada diferencia en el caso de ciudades y zonas rurales, por su parte cerca del 78% de los hogares urbanos ya tienen disponibilidad de acceso a esta tecnología, solo el 15% de los hogares rurales están cubiertos de redes fijas, aunque se proyecta que la cobertura rural podría expandirse hasta un 29% en el futuro, sigue siendo significativamente menor al potencial urbano del 93%, tal que cerrar esta brecha requerirá inversiones sostenidas, políticas inclusivas y mayor colaboración entre sectores públicos y privados para llevar servicios digitales a las zonas más alejadas (Latina et al., 2023)

Según la Revista de Ciencias y Tecnología de la Universidad Nacional del Callao del 2024, a pesar de los avances en infraestructura digital, aún persisten marcadas diferencias en el acceso a internet entre zonas urbanas y rurales del Perú, mientras que en las ciudades el acceso supera el 80%, en áreas rurales apenas se alcanza poco más del 50%, limitando así oportunidades esenciales como la educación, salud y empleo, si bien la inversión en fibra óptica y servicios satelitales ha dinamizado la conectividad nacional, especialmente en Lima, donde la competencia ha mejorado la calidad y reducido los costos, se reconoce que falta una mayor inclusión digital en el interior del país (Villegas-Copia et al., 2024).

En base a los datos extraídos por OSIPTEL, donde en el distrito de Huancabamba solo el 15 % de la comunidad puede acceder a internet fijo, mientras que el 25 % utiliza telefonía fija, el 20 % cuenta con televisión por cable o satelital, y apenas un 5 % recurre a soluciones de internet satelital, es por ello por lo que llama la atención que un 35 % de los usuarios aún depende de tecnologías

no consideradas como servicios fijos, lo cual refleja la limitada expansión de infraestructura moderna en esta localidad (PUNKU.OSIPTEL, 2024).

Debido a lo mencionado con la recopilación de información sobre el contexto actual de las telecomunicaciones en las zonas rurales del Perú, se procede a trabajar en el diseño de red FTTH con tecnología Infraestructura de red óptica pasiva con soporte para velocidades gigabit (GPON, Gigabit Passive Optical Network) que permitirá la mejora de servicios fijos de internet en Huancabamba, así con ellos la población podrá tener un mejor alcance de información a nivel general, ya con ello serán beneficiados no solo los abonados que adquieran el servicio, sino también las entidades del sector público ya que con la tecnología GPON se tendrá entrega de datos hasta los 10Gbps.

1.1.2 Formulación del problema general.

¿Cómo el diseño de una red de FTTH con tecnología GPON puede mejorar el servicio de telecomunicaciones en el distrito de Huancabamba?

1.1.3 Formulación de los problemas específicos

PE1. ¿Cuál es la situación actual de los servicios fijos en el distrito Huancabamba?

PE2. ¿De qué manera se puede determinar la adecuada cobertura para el despliegue de red FTTH en Huancabamba?

PE3. ¿Qué elementos tecnológicos activos y pasivos, se deben contemplarse en el diseño de una red de acceso GPON para garantizar eficiencia y adaptabilidad en zonas rurales como Huancabamba?

PE4. ¿Cómo comprobar el correcto funcionamiento del enlace óptico diseñado para la ciudad de Huancabamba?

1.2 DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.2.1 Objetivo general

Diseñar una red FTTH con tecnología GPON para mejorar el servicio de telecomunicaciones en el distrito de Huancabamba.

1.2.2 Objetivo Específico

OE1: Analizar el contexto actual de los servicios fijos del distrito de Huancabamba.

OE2. Diseñar la arquitectura de red FTTH y la correcta ubicación de elementos ópticos para su despliegue.

OE3. Seleccionar los equipos y elementos de Red FTTH con tecnología GPON con características adecuadas para la zona rural de Huancabamba.

OE4. Validar y simular el correcto funcionamiento del enlace óptico diseñado para la zona rural de Huancabamba.

1.3 JUSTIFICACION DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Justificación técnica

Las tecnologías ADSL y HFC han quedado rezagadas frente a las demandas actuales de conectividad, mientras que la tecnología ADSL apenas alcanza velocidades de hasta 20 Mbps y HFC tiene limitaciones de latencia y congestión, actualmente en el distrito de Huancabamba el 10% de la población cuenta con servicios XDSL, 10% cable modem, fibra óptica 22% y otras tecnologías 58% de 2,598 usuarios en el segmento hogar, según datos estadísticos de OSIPTEL, la propuesta de red FTTH con tecnología GPON proporciona velocidades simétricas superiores a 100 Mbps y latencia menor a 10 ms, optimizando el rendimiento de servicios como videoconferencias, plataformas educativas y telemedicina.

GPON, además permite evolucionar hacia XPON con 10 Gbps, sin cambios significativos en la red pasiva (OSIPTEL, 2024a), esto garantiza una propuesta con capacidad de expansión y sustentabilidad para los próximos 20 años.

1.3.2 Justificación económica

Desde el punto de vista económico, la implementación de una red FTTH se plantea como una inversión estratégica con beneficios concretos y sostenibles a mediano y largo plazo, en términos cualitativos esta transición tecnológica mejora notablemente la calidad del servicio ofrecido, disminuye las interrupciones asociadas a infraestructuras tradicionales y contribuye a una mayor satisfacción del usuario, además al tratarse de una tecnología con baja atenuación, alta estabilidad en la transmisión de datos y resistencia frente a interferencias, se prevé una reducción considerable en los gastos de mantenimiento y operación con el paso del tiempo, por lo que el estudio económico proyectado a cinco años revela que el plan demuestra viabilidad económica, puesto que se alcanzó un Valor Actual Neto (VAN) superior a los \$849,000, un indicador de rentabilidad del proyecto (TIR) del 42 % y la reintegración de los recursos invertidos estimada en el tercer año, a pesar de que alrededor del 68 % de los recursos se destinan a la instalación física de la red de fibra óptica, estos esfuerzos se ven compensados por los ingresos previstos y la mejora en la eficiencia de operación (Alfredo Calle Méndez et al., 2015). En síntesis, la puesta en marcha de la red FTTH no solo es técnicamente necesaria, sino también económicamente justificable, ya que mejora la competitividad de las empresas y optimiza sus procesos, asegura un retorno atractivo sobre la inversión.

1.3.3 Justificación social

En la actualidad, las telecomunicaciones en nuestro país no se encuentran tan desarrolladas como en otras naciones de Latinoamérica y es por esto por lo que muchos estados de primer mundo ya cuentan con acceso a banda ancha tanto en hogares, oficinas, centros de salud, comisarías, municipios, entre otros (Naciones Unidas, 2023).

En la reciente ley de reforma constitucional N° 31878 declarada por el gobierno peruano, establece como derecho fundamental a al acceso de libre internet, enfocada en regiones campesinas y autóctonas, lo cual promueve la participación de las empresas públicas y privadas (Soto Reyes, 2023).

El presente trabajo plantea un diseño para el despliegue de una red de fibra óptica en el distrito de Huancabamba, respondiendo a la creciente demanda de mejorar la conectividad, la implementación de esta infraestructura no solo permitiría el acceso a Internet de alta velocidad, sino que también favorecería cambios sociales significativos, optimizaría la seguridad ciudadana y ampliaría las oportunidades en el ámbito de la salud mediante consultas médicas remotas y servicios de asistencia. Asimismo, fortalecería la comunicación entre las entidades locales, como el municipio distrital, centros de salud, instituciones educativas y la Policía Nacional del Perú.

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Alcances

- Analizar las tecnologías de servicio fijo de telecomunicaciones en el distrito de Huancabamba.
- Seleccionar los modelos de equipos que se deben usar en la elaboración de la red FTTH con tecnología GPON.

- Elaborar el diseño de red FTTH con tecnología GPON para el distrito de Huancabamba.
- Proponer la cantidad estimada de abonados que se beneficiarán con el servicio.
- Simular y validar los valores ópticos del enlace.

1.4.2 Limitaciones

- El diseño propuesto se basa en tecnologías actuales y disponibles, por lo que no se analizan escenarios futuros de actualización tecnológica o migración a otras arquitecturas ópticas.
- La tesis se desarrolla a nivel de diseño y simulación, sin considerar la materialización del proyecto" ni la instalación real de la infraestructura.
- Los fenómenos climáticos en la región pueden afectar el desarrollo del esquema de fibra óptica, debido a las inundaciones o deslindes de quebradas por la geografía que cuneta el distrito.
- El estudio no contempla análisis detallado de costos operativos ni de mantenimiento posterior al despliegue de la red, enfocándose únicamente en el diseño inicial.
- Este proyecto se enfoca exclusivamente en el diseño de la red de distribución FTTH con tecnología GPON dentro del distrito de Huancabamba, considerando únicamente el despliegue local de la infraestructura óptica hasta el elemento pasivo final.

CAPITULO II: FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES

2.1.1 Internacional

Morales y Quiña (2020), el marco de su tesis orientada a conseguir el título de ingeniero electrónico, realiza el *“Diseño de la red FTTH del barrio de La León sector Chilibulo para la empresa ARTEKSOLUTION CIA.LTDA.”* en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Quito, Ecuador. En su investigación, analizaron el servicio de internet fijo en el barrio La León, el cual contaba con la empresa CTN que tenía el 48% de abonados con tecnología ADSL, ofreciendo velocidades máximas de 100 Mbps, frente a esta limitación, propusieron implementar tecnología FTTH, que permite alcanzar velocidades entre 1 y 10 Gbp, Para el diseño, emplearon el software Matlab utilizando los algoritmos PRIM y KRUSKAL, y realizaron simulaciones con OptiSystem, obteniendo valores ópticos de -18.84 dBm. Esta tesis demuestra que la migración de redes ADSL a FTTH permite mejorar significativamente la velocidad y estabilidad de los servicios fijos.

Altamar y Puerta (2021) , En el desarrollo de su investigación, con el objetivo de alcanzar el título profesional de Ingeniería Electrónica, en el que desarrolla el *“Diseño de una red de fibra óptica para el suministro de internet hogar en la comunidad de barrios altos de Aeromar – Santa Marta”*. Universidad Cooperativa de Colombia, Santa Marta, Colombia. En este proyecto, los autores realizaron un diseño básico utilizando Google Maps, donde detallan la red desde la OLT hasta las cajas NAPs, incluyendo también el cálculo del costo de inversión y el valor mensual del servicio. La investigación relaciona los equipos tecnológicos vigentes, y demuestra cómo la modernización tecnológica impacta positivamente en la factibilidad monetaria del plan resolviendo además la limitada conectividad de los barrios altos de Aeromar. Esta tesis

demuestra que el diseño de redes FTTH no solo mejora el acceso al servicio de internet, sino que también puede ser planificado con herramientas accesibles y una proyección financiera clara.

Machado (2024) , en su tesis para obtener el título de ingeniero en telecomunicaciones *“Diseño de una red de fibra óptica (FTTH) para evaluar la migración de red de cobre con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta”*. Universidad Nacional de Chimborazo. Ecuador, Riobamba. El autor realizó el diseño utilizando AutoCAD, considerando un sector específico de Cajabamba, y efectuó la simulación en OptiSystem, obteniendo valores de potencia de -26 dBm. Además, analizó variables críticas como el Q-Factor y la tasa de error de bits (BER), los cuales se mantuvieron en rangos aceptables para validar la viabilidad de la migración tecnológica hacia redes 10G-EPON. Esta tesis demuestra que la migración de redes de cobre a tecnologías ópticas avanzadas como 10G-EPON es viable tanto técnica como operativamente, su análisis de parámetros ópticos clave y el uso de herramientas de simulación aportan una base sólida para evaluar el rendimiento de redes FTTH.

2.1.2 Nacionales

Espinoza y Oropeza (2020), en su investigación final para lograr el grado de Ingeniero en Sistemas e Informática *“ Sistema de red WIMAX de Banda Ancha inalámbrica para mejorar los servicios de cobertura en telecomunicaciones, tecnología y redes aplicando la norma IEEE. 802.16 en el distrito de Huancabamba – Oxapampa, 2020”*, Universidad Privada Telesup, Lima, Perú. Concluyen que el servicio de internet podría mejorar utilizando el desarrollo de una red WIMAX, basándose en encuestas realizadas a usuarios locales. El estudio se enfoca principalmente en identificar la

necesidad del suministro de internet en la zona, destacando la baja cobertura existente y el interés por parte de los usuarios. La encuesta fue orientada a un operador nacional de telecomunicaciones. Esta tesis revela la existencia de una necesidad insatisfecha de servicios de internet en Huancabamba, lo cual respalda la necesidad de implementar soluciones tecnológicas, aunque el estudio se centra en redes inalámbricas, su análisis contextual sobre el acceso deficiente y la necesidad percibida por los usuarios.

Idrogo (2021), dentro de su investigación para graduarse como ingeniero electrónico, efectúa el *“Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología gpon para la ciudad de Arequipa”*, Universidad Peruana de Ciencias aplicadas, Lima, Perú. Se establece que, con el fin de proveer un servicio de internet adecuado se debe garantizar un caudal de datos no inferior a 20 Mbps por usuario, incluso en condiciones de alta demanda conectados simultáneamente en un mismo puerto GPON. Además, asegura una estabilidad del 70 % de la velocidad contratada, utilizando transceivers clase B+, los cuales resultan apropiados para la potencia óptica necesaria en la ciudad de Arequipa, y se identificaron niveles de potencia de -13.7 dBm, que podrían representar un riesgo de sobreexposición al receptor óptico debido al alto nivel del haz de luz que alcanza la ONT. Esta tesis demuestra que el uso de tecnología GPON con parámetros técnicos adecuados, como el transceiver clase B+, permite garantizar niveles mínimos de servicio y estabilidad en la conexión, su análisis de potencia también evidencia la importancia de un diseño preciso para evitar sobrecargas ópticas.

Gomez (2022) , en su estudio académico para alcanzar el título de ingeniero informático *“Implementación de una red de fibra óptica para el servicio de internet del centro poblado de*

Hualahoyo”. Universidad Nacional del Centro del Perú. Concluye que la implementación de la red mejoró significativamente el servicio de internet en dicha localidad, logrando alcanzar hasta el 33 % del plan ofrecido en cuanto a velocidades de conexión. En cuanto a la latencia, se obtuvieron valores entre 65 ms y 76 ms. La red fue diseñada siguiendo la metodología PPDIOO, lo que permitió estructurar una solución más robusta y alineada a los requerimientos reales de los usuarios. Además, se identificaron las necesidades técnicas para la implementación de una red FTTH y se capacitó al personal técnico para asegurar una mejor atención y satisfacción del abonado. Esta tesis demuestra que la construcción de una red FTTH basada en metodologías estructuradas como PPDIOO contribuye a elevar el nivel de calidad del servicio, reducir la latencia y aumentar la satisfacción del usuario, además, resalta la importancia de capacitar al personal técnico como parte integral del éxito operativo.

Francisco y Rojas (2022), en su estudio académico conducente a la obtención del grado de Ingeniero de Software *“Arquitectura de una red FTTH con tecnología GPON para habilitar el servicio de internet en el centro poblado de Comatrana, Ica 2022”*. Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú. La caja terminal óptica posee un alcance efectivo de 150 metros hacia el usuario final, con valores ópticos experimentales que resultaron óptimos y alineados con los parámetros teóricos. Además, se destaca la calidad de la construcción de la red desde la OLT hasta la CTO, cumpliendo con los estándares de instalación establecidos, este proyecto tiene como enfoque principal el despliegue de una infraestructura FTTH para elevar la calidad del servicio en la región de Ica. Esta tesis demuestra que una arquitectura FTTH basada en tecnología GPON, cuando es diseñada e

implementada conforme a los estándares internacionales de despliegue e instalación, permite alcanzar niveles ópticos estables y adecuados, asegurando tanto la integridad de la señal como la eficiencia en la distribución del servicio.

Aquino y Loayza (2024) , en el marco de su tesis para alcanzar el título de Ingeniero Electrónico “*Diseño de una red FTTH basado en tecnología GPON para brindar servicio de banda ancha en el distrito de San Pedro, Cusco, 2024*”. Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú. Se concluye que, basado en fundamentos teóricos, fue posible desarrollar la planificación y modelado de una red FTTH, facilitando así futuras etapas de implementación. Además, se propuso un plan de mantenimiento preventivo de los equipos activos cuatro veces al año. Los autores destacan la urgente necesidad del servicio de fibra óptica en zonas rurales, como San Pedro, donde actualmente existen tecnologías obsoletas con costos elevados para el usuario. Esta tesis demuestra que la planificación y simulación previa de redes FTTH en contextos rurales permite anticipar necesidades técnicas y operativas del proyecto, reforzando la viabilidad del despliegue en localidades con infraestructura limitada.

2.2 MARCO TEÓRICO

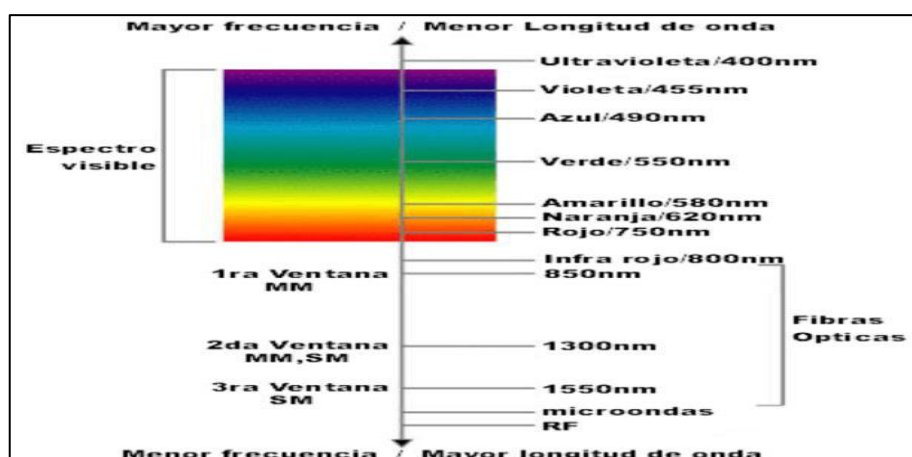
2.2.1 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica juega un papel fundamental en la transmisión moderna de datos, siendo un componente esencial para las redes de comunicación de alta velocidad y se trata de un filamento extremadamente fino, mucho más delgado que un cabello humano, fabricado generalmente de vidrio o silicio, materiales que hacen viable la transferencia eficiente de luz, en este filamento se organiza en una estructura compleja que incluye varias capas, cada una con una función específica. El

núcleo, sección fundamental de la fibra, es el medio por donde viajan los impulsos de luz, mientras que el revestimiento que lo rodea actúa para reflejar y guiar la luz hacia el núcleo evitando que se disperse, además el cable se encuentra protegido por una chaqueta externa que proporciona una capa de protección física, y los tensores, que permiten mantener la fibra tensa y evitar su ruptura durante la instalación y el uso (SUR NOTICIAS, 2024).

La transmisión de información empleando fibra óptica se basa en el envío de pulsos de luz que representan los bits de datos, la intensidad y la frecuencia de estos pulsos determinan el volumen de datos posible de enviar, permitiendo que los datos viajen a velocidades extremadamente altas, a posibilidad de enviar grandes cantidades de datos a largas distancias se atribuye a las características ópticas del medio del vidrio o silicio que componen la fibra. Estos materiales permiten que la luz se propague de eficiente manera por el núcleo de fibra, pero para que la transmisión sea efectiva, es crucial que la luz se refleje de manera adecuada en las paredes internas de la fibra (FIBRAPEDIA, 2025).

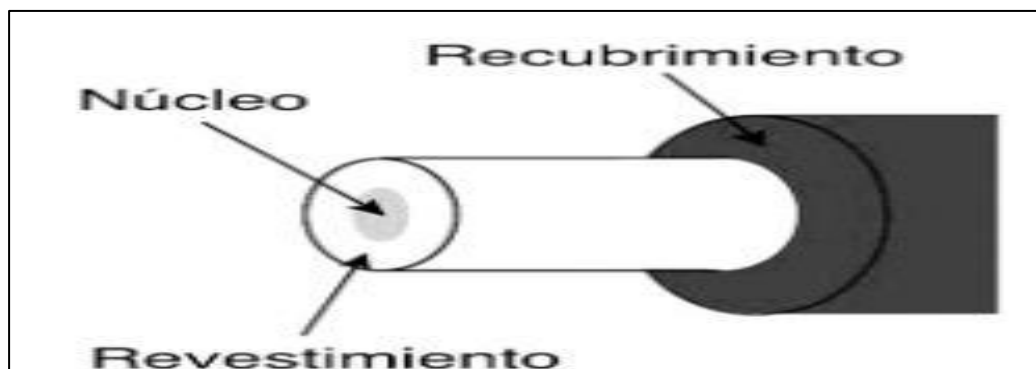
Figura 1
Espectro longitud de onda de Fibra Óptica



Nota. Se muestra el espectro de longitud de onda que se usa para los enlaces ópticos entre la 2da y 3ra ventana óptica, dentro de las cuales las más frecuentes son la 1310nm, 1490nm y 1550nm. Fuente: <https://www.yio.com.ar/fibras-opticas/splitters-fibras-opticas.php>

Este fenómeno de reflexión interna total, que ocurre cuando la luz incide en un ángulo específico en el núcleo de la fibra, permite que los impulsos de luz se desplacen a grandes distancias sin pérdidas significativas. Si el ángulo de incidencia no es el adecuado, en lugar de reflejarse, la luz puede refractarse, lo que resulta en una degradación del nivel de señal y una disminución en la calidad transmitida, este es uno de los desafíos técnicos que deben abordarse al diseñar redes de fibra óptica, ya que las fibras deben estar perfectamente alineadas para garantizar que la señal se mantenga intacta a medida que viaja por la red. (ESTUDYANDO, 2025)

Figura 2
Estructura fibra óptica



Nota. La fibra óptica ha revolucionado las telecomunicaciones, permitiendo internet de elevada velocidad, capaz de manejar grandes cantidades de información y el funcionamiento de servicios como televisión por cable y telefonía móvil; su núcleo central es el conducto principal del haz de luz. Fuente: https://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm

2.2.1.1 Fibra Óptica Monomodo

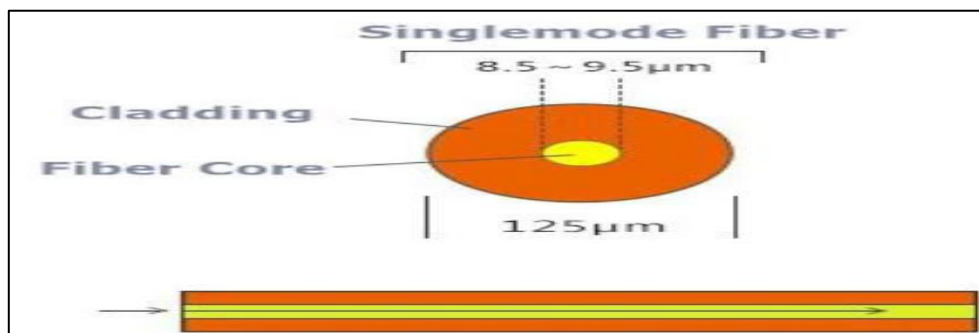
La fibra óptica destaca por la notable capacidad para transmitir grandes volúmenes de información, superando a muchos otros medios de transmisión, en el caso de la fibra monomodo su ancho de banda alcanza valores cercanos a los 100 GHz por

kilómetro, lo que la hace altamente eficiente para la transmisión de datos.(DINTEK, 2024)

La transmisión a través de esta fibra sigue una trayectoria lineal recta, lo que justifica su denominación de monomodo, ya que las fibras monomodo tienen un núcleo que presenta un diámetro comparable al de las señales ópticas que transportan, generalmente en el rango de 8.5 a 9.5 micrómetros, tiene una sola ruta para la propagación de luz y su revestimiento es de 125 micras, esta característica permite que las señales viajen con muy poca dispersión y su capacidad de propagación es considerable, logrando distancias de transmisión que pueden superar los 300 kilómetros sin una pérdida significativa de calidad.(SHELDON, 2021).

Figura 3

Características fibra monomodo



Nota. La estructura interna y de la fibra monomodo en la cual se observa la cubierta protectora y el núcleo principal tiene el rango de 8.5 a 9.5 micrómetros.

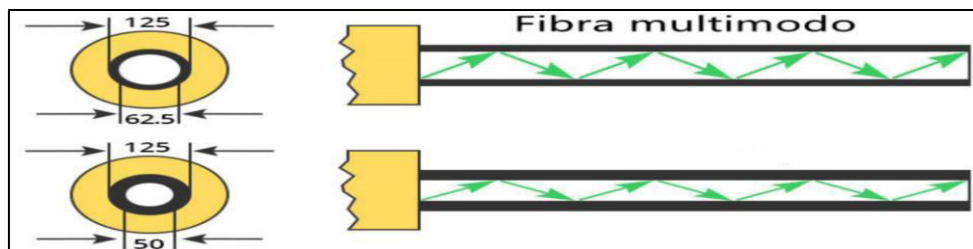
Fuente: <https://www.daytaifibraoptica.com/news/what-is-fiber-singlemode-fiber-and-multimode-f-47875911.html>

2.2.1.2 Fibra Óptica Multimodo

La fibra óptica multimodo constituye un componente esencial en las telecomunicaciones, ya que permite el envío de señales de luz a través de múltiples trayectorias dentro de su núcleo. Este comportamiento la diferencia de la fibra monomodo, la cual dirige la señal por un único recorrido, la fibra singlemode canaliza la luz por un solo trayecto, la fibra multimodo tiene un núcleo mucho más amplio, lo que permite que los pulsos de luz

se desplacen en múltiples trayectorias o modos, este diseño hace que la fibra multimodo sea ideal para distancias más cortas, donde las señales pueden viajar eficientemente sin perder calidad (ISRAEL BERNAL, 2024). El centro de una fibra multimodal típicamente tiene un diámetro que varía entre 50 y 100 micrómetros, lo que facilita la transmisión de diferentes modos de luz sin que se interfieran significativamente entre sí, sin embargo, la fibra multimodo enfrenta un desafío conocido como dispersión modal, donde los diversos modos de luz se desplazan a distintas velocidades ligeramente distintas, lo que puede generar un desenfoque en las señales a largas distancias (DINTEK, 2024).

Figura 4
Características fibra multimodo



Nota. El cable de multimodo cuenta con dos tipos de tamaños de núcleo, los de 62,5 y 50 micras por donde viaja el haz de luz. Fuente: <https://community.fs.com/es/article/advantages-and-disadvantages-of-multimode-fiber.html>

2.2.2 DISPERSIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA

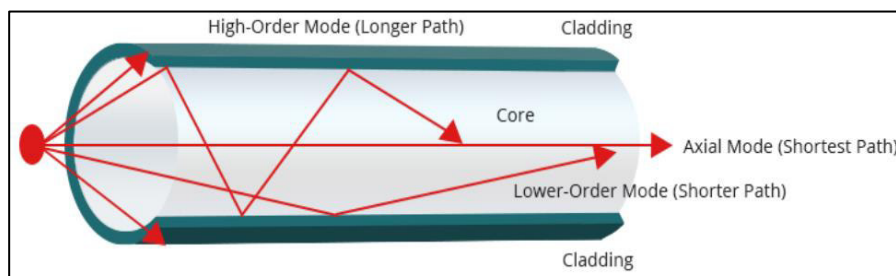
La dispersión se refiere al fenómeno en el que una señal óptica, al propagarse a lo largo de la fibra, tiende a expandirse y perder definición. En general, las fibras ópticas pueden presentar tres tipos principales de dispersión: cromática, modal y por modo de polarización (García Juárez, Arturo García, José Noriega , 2024).

2.2.2.1 Dispersión Modal

Este tipo de dispersión ocurre principalmente en fibras multimodo y otros medios de transmisión óptica. El fenómeno

se produce porque cada modo de propagación viaja a una velocidad diferente, lo que provoca que la señal se expanda en el tiempo. Algunos haces de luz se desplazan de forma directa por el núcleo central de la fibra, mientras que otros siguen trayectorias más largas. (García Juárez, Arturo García, José Noriega , 2024).

Figura 5
Dispersión modal

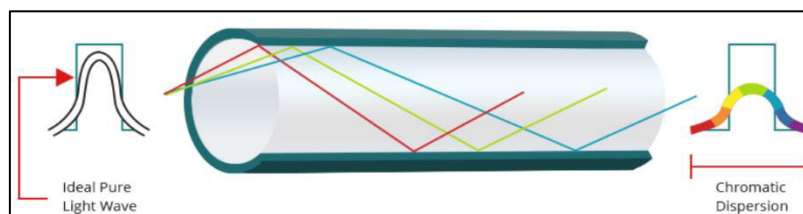


Nota. Se refleja las características de la dispersión modal internamente en la fibra óptica, de tal manera que se puede visualizar el reflejo de haz de luz. Fuente: <https://www.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies-3641.html>

2.2.2.2 Dispersión Cromática

Es un fenómeno relacionado con la propagación a lo largo del tiempo, esta resulta en diferentes velocidades de rayos de luz, es la conjunción de los fenómenos de dispersión de material y dispersión de la guía de onda(FS, 2021).

Figura 6
Dispersión cromática



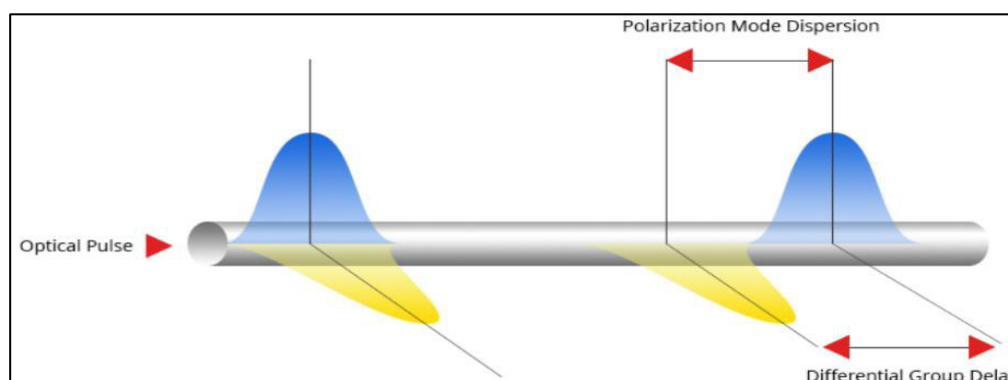
Nota. Ocurre cuando distintas longitudes de onda, viajan a velocidades diferentes en la fibra, ensanchando los pulsos y causando interferencia que afecta la calidad de transmisión en enlaces de larga distancia. Fuente: <https://www.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies-3641.html>

2.2.2.3 Dispersión por modo de polarización

El problema es que el núcleo no es perfectamente redondo, lo que origina el efecto de dispersión y a tal grado que puede dejar la señal en un mal estado, en una fibra ideal, las dos se polarizaciones se propagan en una misma velocidad (FS, 2021)

Figura 7

Características dispersión por modo de polarización



Nota. La dispersión por modo de polarización ocurre cuando distintas polarizaciones de la luz viajan a velocidades diferentes en la fibra, generando separación temporal de los pulsos y afectando la nitidez de la señal, sobre todo en enlaces de alta velocidad o larga distancia. Fuente: <https://www.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies-3641.html>

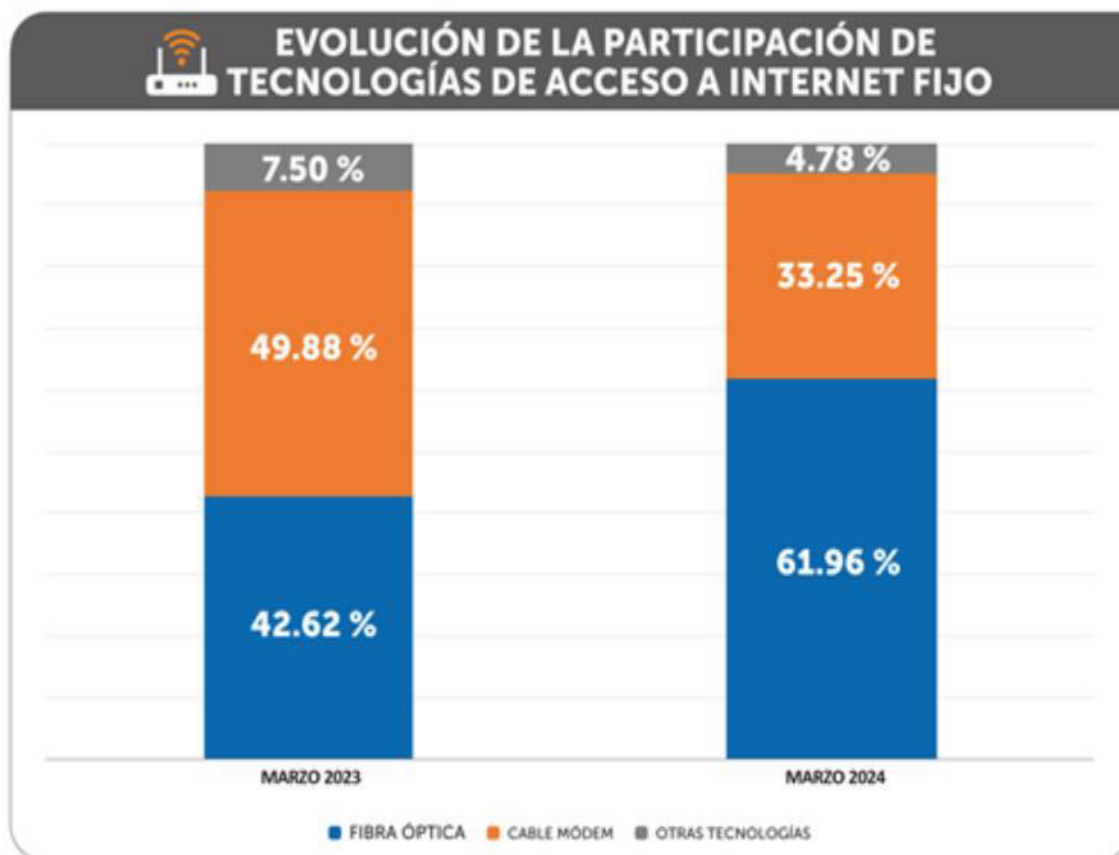
2.2.3 BASE TEÓRICA O TEORÍA SUSTANTIVA

2.2.3.1 Evolución de cobertura de servicio fijo en el Perú

Desde el año 2005 el INEI (Instituto Nacional de Estadística e informática) viene publicando el informe técnico con los resultados ENAHO (Encuesta Nacional de Hogares), esta investigación se ejecuta de manera frecuente durante las 52 semanas del año a nivel país, los primeros tres meses del año 2024 los hogares del país cuentan al menos con una tecnología de información y comunicación es decir el 95,9%. Si realizamos una comparativa con relación al trimestre del 2023 tenemos un incremento de 0,8%. (OSIPTEL, 2024a)

Figura 8

Evolución participación de acceso a internet fijo

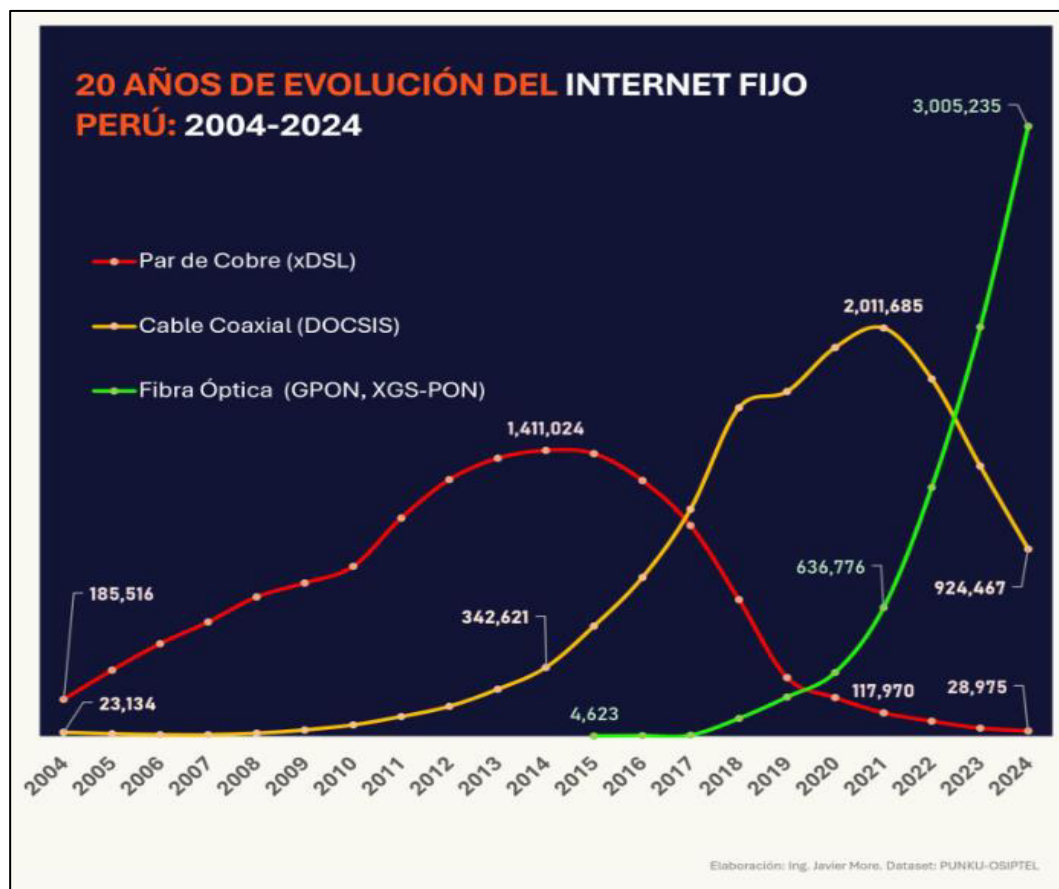


Nota. De tal manera como se muestra los resultados según el portal PUNKU, cualitativamente la evolución de acceso a internet fijo durante los periodos 2023 y 2024. Fuente: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/acceso-a-internet-fijo-crecio-a-doble-digito-y-cierra-el-primer-trimestre-de-2024-con-3-66-millones-de-conexiones/>

Hasta marzo de 2024, la fibra óptica se posicionó como la tecnología predominante, orientado a la entrega del servicio de internet fijo de alta velocidad, concentrando el 61,96 % de las conexiones totales registradas. Este resultado refleja un incremento notable de 19,34 puntos porcentuales respecto al mismo mes de 2023. En contraste, el acceso mediante redes híbridas de fibra y coaxial (HFC) evidenció una disminución en su participación, reduciéndose en 16,63 puntos porcentuales y quedando con el 33,25 % del total (OSIPTTEL, 2024).

Figura 9

Tecnología en internet fijo en el Perú desde el 2004 al 2024

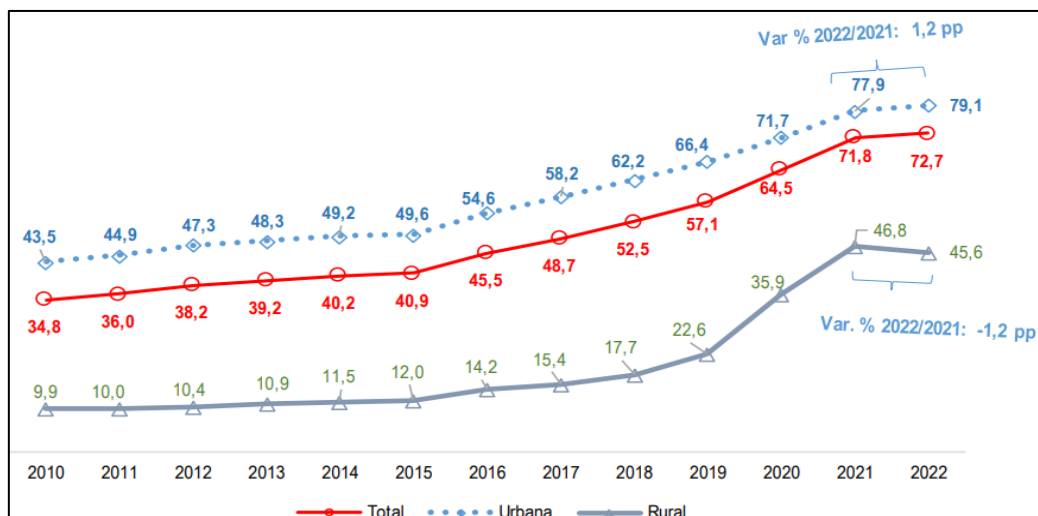


Nota. Cómo ha evolucionado las tecnologías de los servicios fijos desde el 2004 hasta el 2024 y ha ido tomando fuerza las redes con fibra óptica hasta el hogar, así mismo la bajada de usuarios a nivel de tecnología xDSL. Fuente: https://www.linkedin.com/posts/javier-more-sanchez_internet-broadband-fiber-activity-7301692889611329536-qswL/?originalSubdomain=es

En el 2022, el 79,1% de gente de seis años a más en zonas urbanas utilizó y tuvo acceso a internet, superando ampliamente al 45,6% registrado en las zonas rurales, en comparación con el 2021, el uso de internet en el entorno urbano aumentó en 1,2 puntos porcentuales, mientras que en el área rural se redujo en la misma proporción. Si se analiza desde el 2020, los habitantes de las ciudades presentaban casi el doble de acceso que quienes residían en zonas rurales; aunque la diferencia se ha reducido con el tiempo, la brecha digital todavía se mantiene. (INEI, 2022)

Figura 10

Hogares que acceden a internet fijo por zona urbana y rural del 2021 al 2022



Nota. El acceso a internet fijo en las zonas rurales y urbanas del Perú considerando todas las tecnologías con las que se viene operando desde el periodo 2022 al 2023. Fuente: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1945/libro.pdf

2.2.3.2 Cobertura de calidad de servicios fijos en el Perú

Osipitel ha planteado implementación de nuevos lineamientos para la visualización pública de la cobertura de red en los portales web, dividiendo el territorio en áreas de cobertura garantizada y zonas de capacidad adicional de red, en las primeras se exige el cumplimiento de indicadores de calidad para servicios móviles e internet fijo inalámbrico y también se impulsa la migración hacia tecnologías más modernas para mejorar la calidad de voz (CV) y tiempos de envío de mensajes (TEMT), asimismo, las operadoras con más de 500,000 usuarios deberán facilitar al regulador el acceso a sus plataformas de gestión de red o modelos de simulación de cobertura (OSIPTEL, 2023).

Figura 11
Indicadores CV y TEMT del segundo trimestre del 2024

Ubigeo	DEPARTAMENTO	CV (VO: CV >= 3.30)				TEMT (VO: TEMT <= 20 segundos)			
		MOVISTAR	CLARO	BITEL	ENTEL	MOVISTAR	CLARO	BITEL	ENTEL
01	AMAZONAS	3.69	3.78	3.85	3.76	5.00	5.83	6.18	4.14
02	ANCASH	3.86	3.92	3.91	3.71	9.38	8.91	4.99	5.99
03	APURÍMAC	3.98	3.92	3.97	3.82	NM/ND	6.58	4.97	3.59
04	AREQUIPA	4.01	3.90	4.03	3.82	3.64	6.10	8.39	5.91
05	AYACUCHO	3.87	3.71	3.85	3.84	6.63	8.62	5.82	6.76
06	CAJAMARCA	4.02	3.89	3.74	3.41	3.43	5.58	6.28	4.85
08	CUSCO	3.96	3.82	3.99	3.60	3.94	10.40	6.47	8.58
09	HUANCVELICA	4.11	3.89	3.90	3.76	NM/ND	14.79	5.85	4.94
10	HUÁNUCO	3.92	3.63	3.72	3.61	3.42	6.47	5.82	4.41
11	ICA	3.47	3.81	3.99	3.94	4.52	6.34	5.40	5.54
12	JUNÍN	3.99	3.84	4.00	3.70	36.97	7.99	5.97	5.63
13	LA LIBERTAD	4.05	3.71	3.85	3.72	3.05	6.46	6.59	3.80
14	LAMBAYEQUE	4.01	4.33	4.15	3.86	6.17	4.12	5.27	4.71
15	LIMA Y CALLAO	3.81	3.76	3.98	3.78	3.25	5.93	6.72	3.98
16	LORETO	3.72	3.76	3.61	3.68	4.46	6.04	6.14	4.63
17	MADRE DE DIOS	4.06	4.00	3.94	3.90	NM/ND	6.70	5.44	5.38
18	MOQUEGUA	4.02	3.92	3.93	3.91	2.78	7.51	4.85	9.76
19	PASCO	3.99	3.94	3.86	3.82	9.17	7.41	5.51	3.19
20	PIURA	3.72	3.85	3.73	3.78	3.31	4.84	6.34	3.66
21	PUNO	4.06	3.86	3.85	3.85	1.56	9.98	5.86	5.46
22	SAN MARTÍN	3.86	3.89	3.63	3.64	4.12	5.01	6.29	4.93
23	TACNA	3.99	3.89	3.89	3.80	1.58	7.76	4.96	5.31
24	TUMBES	4.07	3.90	3.71	3.77	3.20	4.53	6.82	3.90
25	UCAYALI	3.96	3.87	3.51	3.71	3.12	4.86	6.02	4.22

Nota. De tal manera que durante el segundo trimestre del 2024 estos indicadores de calidad se han visto evaluados por el ente regulatorio Osiptel, dando así una vista general de todos los departamentos del Perú que se encuentran declaradas. Fuente: <https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/947>

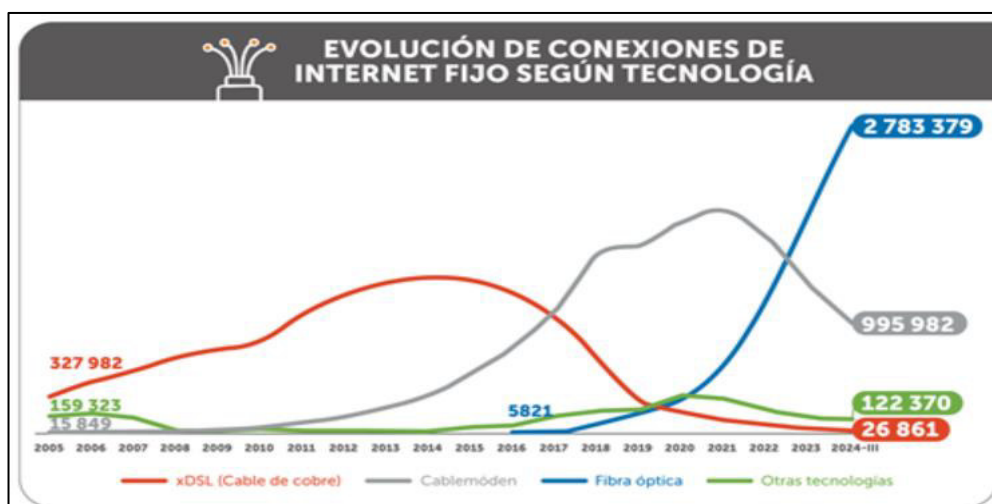
2.2.3.3 Banda Ancha Fija

El avance rápido de las TIC (Tecnologías de información de Comunicaciones), abre la posibilidad de la transformación digital, y es el proceso donde adoptan herramientas, métodos y cambios culturales, optan por innovar las tecnologías y alcances de actividades humanas, es así como el proceso de digitalización proporciona oportunidades para alcanzar mejor nivel de vida (Sunkel et al., 2023, p. 17).

A pesar de que la difusión de la banda ancha fija entre los usuarios aún es relativamente baja en contraste con otros países latinoamericanos, especialmente en conexiones de fibra, el Perú ha registrado una expansión del servicio en los últimos años con la llegada a nuevas regiones dentro de lo cual en los últimos cinco años, la banda ancha por fibra en particular ha acumulado un crecimiento promedio anual de 167%, según el regulador Osiptel que fines de marzo, el país tenía 725.877 conexiones de este tipo, comparadas con menos de 400.000 un año antes; la tecnología representa hoy el 23,5% de todos

los accesos de banda ancha fija en el país. Aun así, las tecnologías tradicionales como xDSL, cable módem y wimax continuaron creciendo y representan el grueso de las conexiones fijas. En conjunto, sumaban más de 1 millón de accesos a fines de marzo, aumento de 38,3 % con respecto al mismo período de 2021 (OSIPTEL, 2024c).

Figura 12
Servicios de internet fijo 2024



Nota. Accesos de banda ancha fija crecieron 7,69% en el período a 3,08 millones, con adiciones netas de casi 220.000 por lo que según Osiptel se muestra la curva evolutiva de los servicios de internet fijo en el Perú, hasta el tercer trimestre del año 2024. Fuente: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/mas-del-70-de-conexiones-de-internet-fijo-en-peru-usan-fibra-optica-al-cierre-del-tercer-trimestre/>

2.2.4 TECNOLOGÍAS DE SERVICIO FIJO HOGAR

2.2.4.1 Digital Subscriber Line (DSL)

La línea de suscripción digital (DSL) comprende diversas tecnologías de disponibilidad de conexión a la red que permiten la transmisión de datos utilizando el cableado de la red telefónica. Este sistema proporciona conexión digital desde la línea del usuario hacia la red básica o conmutada. Dentro de sus variantes se incluyen ADSL, ADSL2, ADSL2+, SDSL, IDSL, HDSL, SHDSL, VDSL y VDSL2. Todas estas modalidades emplean como medio físico principal el par

trenzado de cobre. Las velocidades de transmisión que ofrece la tecnología DSL pueden variar, en general, desde aproximadamente 256 kbit/s hasta cerca de 100 Mbit/s en sentido descendente hacia el usuario, clasificándose como una solución de banda ancha por su alta capacidad de transferencia de datos (Jean Paul Valenzuela, 2007).

2.2.4.2 High data Rate digital subscriber Line (HDSL)

La línea de abonado digital (DSL) de alto índice de los datos se transfieren con igual velocidad en ambas direcciones, lo que significa que la velocidad de transmisión desde la central hasta el abonado es la misma que en sentido inverso. Esta velocidad puede alcanzar valores de 1,544 Mbps hasta 2,048 Mbps en modo full dúplex. La tecnología HDSL se basa en una técnica de transmisión que permite ampliar un ancho de banda reducido, como el del cobre, para operar en rangos de multimegabit. Su principal aplicación se encuentra en el acceso de última milla, ofreciendo un servicio de alta velocidad a un costo razonable (YBET, 2005).

2.2.4.3 Symetric digital subscriber Line (SDSL)

Todas estas tecnologías utilizan como medio de transmisión un par trenzado de conductores de cobre. Se caracterizan por ofrecer igual capacidad de transferencia para la carga y descarga de datos, presentando similitudes con el sistema HDSL. Permiten transmitir a velocidades dentro del rango T1/E1, alcanzando hasta 1,5 Mbps, con un alcance aproximado de entre 3,7 km y 5,5 km desde la central. (YBET, 2005)

2.2.4.4 Asymmetric digital subscriber Line (ADSL)

Esta tecnología transforma las líneas telefónicas o par de cobre, en líneas de alta velocidad, esta facilita el acceso a redes corporativas para aplicaciones como el teletrabajo y multimedia.

Este servicio está dirigido a profesionales e internautas que navegan a altas velocidades, de esta forma poder ser beneficiados en su máximo por tiempo ilimitado, la tasa de transmisión de bits DSL normalmente oscilan entre 256kbit/s hasta los 100Mbit/s hacia el cliente, es una tecnología de banda ancha, esto implica una gran velocidad a una conexión (YBET, 2005).

2.2.4.5 Very high-data-rate Digital Subscriber Line (VDSL)

Dentro de las tecnologías XDSL, VDSL se destaca por ser la más rápida, alcanzando velocidades de 13 Mbps a 52 Mbps desde la central hacia el usuario y entre 1,5 Mbps y 2,3 Mbps en sentido inverso. Se trata de una conexión asimétrica, y se prevé que su adopción aumente significativamente en los próximos años. Esta tecnología está diseñada para operar en entornos ruidosos y hostiles, siendo capaz de contrarrestar interferencias y emisiones de radio. (YBET. 2005)

Figura 13
Familia XDSL.

Tipo de DSL	Descripción	Downstream/Upstream	Límite distancias	Aplicaciones
SDSL	Symmetric DSL	1.544 Mbps dúplex (U.S. y Canadá) 2.048 Mbps (Europa) Línea dúplex downstream y upstream	3,6 Km con 24 AWG	Similar a HDSL pero que requiere solamente un único par trenzado
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line	1.544 a 6.1 Mbps downstream, 16 a 640 Kbps upstream	1.544 Mbps - 5,5 km 2.048 Mbps - 4,8 km 6.312 Mbps - 3,6 km 8.448 Mbps - 2,7 km	Usado para Internet, video, full motion, videoconferencia, telemedicina, teleducación, etc.
RADSL	Rate-Adaptive DSL from Westell	Adaptado a la línea, 640 Kbps, a 2.2 Mbps downstream; 272 Kbps a 1.088 Mbps upstream	Desconocido	Similar al ADSL
UDSL	Unidirectional DSL propuesto por una compañía Europea	Desconocido	Desconocido	Similar al ADSL
VDSL	Very High Digital Subscriber Line	12.9 a 52.8 Mbps downstream; 1,5 a 2.3 Mbps upstream	1,35 Km - 12.96 Mbps 0,9 Km - 25.82 Mbps 300 mts. - 51.84 Mbps	Red ATM, Fibra

Nota. Familia de la tecnología XDSL, en la cual podemos identificar la distancia límite.

Fuente: <https://www.redalyc.org/pdf/4026/402640444003.pdf>

2.2.4.6 Hybrid Fiber to Coaxial (HFC)

Es la combinación de fibra óptica y cable coaxial, parte del nodo netamente con fibra óptica, luego de ello cuando llega al equipo terminal la señal óptica se convierte en señal electromagnética o analógica, mediante el nodo optoelectrónico, ya que dentro de los daños lógicos o físicos se ocurren con frecuencia en la tecnología HFC son el vandalismo ya sea por corte de cable de fibra óptica o coaxial (SENSORICK, 2025)

2.2.4.7 Fiber To The Home (FTTH)

La red FTTH (fiber to the home) cuenta con un ancho de banda muy superior a otras tecnologías existentes y es el reemplazo de la red ADSL, la red FTTH permite la llegada de fibra óptica hasta el hogar. Provee velocidades de internet superiores y simétricas (EXFO, 2012, p. 5).

La conexión de acceso que enlaza al usuario final con el nodo de distribución puede implementarse mediante una o dos feeder ópticos asignadas de forma exclusiva a cada abonado, configurando así una topología tipo estrella. Otra alternativa es utilizar una red óptica pasiva (PON), la cual se basa en una disposición en forma de árbol, con una sola fibra desde el lado de la red que se ramifica en múltiples fibras hacia los clientes. (EXFO, 2012, p. 8).

2.2.5 TRANSMISIÓN DE DATOS

2.2.5.1 Velocidad de bits

La tasa de transmisión de datos se refiere al lapso requerido por un servidor o equipo emisor para colocar en la línea de comunicación un paquete de datos destinado al envío. Esta velocidad se expresa utilizando múltiplos de 10 por unidad de

tiempo, normalmente representada en bits por segundo (b/s o bps) o en bytes por segundo (B/s)(Pablo Gil et al., 2010, p. 42).

En este sentido, la velocidad de transferencia entonces se desglosa en dos conceptos fundamentales:

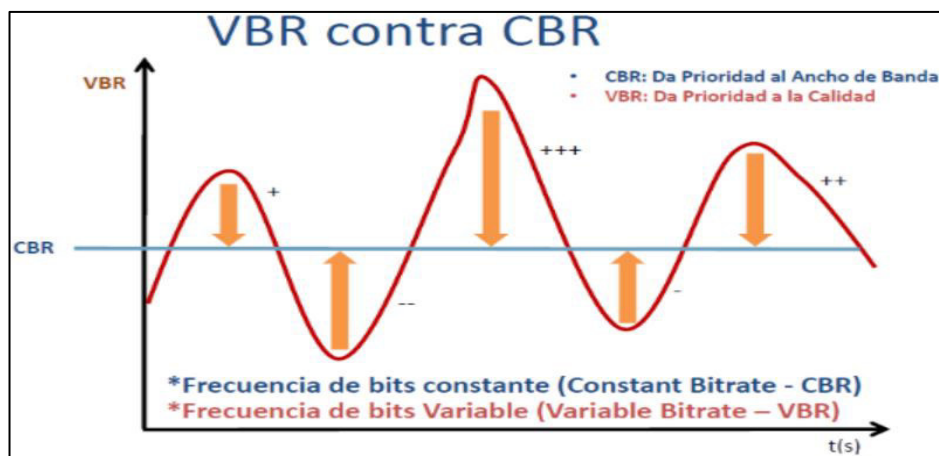
2.2.5.1.1 Tasa de Bits Variable (VBR)

En este contexto, la medición no se efectúa de manera uniforme, sino que distingue entre áreas con distinta densidad, lo que permite obtener un valor más exacto y representativo.

2.2.5.1.2 Tasa de Bits Constante (CBR)

La transmisión de datos se realiza de forma constante, sin considerar las variaciones mencionadas anteriormente ni la densidad de información que pueda enviarse en distintos instantes(Pablo Gil et al., 2010, p. 42).

Figura 14
Transferencia de bits.



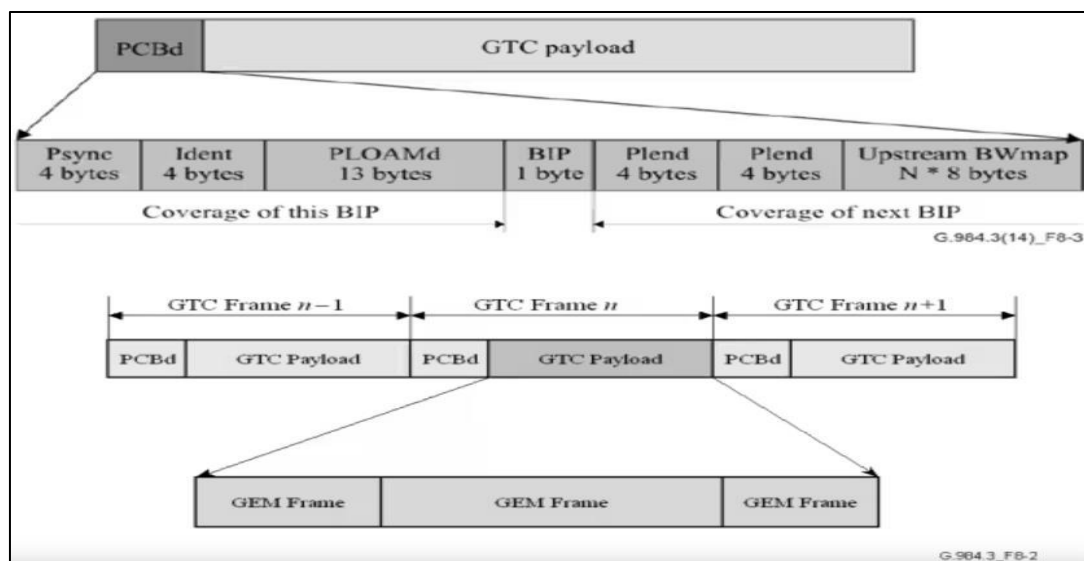
Nota. La velocidad de transmisión de datos depende del medio físico, la capacidad de caché, la velocidad entre equipos, posibles limitaciones y las interferencias presentes en el canal. Fuente: <https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/360022413212-Recomendaciones-de-uso-con-BIT-RATE>

2.2.5.2 Tráfico de bits

En una red GPON se manejan dos flujos de tráfico principales: el descendente, que opera con longitudes de onda de 1490 nm, y el ascendente, que utiliza longitudes de onda de 1310 nm. Para esta gestión se recurre a la técnica WDM (multiplexación por división de longitud de onda), la cual también permite la transmisión de contenido de video en modo difusión empleando longitudes de onda de 1550 nm. Dicho contenido puede distribuirse como señal televisiva convencional o a través de IPTV, motivo por el cual las ONT incluyen una entrada de RF destinada a recibir la señal de TV (CISCO, 2023).

Figura 15

Tráfico bajada y subida de datos



Nota. Esta tecnología permite a los operadores brindar una amplia oferta de canales IPTV en alta definición, además de otros servicios personalizados orientados a cubrir los requerimientos particulares de los usuarios. Fuente: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/switches/catalyst-pon-series/216230-understand-gpon-technology.html

2.2.6 CONCEPTOS GENERALES DE RED FTTH

Actualmente, el enlace óptico para diversas aplicaciones es una práctica común a nivel mundial. Una de las implementaciones más extendidas es la fibra óptica hasta el hogar (FTTH), la cual consiste en establecer un enlace directo desde la central del proveedor hasta la vivienda del usuario. El desarrollo de la tecnología PON (Passive Optical Network) se remonta a la década de 1990, evolucionando en distintos estándares como APON, BPON, EPON y GPON. Entre ellos, GPON destaca por su capacidad de ofrecer de manera simultánea múltiples servicios, lo que otorga un aspecto favorable significativa frente a otras alternativas (Victoria Beltran et al., 2010)

Figura 16
Estructura FTTH con tecnología GPON



Nota. Esta imagen detalla cómo es la estructura o arquitectura FTTH con GPON se muestra la estructura de red se puede ver cómo se distribuye los elementos principales de red. Fuente: Elaboración propia.

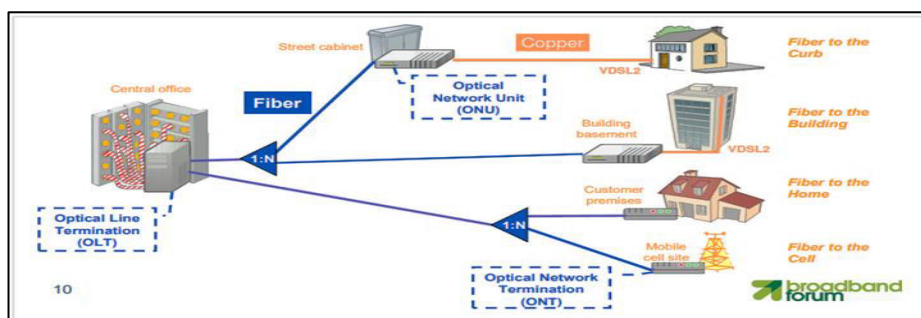
GPON corresponde a las siglas de *Gigabit Passive Optical Network* (traducido como Red Óptica Pasiva de Gigabit). Esta tecnología es capaz de manejar un rendimiento máximo de 2,5 Gbps en sentido de descarga y 1,25 Gbps en sentido de carga, lo que le otorga gran estabilidad y capacidad de expansión en servicios de banda ancha. Un punto relevante es su alta eficiencia en el uso del protocolo, logrando sincronizar la transmisión de datos con índices que pueden alcanzar el 92 %. En cuanto a su infraestructura, la configuración

estándar de división 1:64 puede escalar hasta 1:128, permitiendo así un mayor número de conexiones por puerto (Selmanovic & Skaljo, 2010).

2.2.6.1 Arquitectura FTTX

El término FTTx se emplea como denominación general para referirse a las distintas modalidades de conexión mediante fibra óptica que enlazan la red del proveedor con el domicilio, oficina o centro de datos del usuario. Este concepto abarca diversas topologías de redes ópticas pasivas (PON), que incluyen componentes como fibras ópticas, divisores (*splitters*), conectores, cajas NAP, gabinetes y paneles ODF, los cuales vinculan el nodo central (*Head End*) entre el proveedor de servicios de internet (ISP) y los usuarios finales ubicados en una zona o ciudad. Dichas implementaciones pueden orientarse al servicio residencial (FTTH/FTTP, *Fiber to the Home/Premise*), al uso corporativo o en edificios (FTTB, *Fiber to the Building*), o a configuraciones donde la fibra llega hasta un armario o nodo y se complementa con par de cobre para la conexión final (FTTC/N, *Fiber to the Curb/Node*) (Selmanovic & Skaljo, 2010).

Figura 17
Arquitectura FTTX



Nota. Arquitectura FTTX o distribución desde el site o nodo hasta el cliente para brindar el servicio. Fuente: <https://blog.internexa.com/es/isp/que-es-fttx>

De manera más precisa, FTTx se refiere a la instalación de una red de fibra óptica, incluyendo sus cables y componentes

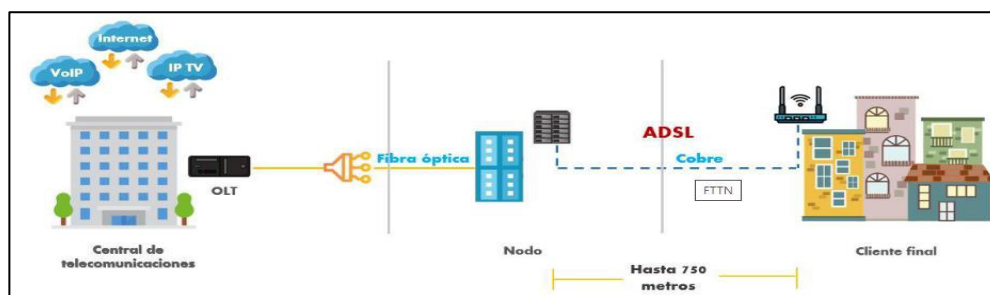
asociados que llega hasta una ubicación o zona determinada, normalmente vinculada a las instalaciones del cliente. La “x” en la sigla indica el tipo de aplicación o el caso específico de implementación del servicio. Las soluciones basadas en FTTx ofrecen características y beneficios particulares que se adaptan a las necesidades del entorno en el que se despliegan:

2.2.6.1.1 Fiber to the node (FTTN)

En esta implementación se utiliza tramo de fibra óptica que va desde la sede principal del proveedor hasta un punto de distribución intermedio, que es otra instalación del operador. En el caso de una ciudad grande, puede haber varias sedes principales y, a su vez, varias instalaciones secundarias (Carlos Vargas, 2020).

Figura 18

Arquitectura de red FTTN (Fiber to the node).

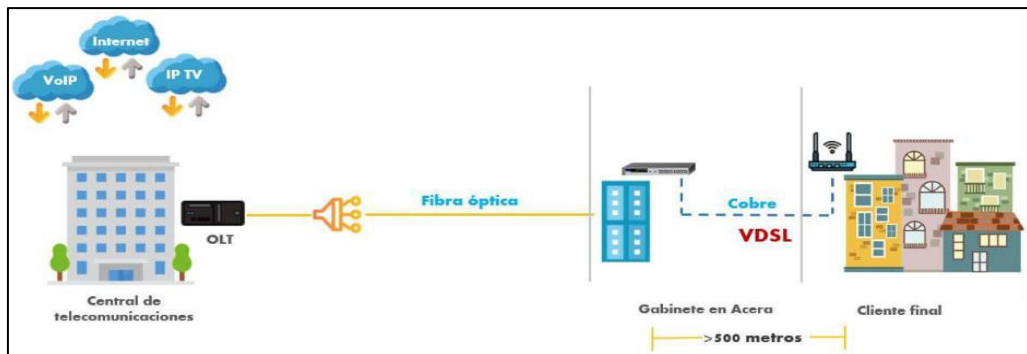


Nota. Conecta la fibra óptica con un nodo central, lo cual después llega hacia el cliente con tecnología ADSL. Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>

2.2.6.1.2 Fiber to the Cabinet (FTTC)

La transmisión mantiene un flujo constante de datos, sin considerar las variaciones en los factores previamente señalados ni los cambios en la densidad de la información que pueda enviarse en diferentes instantes (Carlos Vargas, 2020).

Figura 19
Arquitectura FTTC (Fiber to the Cabinet).

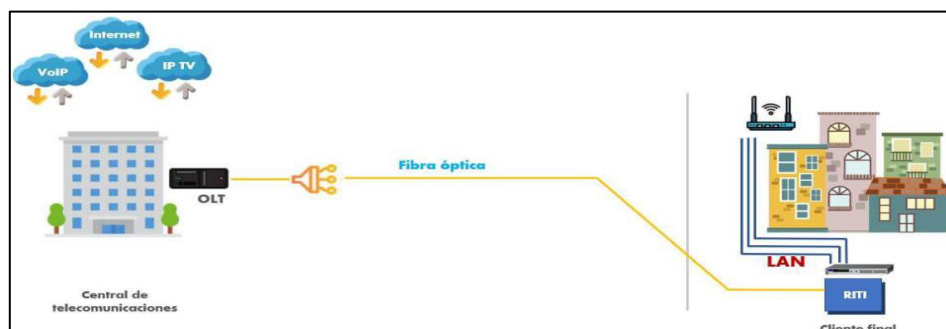


Nota. En la arquitectura FTTC, se utiliza red de fibra y tecnología VDSL para llegar al hogar, dentro del tramo de VDSL se considera solo 500m de cableado de cobre, donde los datos a transmitir son de IP TV, internet y VoIP, para el servicio de los usuarios. Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fft/>

2.2.6.1.3 Fiber to the building (FTTB)

Enlaza un punto dentro del edificio, hacía la caja principal. Este sistema de red se brinda para servicios corporativos y reutiliza infraestructura existente, esta red utiliza infraestructura existente tales como redes LAN (basada en ethernet), cable telefónico o coaxial (Carlos Vargas, 2020).

Figura 20
Arquitectura de red FTTB (Fiber to the Building)



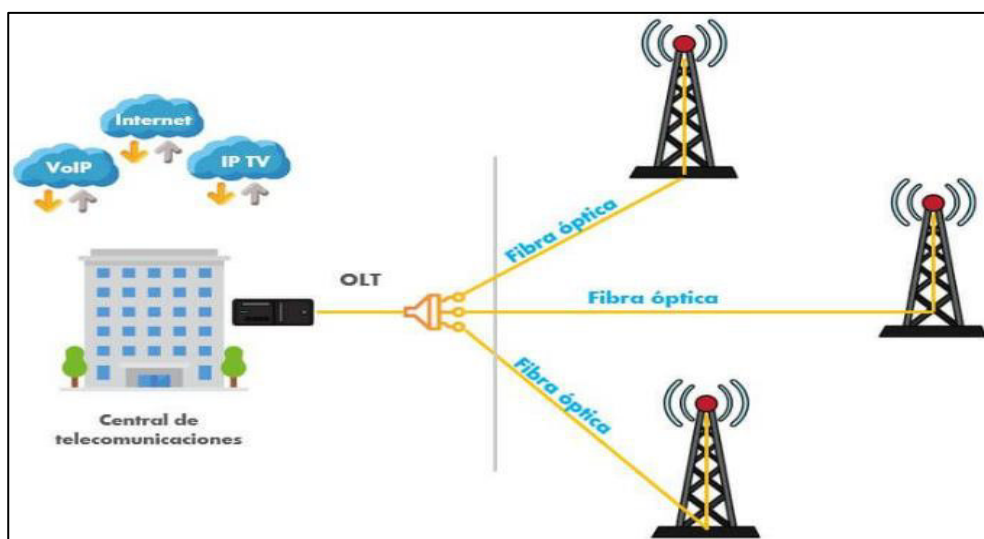
Nota. Esta red tal trabaja con fibra hasta un punto interno en el edificio, posterior a ello usa una caja principal de distribución y se despliega mediante red LAN. Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fft/>

2.2.6.1.4 Fiber to the Antenna (FTTA)

Fiber to the Antenna, es una arquitectura inalámbrica, el enlace se distribuye desde la central hacia la torreo y se conecta en las unidades de radio remota (RRU) (Carlos Vargas, 2020).

Figura 21

Arquitectura de red FTTA (Fiber to the Antenna)

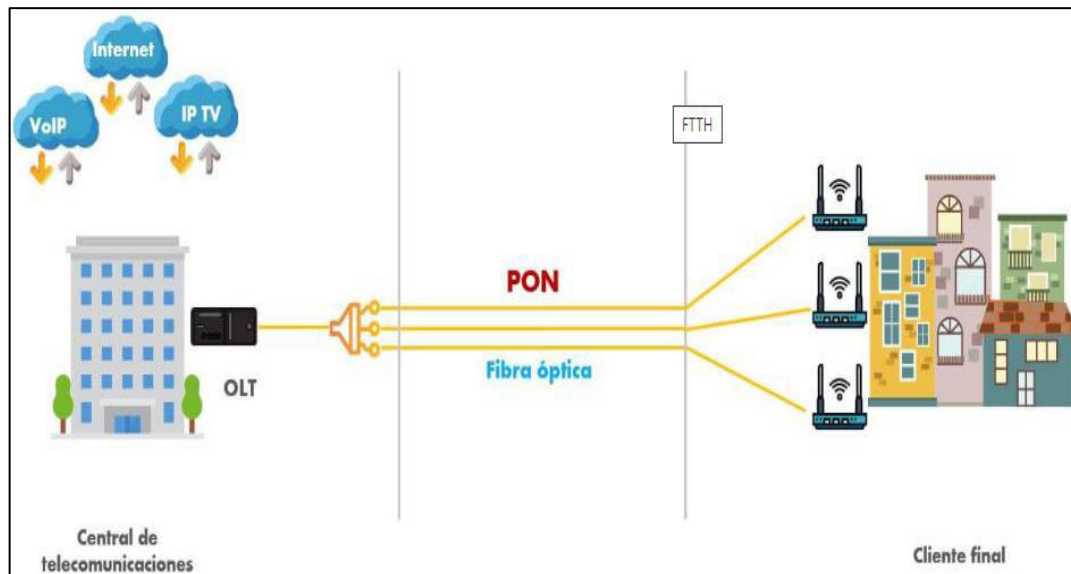


Nota. Arquitectura de la red FTTA, esta es la más comúnmente usadas por Antenas, este enlace, podemos observar que se debe contar con la RRU (Unidad de Radio Remota). Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>

2.2.6.1.5 Fiber to the Home (FTTH)

De las más usadas actualmente en el mercado residencial, el enlace parte desde la central hacia el suscriptor. Ofrece un mejor ancho de banda, efectividad en el servicio y calidad. Esta tecnología es llamada proyectos horizontales de FTTH, así como los proyectos verticales, lleva varios niveles de splitteo, desde la central hacia puntos estratégicos, para poder distribuir a la cantidad de clientes necesarios por CTO (Carlos Vargas, 2020).

Figura 22
Arquitectura de red FTTH (Fiber to the Home)

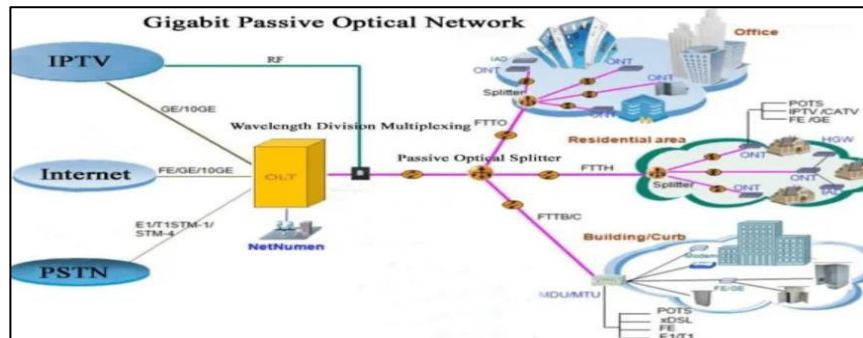


Nota. Es una red nueva que se despliega en el mercado mundial, esta red permite que el acceso a internet sea a través de fibra óptica, siendo así que el internet sea más eficiente y de mejor calidad hasta el hogar, así como se muestra en la figura número 22, dentro de ello se considera una estructura interna por niveles de splitteo y elementos pasivos. Fuente: <https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>

2.2.7 COMPONENTES DE LA RED GPON

Las redes ópticas pasivas (PON) comenzaron a estar disponibles a mediados de la década de 1990 y, con el crecimiento de las telecomunicaciones, se consolidaron diversos estándares. Entre ellos, GPON destaca debido a su elevada capacidad de transmisión de datos más amplia en relación con BPON y APON. Esta tecnología tiene aplicaciones en múltiples ámbitos y su distribución se realiza mediante conectores de fibra óptica monomodo y divisores ópticos pasivos, generalmente con conectores pulidos en ángulo (APC)(WORDPRESS, 2017).

Figura 23
Arquitectura de GPON (Gigabit Passive Optical Network)



Nota. Arquitectura GPON la cual se compromete desde la cabecera principal llamada OLT, el cual es muy importante esta tecnología debido a que se puede transferir datos desde los 1Gps hasta los 10Gps, siendo así muy eficiente para los usuarios, debido a la alta demanda en la actualidad. Fuente: <https://es.vsolcn.com/blog/what-is-gpon-gpon-networks.html>

2.2.7.1 Optical Line Termination (OLT)

Es la cabecera principal de una red PON, es el punto final del proveedor de servicio, es quien lidera y administra la red PON, es quien define los servicios, cantidad de ancho de banda y prioriza cada uno de ellos, en las ONUs. Tiene la capacidad de reemplazar a múltiples conmutadores de capa 2 en puntos de distribución (ASCENTOPTICS,2023)

2.2.7.2 Red Feeder

Es una red troncal la cual se encuentra ubicada desde el la ODF que se encuentra ubicado en la central, hacia los armarios de distribución ODF donde se encuentran los splitters (Lapo,2025, p. 35).

2.2.7.3 Armario de GPON

Este elemento está compuesto por material de aluminio, la cual soporta las condiciones climáticas, como polvo, vandalismo y agua. Dentro de ellos se encuentran los splitters para conectar el feeder de distribución (Berrade,2024)

2.2.7.4 Divisor Óptico

Es un dispositivo pasivo de distribución de energía óptica, en caso el enlace no sea suficiente para cumplir con la demanda de abonados. La finalidad del splitter óptico es poder dividir el haz de luz en dos o más haces luminosos con menor potencia. Existen splitter con salidas desde 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64 y 1:128 salidas (Keyfiber,2025)

2.2.7.5 Caja Terminal Óptica (CTO)

También conocida como caja de distribución óptica (Network Access Point). Es la cual proporciona individualmente el servicio a determinado número de abonados, esta caja se encuentra adecuado para poder realizar operaciones y mantenimientos, dentro de ellas lleva los pigtails, splitters modulares y conectores ópticos (Tecnorep,2024).

2.2.7.6 Red de dispersión

Es la red localizada a partir de la caja NAP (Caja de distribución) hacía la roseta óptica, la cual se ubica en el punto de acceso del suscriptor. El cable que se usa para esta red es llamado DROP, el cual posee 1, 2 y 4 hilos de fibra óptica, esto hace una fácil manipulación en los interiores (Tvc,2024).

2.2.7.7 Roseta óptica

Es el parte terminal de la red GPON o conexión en el domicilio del abonado, su forma es de una caja pequeña compuesta de plástico. En esta caja se pueden realizar pruebas ópticas de perdida de potencia en el enlace hacía el exterior de la red (Baelingenieria,2025).

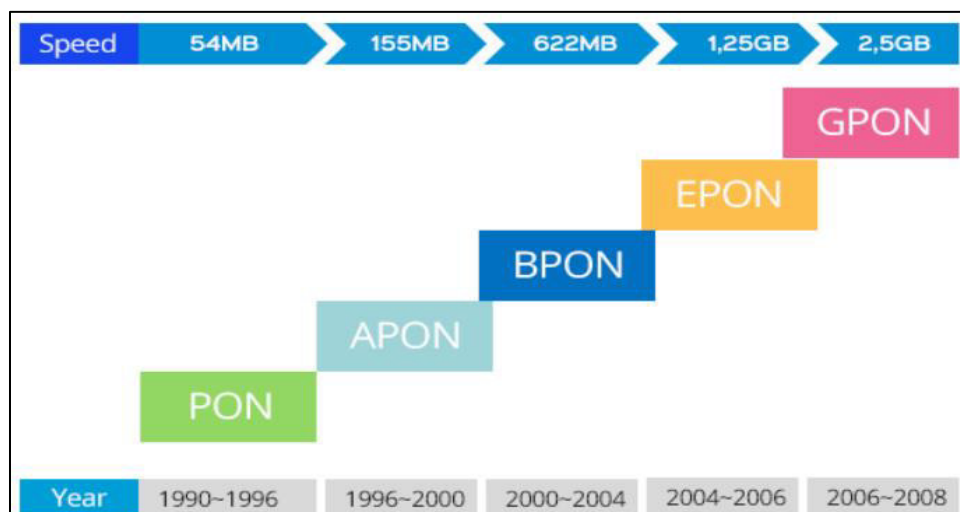
2.2.7.8 Óptical Network Terminal (ONT).

La ONT (Optical Network Terminal) también llamado terminal de nodo óptico es el dispositivo activo que va dentro del hogar, el cual recibe la señal óptica y la transforma en señal eléctrica. Este dispositivo cuenta con puertos de telefonía, TV e internet (Vsolcn,2025).

2.2.8 ESTANDARES DE REDES XPON

Es la fusión de la tecnología de la GPON y EPON en software como en hardware, la cual revela ventajas y desventajas para cada tecnología, la tecnología XPON cuenta con una plataforma integrada de gestión de red, esta cumple con varios requisitos comerciales y contine una gama completa de servicios. Permite la transmisión de TV por cable en sentido descendente usando WDM, en conclusión, la tecnología XPON presenta una solución de bajo costo para cambiar la infraestructura EPON con GPON (RUNTOP, 2024).

Figura 24
Velocidad tecnología XPON

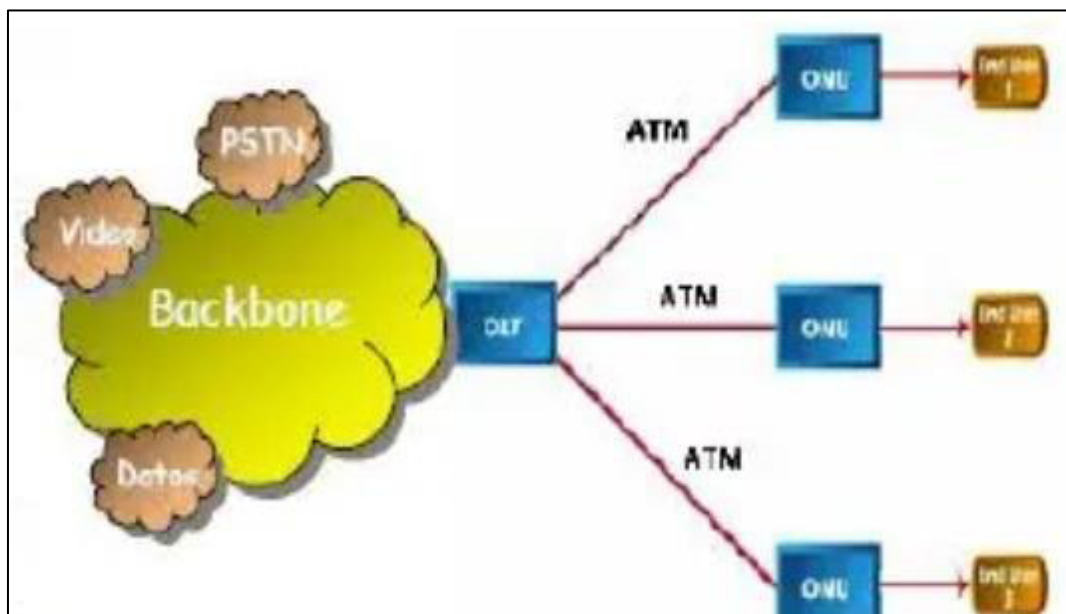


Nota. Se muestra el ancho de banda en las diferentes tecnologías XPON, lo que garantiza actualmente que la tecnología GPON lleva velocidades de transmisión mayor a 1GB. Fuente: <https://es.runtoptech.com/blog/detail-298565.html>

2.2.8.1 Diseño APON (ITU-T G.983)

Se encuentra en diversas arquitecturas de redes de acceso, en la cual utiliza los protocolos ATM como portador en los años 90, hace uso de multiplexación centralizada y estadística. Sus tasas de bits van desde los 155Mbps que se dividen entre el cantidad de ONUs presentes conectados al OLT. Para su canal de subida, se compone por 54 celdas ATM por la cual se encuentra 2 celdas PLOAM (capas físicas, operación y mantenimiento) que tienen como destino tener información de las distintas celdas (MDPI,2020).

Figura 25
Arquitectura APON

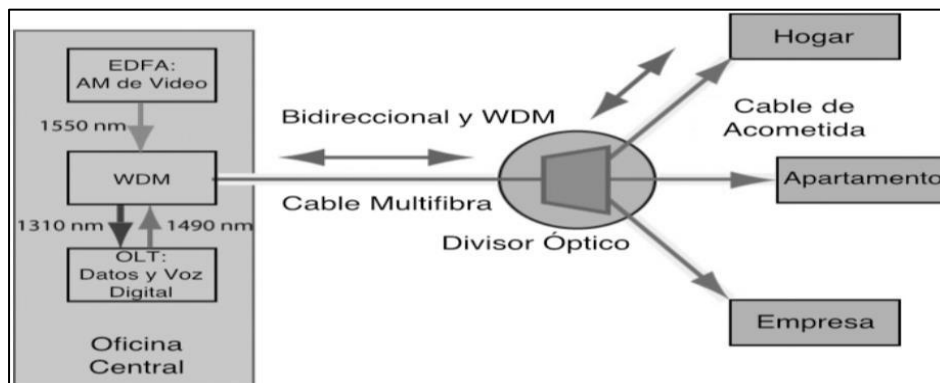


Nota. La tecnología APON se ha implementado entre los años 1996 y 2000, esta tecnología transmitía datos, video e internet. Fuente: <https://es.runtoptech.com/blog/detail-298565.html>

2.2.8.2 Diseño BPON (ITU-T G.983)

La versión mejorada de la APON, con mejores velocidades asimétrica de upstream y downstream de 155Mbps y 622Mbps, puede brindar servicio a 32 servicios a usuarios como máximo por cada puerto (MDPI,2020).

Figura 26
Arquitectura de la tecnología BPON

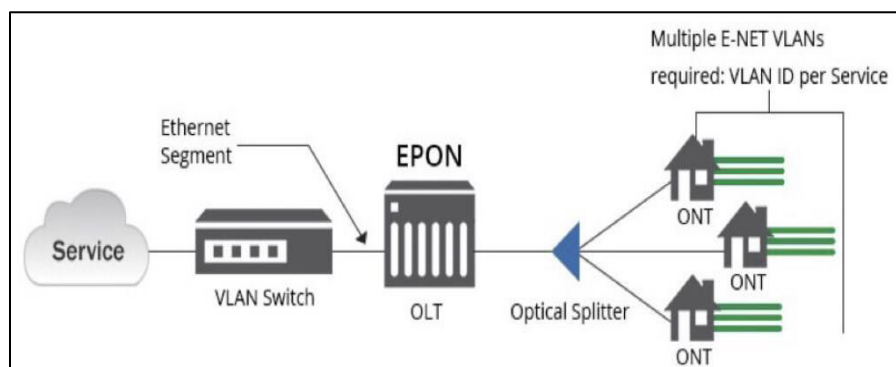


Nota. En la arquitectura BPON se muestra como la comunicación bidireccional fluye a través del cable multifibra que viaja hacia los distintos tipos de usuario, ya sea hogar, departamentos y empresas, transmitiendo los datos desde la OLT. Fuente: <https://www.thefoa.org/tech/ref/appln/FTTHESP/Arquitecturas%20de%20Red%20FTTH.html>

2.2.8.3 Diseño EPON (IEEE 802.3)

Este elemento está compuesto por material de aluminio, la cual soporta las condiciones climáticas, como polvo, vandalismo y agua. Dentro de ellos se encuentran los splitters para conectar el feeder de distribución (MDPI,2020).

Figura 27
Arquitectura de la tecnología EPON



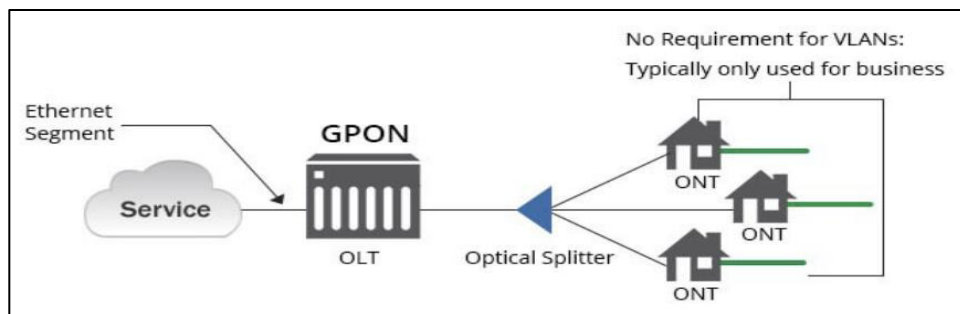
Nota. La arquitectura de la red EPON se encuentra diseñada con cableado de red ethernet lo cual llega hasta un punto donde se encuentra en Access Point. Fuente: <https://www.bonelinks.com/a-comprehensive-guide-to-gpon-and-epon-technologies-in-pon-networks/>

2.2.8.4 Diseño GPON (ITU-T G.984)

Esta tecnología presenta un mejor ancho de banda que las anteriores ya mencionadas y su velocidad es simétrica, logra una mayor eficiencia en el servicio que brinda. Las velocidades más usadas por esta tecnología son de 2,5 Gbps para la bajada y la subida de 1,2 Gbps, esta tecnología cuenta como arquitectura principal a la OLT cerca del operador y al final la ONT (MDPI,2020).

Figura 28

Arquitectura de la tecnología GPON



Nota. En la tecnología GPON, la característica principal es que la fibra óptica viaja desde la OLT o cabecera principal hasta el usuario final. Fuente: <https://www.bonelinks.com/a-comprehensive-guide-to-gpon-and-epon-technologies-in-pon-networks/>

2.2.9 ENLACE ÓPTICO

2.2.9.1 Pérdida de potencia

En el canal de subida, el sistema transmite 54 celdas ATM, de las cuales 2 corresponden a celdas PLOAM (Physical Layer Operations, Administration, and Maintenance), encargadas de gestionar la información relacionada con las distintas celdas. Un aspecto clave que incide en el cálculo del presupuesto óptico es la atenuación, entendida como la reducción de la potencia de la señal a medida que se propaga por la fibra óptica. Este fenómeno varía según el tipo de fibra empleada (monomodo o multimodo), la distancia del tendido y la calidad

del material. La atenuación se mide en decibelios por kilómetro (dB/km) y es un parámetro fundamental para asegurar que la señal mantenga la calidad necesaria hasta su destino.

- Atenuación (dB) = $10 \times \text{Log}_{10} (P \text{ entrada}/P \text{ salida}) = 20 \times \text{Log}_{10} (V \text{ entrada}/V \text{ salida})$
- Ganancia (dB) = $10 \times \text{Log}_{10} (P \text{ salida}/P \text{ entrada}) = 20 \times \text{Log}_{10} (V \text{ salida}/V \text{ entrada})$

Otro aspecto crítico es la margen de enlace. Este margen se conceptualiza como la variación en la energía de la señal recibida y el umbral mínimo necesario para una recepción correcta, es recomendable diseñar el sistema con un margen adecuado para compensar posibles pérdidas adicionales.

Pérdida en el cable de fibra óptica :

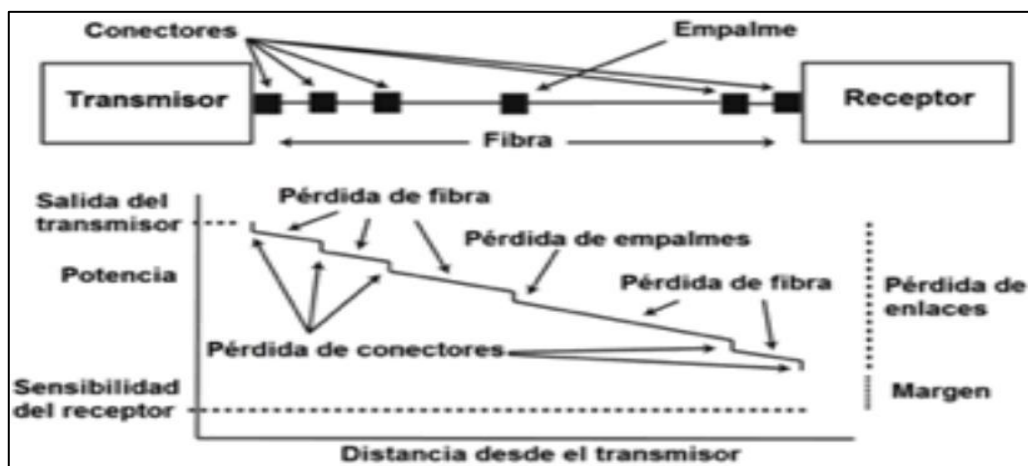
- Pérdida $C = m \times \text{Atenuación en cada } \lambda$

Pérdida total del enlace

- Pérdida $T = \text{Atenuación del cable} + \text{Pérdida por empalme} + \text{Pérdida por conector}$

Figura 29

Perdida de potencia óptica a través del enlace



Nota. Los eventos pérdida de potencia, desde el equipo receptor hasta el equipo transmisor, los cuales muestra pérdida por distancia, pérdida por empalme y el total de pérdida de enlace. Fuente: <https://www.thefoa.org/ESP-Design/Ch9.htm>

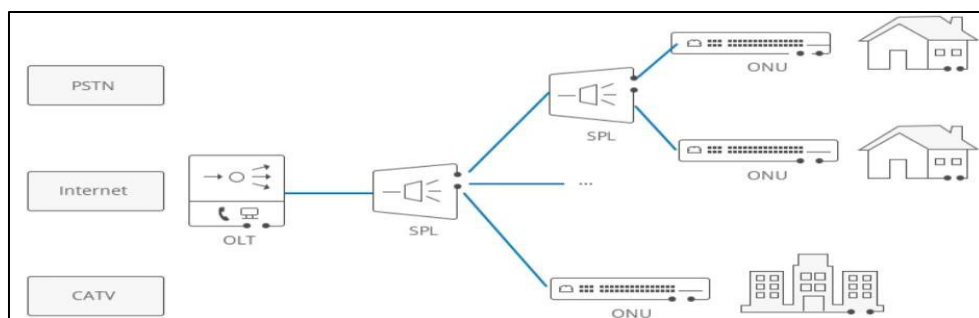
2.2.9.2 Presupuesto óptico

La distancia del enlace también juega un papel clave en el presupuesto, ya que a medida que amplía la separación entre los nodos de transmisión y recepción, las pérdidas por atenuación se incrementan, para enlaces largos, puede ser necesario incorporar repetidores o amplificadores ópticos para garantizar que la señal mantenga la calidad suficiente a lo largo de todo el trayecto y además de las pérdidas, el presupuesto de enlace óptico debe incluir la evaluación de los niveles de potencia en cada punto del sistema, el diseño debe asegurar que la señal óptica no experimente sobrecarga o subcarga, lo que podría resultar en un rendimiento deficiente. Por lo tanto, es fundamental realizar cálculos precisos sobre la potencia de transmisión inicial y los posibles ajustes necesarios en los dispositivos de recepción

Presupuesto de enlace

- $P. \text{ recibida (dBm)} = \text{Potencia TX (dBm)} + \text{Ganancias (dB)} - \text{Pérdidas (dB)}$

Figura 30
Estructura FTTH



Nota. El cálculo del presupuesto de enlace óptico es clave en el diseño de redes de fibra, pues determina la pérdida total que sufrirá la señal durante su recorrido. Este análisis incluye factores técnicos y operativos que afectan directamente el rendimiento, la eficiencia y el nivel de división óptica del sistema. Fuente: <https://fibconet.com/es/news/this-article-will-introduce-the-basic-knowledge-of-pon-mainly-involving-olt-ont-onu-odn-and-other-basic-components-and-related-technologies/>

2.2.10 SOFTWARE

2.2.10.1 Autocad

Se trata de un programa de diseño asistido por computadora que goza de gran popularidad en campos profesionales como la arquitectura, la ingeniería y el diseño industrial. La versión 2021 incorpora funciones que permiten desarrollar planos y modelos tanto en 2D como en 3D con gran exactitud. Su interfaz modernizada, junto con herramientas inteligentes, favorece la elaboración eficiente de proyectos técnicos, incluyendo el trazado de infraestructuras, diagramas eléctricos o configuraciones de redes de telecomunicaciones. Entre sus mejoras destacan la integración con servicios en la nube, una administración de capas más versátil y utilidades que simplifican la edición de figuras geométricas, convirtiéndolo en un recurso esencial para el diseño técnico profesional (AUTODESK, 2023).

Figura 31

Software AutoCAD 2021



Nota. El software AutoCAD, cuando se apertura la aplicación para poder realizar los diseños. Fuente: <https://plotter-hp.com/novedades-de-autocad-2021/>

2.2.10.2 Google Earth Pro

Es una plataforma digital desarrollada por Google que permite visualizar imágenes satelitales y mapas interactivos de cualquier parte del mundo, a través de una interfaz tridimensional, los usuarios pueden explorar terrenos, ciudades, océanos y estructuras geográficas con gran detalle, es una herramienta útil

en áreas como la planificación territorial, estudios ambientales y proyectos de ingeniería (Google Inc, 2009).

Figura 32
Google Earth Pro



Nota. Permite observar la topografía, analizar rutas y ubicar coordenadas precisas sin necesidad de estar en el lugar físicamente, como se muestra es la portada principal del programa. Fuente: <https://www.gisandbeers.com/google-earth/>

2.2.10.3 Optisystem

OptiSystem es una herramienta profesional creada por Optiwave Systems Inc., pensada para simular y diseñar redes de comunicación por fibra óptica, su entorno visual y variedad de módulos lo hacen ideal para trabajar con tecnologías como WDM, PON y sistemas de transmisión a larga distancia (OPTIWAVE, 2024).

Figura 33
Simulador de red Optisystem



Nota. Está disponible bajo licencia comercial, aunque ofrece un periodo de prueba temporal, aunque no posee certificaciones de organismos globales, su uso extendido y compatibilidad con plataformas como MATLAB refuerzan su confiabilidad en

2.2.11 FACTORES ÓPTICOS

2.2.11.1 Pulso óptico

La fibra óptica se posiciona como una tecnología fundamental para el envío de información digital a largas distancias debido a su baja atenuación, amplio ancho de banda y resistencia a interferencias electromagnéticas, lo que garantiza una señal estable y de alta calidad con posibilidad de amplificación eficiente. No obstante, por ser un medio dispersivo y por la naturaleza de la luz, las señales pueden sufrir dispersión, afectando su forma y calidad durante la propagación. En particular, se producen fenómenos como el ensanchamiento del pulso, lo que puede provocar una superposición de señales y una disminución en la fidelidad de transmisión (Ansys,2024).

En esta sección se estudian dichos efectos, diferenciando dos escenarios: por un lado, la dispersión lineal, que se manifiesta como el ensanchamiento de un pulso gaussiano en condiciones lineales; y por otro, la influencia conjunta de factores lineales y no lineales, entre los que destacan la dispersión por velocidad de grupo (GVD), la modulación de fase autoinducida y la auto inclinación del pulso, los cuales ocurren durante la propagación de pulsos gaussianos en un régimen no lineal (Ansys,2024).

A. Ensanchamiento de pulsos gaussianos en el régimen lineal

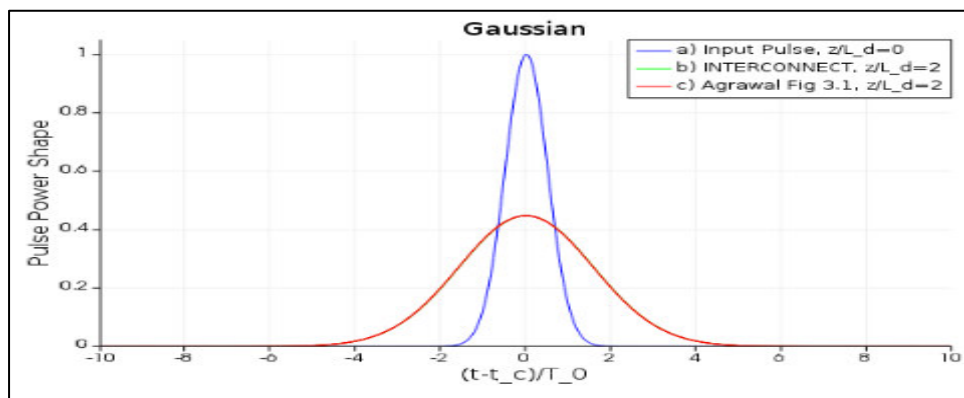
el pulso viaje gaussiano se propaga en una fibra óptica bajo condiciones de dispersión lineal, su forma general se conserva, pero experimenta un ensanchamiento temporal, este efecto se debe a la dispersión por velocidad de grupo,

que provoca que las diferentes frecuencias que componen el pulso viaje a distintas velocidades dentro del medio, como resultado, el pulso se extiende en el tiempo, Esto puede deteriorar la calidad de la señal si no se gestiona de manera adecuada, particularmente en enlaces de gran velocidad o de larga extensión. (Ansys,2024).

Dentro de la imagen 34 se puede ver la gráfica del ensanchamiento del puso en régimen lineal, lo cual hace que la señal de la luz sea alterada.

Figura 34

Ensanchamiento de pulso gaussiano en régimen lineal



Nota. La gráfica del ensanchamiento del puso en régimen lineal, lo cual hace que la señal de la luz sea alterada. Fuente: [https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042819393-Pulse-broadening-from-linear-and-nonlinear-dispersion-in-an-optical-fiber#:~:text=Propagaci%C3%B3n%20de%20pulsos%20gaussianos%20en%20r%C3%A9gimen%20no%20lineal,-Este%20ejemplo%20demuestra&text=El%20c%C3%A1lculo%20requiere%20una%20soluci%C3%B3n,\)%20%5B1%2C2%5D.&text=y%20n%20eff%20es%20el%20%C3%ADndice%20efectivo%20del%20modo%20%C3%B3ptico%20de%20la%20fibra.](https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042819393-Pulse-broadening-from-linear-and-nonlinear-dispersion-in-an-optical-fiber#:~:text=Propagaci%C3%B3n%20de%20pulsos%20gaussianos%20en%20r%C3%A9gimen%20no%20lineal,-Este%20ejemplo%20demuestra&text=El%20c%C3%A1lculo%20requiere%20una%20soluci%C3%B3n,)%20%5B1%2C2%5D.&text=y%20n%20eff%20es%20el%20%C3%ADndice%20efectivo%20del%20modo%20%C3%B3ptico%20de%20la%20fibra.)

fiber#:~:text=Propagaci%C3%B3n%20de%20pulsos%20gaussianos%20en%20r%C3%A9gimen%20no%20lineal,-

Este%20ejemplo%20demuestra&text=El%20c%C3%A1lculo%20requiere%20una%20soluci%C3%B3n,)%20%5B1%2C2%5D.&text=y%20n%20eff%20es%20el%20%C3%ADndice%20efectivo%20del%20modo%20%C3%B3ptico%20de%20la%20fibra.

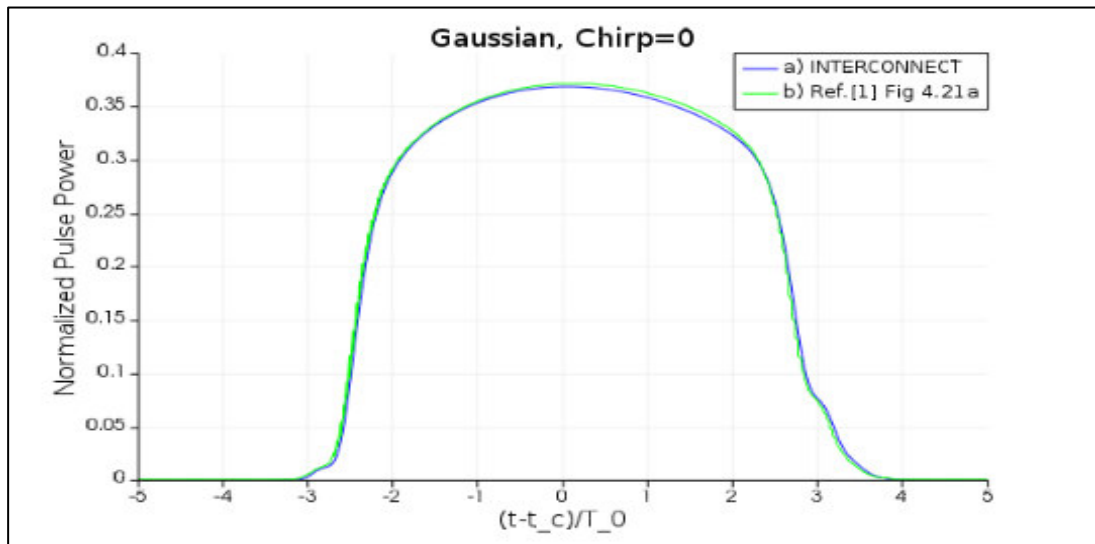
B. Propagación de pulsos gaussianos en régimen no lineal

La propagación de pulsos gaussianos en un régimen no lineal se refiere al comportamiento de pulsos de luz con forma gaussiana cuando se transmiten a través de medios con propiedades no lineales, donde la respuesta del medio

depende de la intensidad de la luz, el fenómeno es estudiado en el contexto de la óptica no lineal y puede llevar a efectos como el ensanchamiento o compresión del pulso, así como la modificación de su forma (Ansys,2024).

Figura 35

Propagación de pulso gaussiano en régimen no lineal



Nota. El ensanchamiento de pulso no lineal es una gráfica que depende de la intensidad de la luz, en la imagen se visualiza la onda senoidal más limpia a comparación de la lineal. Fuente: [https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042819393-Pulse-broadening-from-linear-and-nonlinear-dispersion-in-an-optical-fiber#:~:text=Propagaci%C3%B3n%20de%20pulsos%20gaussianos%20en%20r%C3%A9gimen%20no%20lineal,-Este%20ejemplo%20demuestra&text=El%20c%C3%A1lculo%20requiere%20una%20soluci%C3%B3n,\)%20es%20el%20C%C3%A1ndice%20efectivo%20del%20modo%20C%C3%B3ptico%20de%20la%20fibra.](https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042819393-Pulse-broadening-from-linear-and-nonlinear-dispersion-in-an-optical-fiber#:~:text=Propagaci%C3%B3n%20de%20pulsos%20gaussianos%20en%20r%C3%A9gimen%20no%20lineal,-Este%20ejemplo%20demuestra&text=El%20c%C3%A1lculo%20requiere%20una%20soluci%C3%B3n,)%20es%20el%20C%C3%A1ndice%20efectivo%20del%20modo%20C%C3%B3ptico%20de%20la%20fibra.)

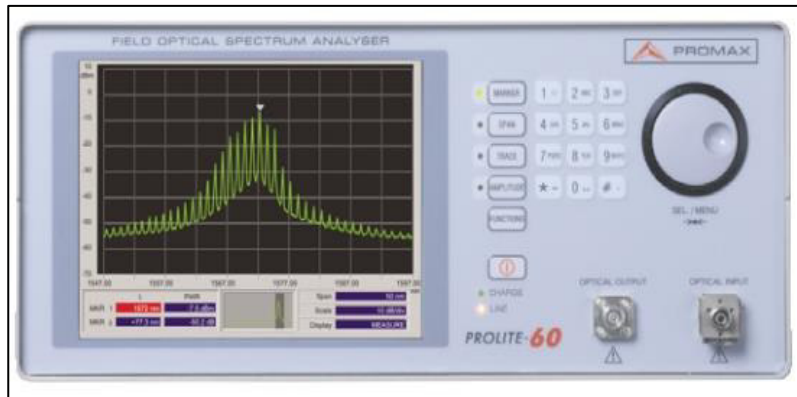
Este ejemplo demuestra el cálculo que requiere una solución, es el índice efectivo del modo óptico de la fibra.

2.2.11.2 Análisis de espectro

El espectro óptico en fibra óptica se refiere al conjunto de longitudes de onda de la luz que pueden propagarse a través de la fibra. Este espectro es esencial para el diseño y funcionamiento de redes ópticas, ya que posibilita la multiplexación de canales, un uso eficiente del ancho de banda y la elección de ventanas ópticas con menor

atenuación. Comprender el comportamiento de la señal dentro de este espectro resulta fundamental para optimizar la capacidad de transmisión y garantizar la calidad del servicio en sistemas de comunicaciones ópticas (Pous Grébol, 2022).

Figura 36
Análisis de espectro óptico mediante el osciloscopio



Nota. Como se puede observar para lograr visualizar las ondas o gráficas del espectro óptico, se pueden reflejar mediante un osciloscopio y así poder obtener los valores de resultado. Fuente: <https://www.promax.es/downloads/products/esp/PROLITE-60.pdf>

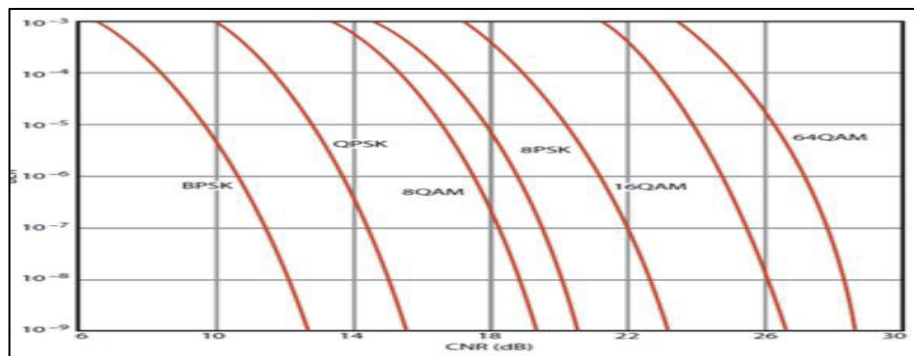
2.2.11.3 Grafica de BER

La Tasa de Error de Bits (BER) es un indicador clave en la transmisión digital de datos, que representa la proporción de bits erróneos con respecto al total recibido en un determinado período, un BER elevado puede obligar a retransmitir paquetes, afectando la eficiencia del sistema, diversos factores pueden incrementar el BER, como interferencias, pérdida de potencia en transmisores, baja sensibilidad en receptores, fallas en antenas o guías de onda, y obstáculos físicos que interfieren con el enlace, como construcciones posteriores a la instalación (FS,2024).

En frecuencias altas, como las de 23 GHz, fenómenos climáticos como la lluvia intensa también pueden interrumpir la transmisión, los equipos de telecomunicaciones modernos integran herramientas de medición y diagnóstico para monitorear el rendimiento y detectar errores de transmisión, además los factores ambientales como la humedad afectan directamente la calidad del enlace (FS,2024).

$$BER = \frac{\text{Numero de errores}}{\text{Numero de bits transmitidos}}$$

Figura 37
Gráfica del diagrama de BER



Nota. Análisis BER, en los resultados de la tasa de error de bits. **Fuente:** https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate_21.html

2.3 MARCO METODOLÓGICO

2.3.1 Tipo de investigación

Este estudio se orienta a la investigación tecnológica aplicada, al centrarse en diseñar una solución experimental que optimice los servicios de telecomunicación en la localidad distrital de Huancabamba.

2.3.2 Metodología de investigación

El objetivo de esta investigación es analizar la situación actual del acceso a internet fijo en el distrito de Huancabamba, a partir de este diagnóstico, se elaborará una propuesta de diseño para la implementación de una red, identificando estratégicamente

los puntos donde se ubicarán los elementos pasivos, como paso posterior a ello, se realizará la selección adecuada de los equipos tecnológicos, considerando las condiciones climáticas propias de la zona y como parte final se validará el funcionamiento de la red mediante herramientas de simulación, con el objetivo de verificar su rendimiento y eficiencia, es por ello que la investigación es analítico sintético.

A. Contexto, ambiente y escenario: La investigación se llevó a cabo en el distrito de Huancabamba, perteneciente a la región Piura. La recolección de datos se realizó durante el período comprendido entre febrero y mayo de 2025, y se tuvo acceso a información mediante encuestas distribuidas en redes con pobladores, además de datos secundarios provenientes de fuentes oficiales como OSIPTEL y el INEI.

B. Muestra: Esta investigación se compone de dos elementos clave, el contexto de la situación actual de conectividad en el distrito de Huancabamba y el análisis del diseño de red óptica propuesto.

- En primer lugar, se analizó el contexto actual del distrito de Huancabamba en cuanto a los servicios de telecomunicaciones, servicio al acceso de internet y telefonía fijos, la demanda potencial del sector, con el fin de establecer una base comparativa y justificar el diseño de red FTTH.
- En segundo lugar, se evaluó una propuesta técnica basada en criterios de cobertura, eficiencia y viabilidad, para el diseño del despliegue de red FTTH.

C. Diseño o abordaje : Dentro de la investigación adopta un diseño tecnológico aplicado, ya que se orienta a resolver un problema en concreto de conectividad mediante la propuesta de una red FTTH en un entorno rural y se trata de

un estudio de caso específico centrado en el distrito de Huancabamba, lo cual permite profundizar en las necesidades reales de la zona y adaptar la solución al contexto local.

D. **Procedimiento:** El desarrollo de la investigación siguió los siguientes pasos:

- Revisión bibliográfica, informes técnicos y diagnóstico preliminar sobre el estado de la conectividad en Huancabamba.
- Diseño y aplicación de una encuesta digital orientada a conocer las tecnologías de acceso actuales, calidad del servicio, usos del internet y expectativas de los pobladores.
- Utilización de software de simulación como OptiSystem para modelar la red, determinar la ubicación de los elementos ópticos, nodos, divisores, OLT y ONT.
- Verificación de que el diseño cumple con los parámetros exigidos, garantizando calidad, cobertura y escalabilidad futura.
- Los elementos de red, diseño y simulación usados en la propuesta han sido evaluados por expertos en redes de telecomunicaciones.

2.4 MARCO LEGAL

En el Perú, el despliegue de redes FTTH está regulado por normas que buscan garantizar calidad, libre competencia y acceso equitativo, las entidades como OSIPTEL y el MTC supervisan su cumplimiento, promoviendo la expansión de la fibra óptica en todo el territorio, especialmente en regiones rurales con menor conectividad.

2.4.1 Constitución política del Perú

Gracias a reformas recientes, la Constitución Política del Perú

reconoce el acceso a internet como un derecho fundamental, promoviendo su disponibilidad para toda la población. Esta normativa obliga al estado a garantizar el acceso y desarrollo de las tecnologías necesarias, incluyendo redes FTTH, ya que el internet se ha consolidado como un medio clave para garantizar el ejercicio de derechos esenciales, entre ellos la educación, la salud, el acceso a la información y la participación ciudadana. En consecuencia, se hace referencia a las siguientes leyes:

- **Ley N° 31878: Ley que reconoce el derecho a acceso a internet como derecho constitucional.**

El Perú incorporó el acceso libre a internet como un derecho fundamental, priorizando zonas rurales y comunidades nativas, en esta reforma constitucional promueve la conectividad mediante inversiones públicas y privadas, para lograr ello se prevé la participación de inversiones públicas y privadas ya que la reciente modificación incluyó el ajuste del artículo 2 y la incorporación del artículo 14-A en la Constitución Política del Perú (Absalón Montoya Guivin, 2020).

- **Ley N° 29904: Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica.**

La ley conocida como “Ley para Fomentar la Banda Ancha y el Desarrollo de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica” tiene como objetivo ampliar y facilitar el acceso a la banda ancha en todo el territorio nacional. Su finalidad abarca promover la instalación de infraestructura, así como el desarrollo de servicios, contenidos digitales, aplicaciones y habilidades tecnológicas (Presidente La República, 2015).

- **Ley N° 31809: Ley para el fomento de un Perú conectado.**

Conocida como ley fomentar un Perú conectado, esta norma tiene como propósito fortalecer la conectividad a internet, especialmente en áreas rurales y de prioridad social, a través de la modernización de redes con tecnología de nueva generación, su reglamento aprobado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), busca garantizar un servicio de internet con mayor calidad y velocidad (Peruano et al., 2023)

2.4.2 Leyes y decretos

Dentro de los nuevos decretos en el Perú se detalla los siguientes en mención, así mismo los estándares de la UIT y la IEC establecen las reglas técnicas y operativas para garantizar el buen funcionamiento de las redes GPON y FTTH:

a. Resolución Ministerial N° 717-2024-MTC/01.03

Esta medida se fundamenta en la declaración de interés nacional y utilidad pública del proyecto, lo que faculta al Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) a actuar de acuerdo con el marco legal vigente. El propósito de esta resolución es garantizar el despliegue de infraestructura crítica que amplíe el acceso a los servicios de telecomunicaciones en el país, especialmente en las zonas con menor cobertura (El Peruano, 2024).

b. Resolución Ministerial N° 689-2021-MTC/01

Permite reestructurar proyectos que no cumplieron metas y otorga al estado margen para mejorar la gestión de red, dispone la finalización

del contrato con Azteca Comunicaciones Perú S.A.C., encargada de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica, además transfiere temporalmente la gestión de esta red a PRONATEL para asegurar la continuidad del servicio, mientras se define un nuevo esquema operativo (Ministerio de transporte y comunicaciones, 2021).

c. Decreto Supremo N° 002-2020-MTC

Aprobado el 24 de enero de 2020, este reglamento modifica la Ley N° 29904 (Ley de Promoción de la Banda Ancha y Construcción de la Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica) con el fin de ajustar diversas disposiciones y fortalecer el despliegue e integración de la red de fibra óptica en todo el país, promoviendo una mayor cobertura de servicios de banda ancha de alta velocidad y capacidad (El Peruano, 2020).

d. Resolución Ministerial N° 0808-2020-MTC/01.03

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones otorgó a Corporación Fibra Óptica del Perú S.A.C. una concesión exclusiva por 20 años para ofrecer servicios públicos de telecomunicaciones en todo el país, el primer servicio autorizado es el portador local conmutado y la resolución aprueba el contrato correspondiente y autoriza a las autoridades del MTC para firmar todos los documentos necesarios. Si en 60 días hábiles la empresa no suscribe el contrato, la concesión quedará sin efecto (Montero Reyes, 2020).

2.4.3 Estándares de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) en redes GPON y FTTH.

A) ITU-T G.984.1 – Requisitos de servicio para GPON

Establece las funciones básicas de la red GPON, su arquitectura mínima y los criterios técnicos esenciales para garantizar soporte eficiente de servicios como voz, datos y video. Además, define parámetros clave como velocidad de transmisión, ancho de banda, escalabilidad y compatibilidad con arquitecturas existentes, promoviendo una infraestructura flexible y preparada para el futuro (UIT, 2003, p. 8)

B) ITU-T G.984.2 – Especificación de la capa física (PMD) para GPON

Regula los detalles físicos de transmisión óptica, incluyendo distancias y potencias de señal que asegura la integridad del canal entre OLT y ONU, establece las especificaciones técnicas de la capa física (PMD) en redes GPON y define los parámetros relacionados con la transmisión óptica, incluyendo longitudes de onda, niveles de potencia, tipo de fibra, y requisitos de los transmisores y receptores ópticos tanto en el lado del usuario (ONT) como en la central (OLT), este estándar asegura una comunicación eficiente, estable y compatible entre los distintos equipos en una red GPON (UIT, 2003, p. 10).

C) ITU-T G.984.3 – Especificación de la capa de convergencia de transmisión (TC) para GPON

Describe cómo se encapsulan y distribuyen los datos en GPON, que define cómo múltiples servicios comparten el mismo canal óptico, define las funciones y estructuras de la capa de convergencia de transmisión (TC) en redes GPON, ya que esta capa se encarga de organizar, encapsular y transmitir eficientemente los datos de

distintos servicios (voz, video, internet) sobre la red óptica, establece mecanismos de control, multiplexación y temporización, permitiendo la gestión de tráfico de múltiples usuarios de forma ordenada y con alta calidad de servicio (QoS) (UIT, 2004, p. 8).

D) ITU-T G.984.4 – Especificación de la interfaz de gestión y control de la ONU

Especifica la interfaz de gestión y control entre la unidad de red óptica (ONU) y la terminal de línea óptica (OLT) en redes GPON, define cómo se configuran, supervisan y administran las ONUs de forma remota, garantizando una operación eficiente, interoperabilidad entre equipos y soporte para servicios dinámicos, esta interfaz es clave para facilitar el aprovisionamiento automatizado y la gestión centralizada de la red. (G 984, 2008, p. 288)

E) ITU-T G.9807.1 – Redes ópticas pasivas simétricas de 10 Gbps (XGS-PON)

Define las especificaciones para las redes ópticas pasivas simétricas de 10 Gbps, conocidas como XGS-PON, este estándar permite ofrecer velocidades de 10 Gbps tanto en sentido descendente como ascendente, mejorando significativamente la capacidad de transmisión respecto a GPON y está diseñado para soportar servicios de alta demanda, garantizar calidad de servicio (QoS), y ser compatible con redes existentes, facilitando la evolución hacia mayores anchos de banda sin reemplazar toda la infraestructura (Itu-t, 2023, p. 23)

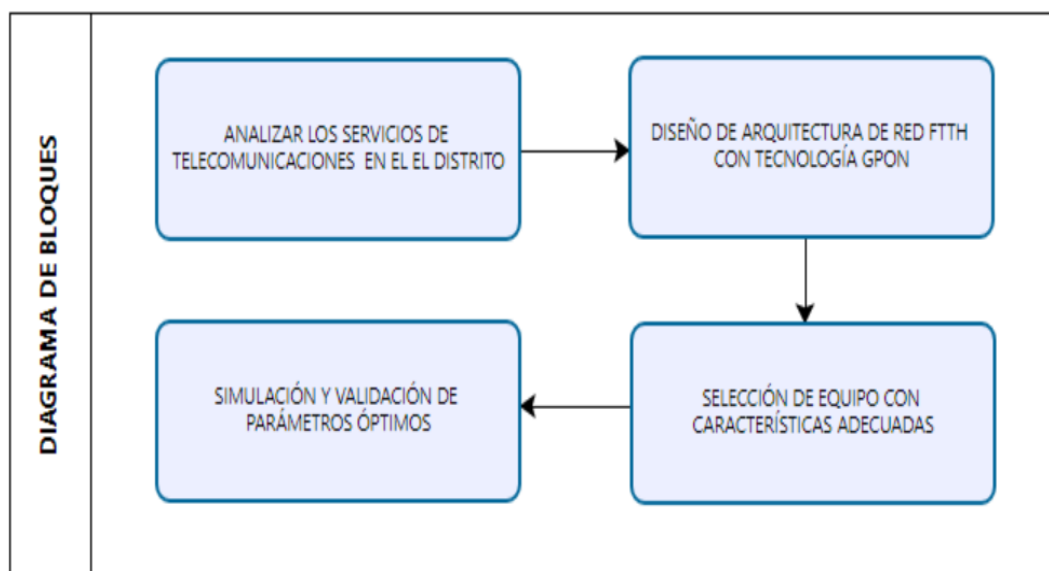
2.5 DIAGRAMA DE BLOQUES O ARQUITECTURA DEL SISTEMA

En el presente proyecto se elaborará un diagrama basado en un análisis de la situación actual de las telecomunicaciones fijas en el Perú, con el fin de fundamentar el diseño de la red FTTH en el distrito

de Huancabamba, provincia de Piura. Este trabajo concluirá con la simulación de la red, mostrando los resultados de las potencias óptimas obtenidas mediante el simulador OptiSystem.

Figura 38

Diagrama de bloques diseño de red FTTH



Nota. Este diagrama de bloques representa el desarrollo de los objetivos específicos. Fuente propia.

2.5.1 Descripción del Diagrama de Flujo

El proyecto parte con una evaluación del contexto actual de los servicios fijos en el distrito de Huancabamba, lo que permite identificar las carencias en conectividad digital que afectan al entorno rural, como base en este diagnóstico se diseña una arquitectura de red FTTH, en la que se determina la ubicación óptima de los elementos pasivos y activos, tomando en cuenta la geografía del lugar y las futuras proyecciones de crecimiento poblacional. Posteriormente, se lleva a cabo la selección técnica de los equipos GPON más adecuados para el entorno rural, priorizando su eficiencia, compatibilidad y facilidad de implementación.

Como parte final, se realizan simulaciones que reproducen el comportamiento real de la red en condiciones operativas, con el fin de verificar la viabilidad del diseño y asegurar que los parámetros de potencia, atenuación y margen cumplan con los estándares

internacionales, este enfoque permite garantizar la calidad del servicio antes de una futura implementación física, ya que todo el proceso está orientado a ofrecer una solución técnica viable, escalable y adaptada a las características geográficas y sociales del distrito.

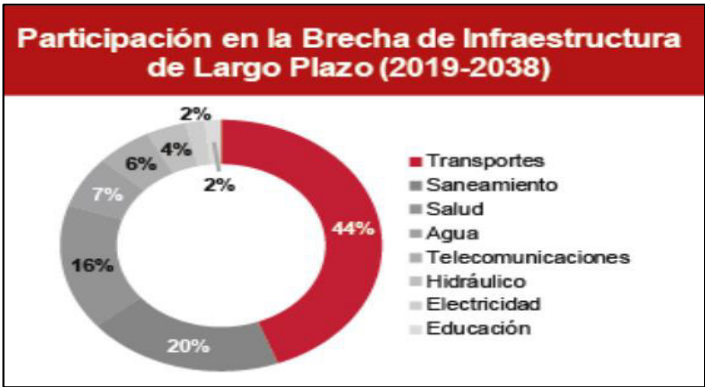
CAPITULO III: DESARROLLO DE LA APLICACIÓN

3.1 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 1: ANALIZAR EL CONTEXTO ACTUAL DE LOS SERVICIOS FIJOS DEL DISTRITO DE HUANCABAMBA.

Para un despliegue adecuado en servicios de banda ancha desplegados en comunidades rurales de Perú, es esencial realizar un diagnóstico detallado de cada zona rural considerando sus características geográficas, económicas y sociales, además se deben implementar soluciones tecnológicas adaptadas a las realidades locales, priorizando las zonas con mayor densidad poblacional y aquellas más alejadas o sin cobertura. La colaboración entre el sector público y privado será clave para lograr un acceso equitativo a las telecomunicaciones.(CEAR LATINOAMERICA, 2025).

El estudio indica que, en un horizonte de cinco años, la brecha a corto plazo hacia el Perú potencial asciende a S/ 117,183 millones, cantidad requerida con miras a alcanzar un acceso básico a la infraestructura equivalente al de países con contextos socioeconómicos y geográficos similares a los peruanos. De este total, el 31 % se destina al sector transporte, seguido por saneamiento con 25 %, salud con 24 % y telecomunicaciones con 10 % (COMEX PERÚ, 2019).

Figura 39
Inversión en infraestructura del Perú



Nota. La proyección de inversión del Estado peruano hasta 2038 asigna solo un 6% al sector de telecomunicaciones, priorizando transporte, saneamiento y salud. Esto evidencia la necesidad de que las empresas privadas incrementen su participación para impulsar el desarrollo de este sector clave. Fuente:

<https://www.comexperu.org.pe/articulo/brecha-de-infraestructura-una-alta-valla-por-superar>

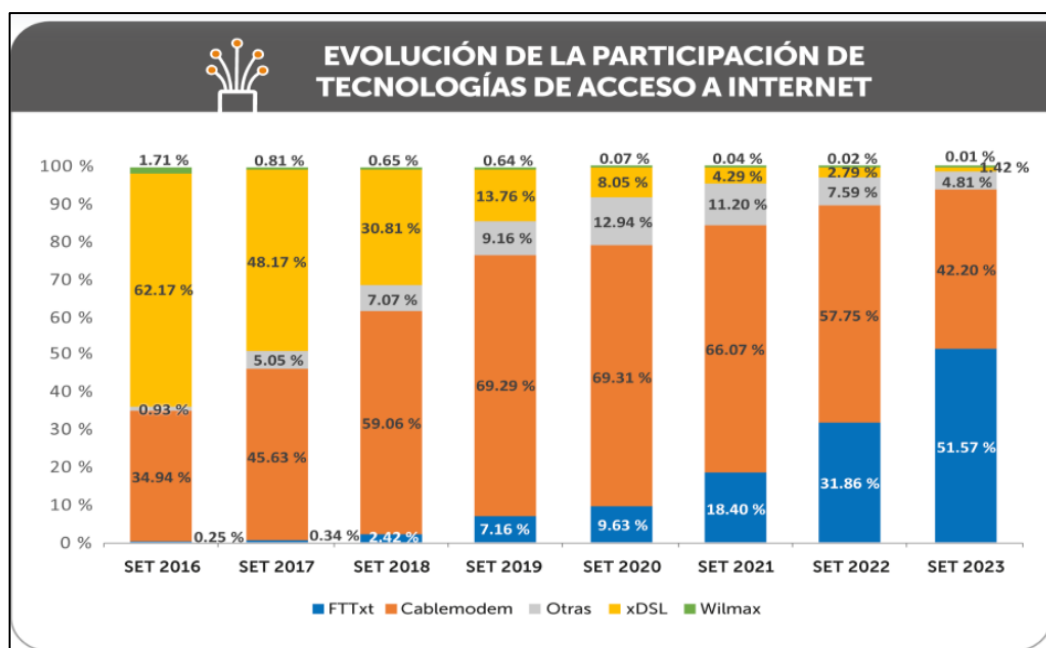
Para alcanzar estándares comparables a los de países desarrollados, como los integrantes de la OCDE y las economías de la alianza del Pacífico, se proyecta que se requerirá una inversión aproximada de S/ 363,452 millones en infraestructura básica a lo largo de las próximas dos décadas (COMEX PERÚ, 2019).

3.1.1 Actualidad de tecnología HFC en el Perú

A nivel nacional, hacia el cierre del tercer trimestre de 2024, las conexiones mediante HFC representaban aproximadamente el 25% del total de accesos a internet fijo, esto refleja una disminución sostenida frente a años anteriores, cuando el HFC lideraba el mercado de conexiones residenciales, la fibra óptica ha alcanzado más del 70% de participación, convirtiéndose en la tecnología preferida por los usuarios peruanos, se estima que Lima metropolitana y el Callao continúan concentrando el mayor número de conexiones de este tipo y sin embargo estas mismas regiones también encabezan el crecimiento en instalaciones de fibra óptica, lo que sugiere un reemplazo progresivo de HFC por tecnologías más modernas, en otras regiones, la presencia de HFC es menor, debido principalmente a limitaciones en la infraestructura coaxial existente y a la preferencia por redes inalámbricas o de fibra en zonas periurbanas y rurales. (ANDIA, 2024)

Figura 40

Participación del acceso a internet desde el 2016 al 2023



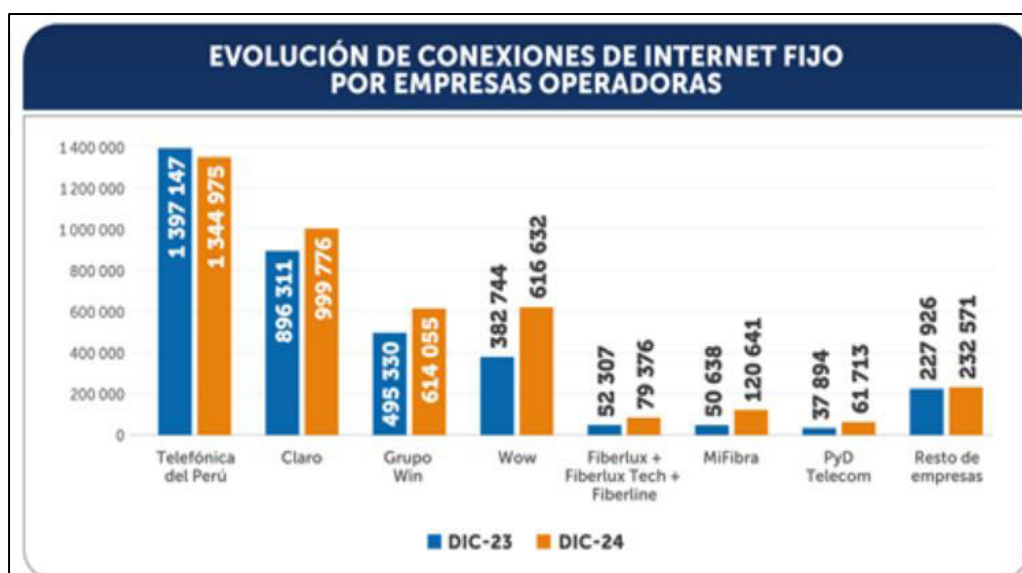
Nota. El panorama actual muestra que, aunque la tecnología HFC sigue teniendo presencia en el mercado peruano de internet fijo, su participación ha ido disminuyendo de manera constante, esta tendencia responde a la creciente demanda de conexiones más rápidas y estables. Fuente: <https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/conexiones-de-internet-fijo-aumentaron-en-5-7-al-tercer-trimestre-del-2023-en-peru/>

3.1.2 Actualidad de tecnología FTTH en Perú

Al tercer trimestre de 2023, la fibra óptica concentró el 73.84 % respecto a las conexiones de internet de banda ancha fija en el país, consolidándose como la principal tecnología, por encima del cable módem (HFC), que cayó al 22.72 %, se registraron más de 2.7 conexiones en fibra óptica que alcanzan en millones, lo que representa un crecimiento anual del 55.62 %. Desde 2019, esta tecnología ha mantenido una expansión sostenida con una tasa promedio de 74.2 % por año, aunque Lima y Callao concentran buena parte de las conexiones, regiones como Ucayali, Tumbes y Puno

destacan por un crecimiento del 30 % en el acceso a internet fijo. (EL PERUANO, 2023).

Figura 41
Cientes por empresa a nivel nacional



Nota. Comparativa de conectividad en el periodo 2023 y 2024 de los principales operadores en el Perú, se muestra la tendencia de abonados por operadore de servicios fijos de internet. Fuente: <https://elperuano.pe/noticia/264856-peru-registro-mas-de-4-millones-de-conexiones-de-internet-fijo-al-cierre-de-2024>

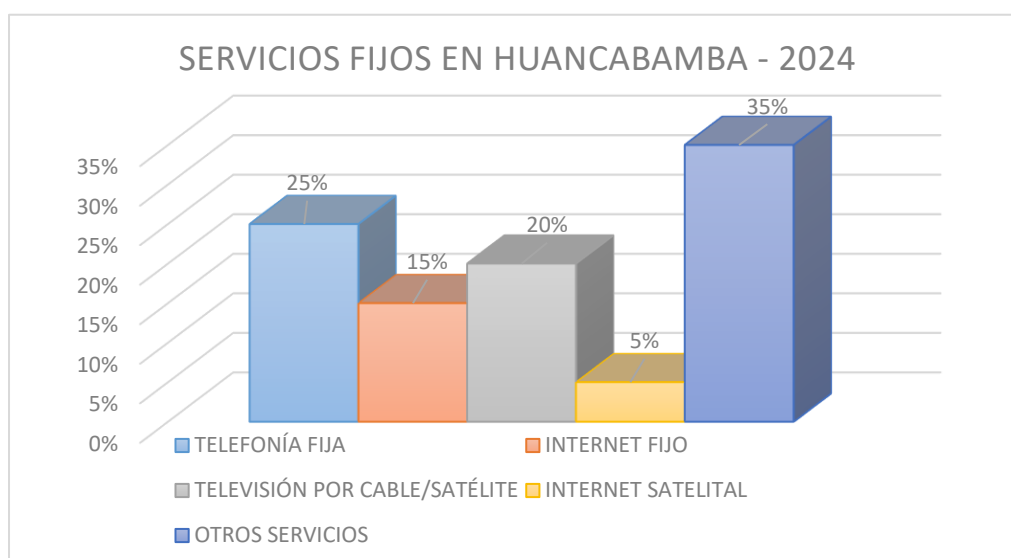
3.1.3 Análisis de acceso a internet fijo en Huancabamba

En el distrito de Huancabamba es un área rural ubicada en la región de Piura, conocida por su compleja geografía montañosa y su baja densidad poblacional, esta situación presenta desafíos significativos en términos de infraestructura y acceso a servicios fijos de telecomunicaciones, en este contexto, el acceso a servicios como telefonía fija, internet y televisión por cable es limitado, pero ha ido mejorando progresivamente debido a esfuerzos gubernamentales y de empresas privadas para conectar las zonas más apartadas.(ANDIA, 2023)

El desarrollo social en el distrito de Huancabamba, Piura, se ve limitado por su geografía montañosa y baja densidad

poblacional. A pesar de los avances en sectores como educación y salud, el acceso a servicios sigue siendo restringido, sobre todo en las zonas rurales. Las actividades agropecuarias continúan siendo las principales actividades económicas, aunque el turismo rural y los proyectos de infraestructura están generando nuevas oportunidades. No obstante, persisten desafíos como la pobreza y la desigualdad de género, los cuales requieren atención con el fin de elevar el bienestar de la población en el territorio (ITP GOB, 2018).

Figura 42
Servicios fijos en Huancabamba 2024



Nota. En Huancabamba, el acceso a internet como servicio básico es limitado, especialmente en zonas rurales. Según Osiptel, el 35 % de la población utiliza internet móvil, 25 % telefonía fija, 20 % televisión por cable o satélite, 15 % internet fijo y 5 % internet satelital, evidenciando que los servicios de internet fijo están muy por debajo de lo esperado. Fuente: <https://datosabiertos.gob.pe/dataset/cantidad-de-conexiones-en-servicio-de-internet-fijo-por-velocidad-de-bajada-empresa>

La conectividad en Huancabamba sigue siendo limitada en muchas zonas debido a la dificultad de acceso y la falta de infraestructura robusta, aunque existen esfuerzos por parte del

gobierno y empresas privadas para mejorar la conectividad en las zonas rurales, la cobertura de internet de alta velocidad aún no llega de manera eficiente a muchas áreas (ANDIA, 2023)

3.1.3.1 Telefonía fija

En Huancabamba, el sector de la telefonía fija muestra signos de declive debido al uso cada vez mayor de los teléfonos móviles, sin embargo algunas áreas urbanas cercanas a la plaza principal de Huancabamba siguen teniendo acceso a líneas fijas, principalmente a través de Movistar, el proveedor más grande del país, estos servicios se brindan mediante conexiones ADSL o líneas de cobre, aunque en zonas rurales alejadas, la cobertura es mucho más restringida, en el centro urbano de Huancabamba, el acceso a telefonía fija podría llegar a ser del 30% de la población, mientras que en áreas rurales más dispersas esta cifra podría descender a solo 10%.

3.1.3.2 Internet Fijo

El acceso a internet fijo en Huancabamba también enfrenta limitaciones, principalmente por la falta de infraestructura moderna y la geografía montañosa que dificulta la instalación de cables de fibra óptica o ADSL en áreas remotas. En las zonas urbanas más cercanas al centro, el servicio de internet fijo mediante fibra óptica es una opción que ha ido expandiéndose, aunque con una cobertura aún limitada.

La mayor parte de la población en el centro de Huancabamba tiene acceso a internet mediante ADSL o fibra óptica si se encuentran cerca de las estaciones de telecomunicaciones principales, pero en zonas rurales, la cobertura es muy baja, siendo los servicios de radioenlaces o internet satelital la principal alternativa. Distribución estimada.

El acceso a internet fijo en el centro de Huancabamba podría alcanzar el 20% de los usuarios locales, mientras que en las zonas rurales esa cifra puede ser inferior al 10%.

3.1.3.3 Televisión por cable y satélite

La televisión por cable en Huancabamba tiene una presencia modesta. En el centro de la ciudad, algunos hogares pueden acceder a servicios de televisión por cable proporcionados por Movistar TV u otros proveedores locales. Sin embargo, en áreas rurales, la televisión satelital es la opción preferida, ya que no depende de la infraestructura terrestre y es más accesible en zonas geográficamente difíciles.

Aproximadamente el 25% de los hogares en el centro urbano pueden contar con acceso a televisión por cable, mientras que el 20% en áreas rurales utilizan servicios de televisión satelital.

3.1.3.4 Internet Satelital

El uso de internet satelital está aumentando en las zonas rurales de Huancabamba, especialmente en áreas donde los métodos tradicionales de conectividad fija no son viables, las empresas especializadas han comenzado a ofrecer soluciones de internet satelital, que permiten a los hogares más alejados tener acceso a servicios de navegación y comunicación a través de satélites geoestacionarios.

Aunque el costo de este servicio sigue siendo relativamente alto, el 5% de los miembros de la comunidad rural en Huancabamba tiene acceso a internet satelital, principalmente en áreas remotas donde otros servicios son inaccesibles.

El distrito de Huancabamba se enfrenta a varios retos en cuanto al desarrollo en diversas áreas, pero también está experimentando avances importantes.

En el ámbito de la salud, el acceso a servicios médicos se ha visto limitado por la geografía montañosa de la zona, lo que dificulta la atención oportuna, especialmente en las comunidades más alejadas, sin embargo, la presencia de centros de salud y brigadas médicas móviles ha mejorado gradualmente el acceso a la atención básica, a pesar de ello la falta de especialidades y de recursos en infraestructura sanitaria sigue siendo un desafío.

Respecto a la tecnología, Huancabamba enfrenta un rezago en infraestructura tecnológica, y si bien en algunas áreas urbanas ya hay acceso a internet y telefonía móvil, muchas zonas rurales aún carecen de una conectividad adecuada, lo que limita el acceso a información, servicios y oportunidades para el desarrollo digital, sin embargo, se están llevando a cabo esfuerzos para mejorar la cobertura, lo que podría facilitar el crecimiento económico y social de la región (PUNKU.OSIPTEL, 2024).

En cuanto a la seguridad, el distrito de Huancabamba presenta desafíos relacionados con su ubicación rural y la presencia limitada de autoridades policiales, en las áreas más alejadas, los índices de criminalidad suelen ser bajos, pero la falta de presencia constante de la policía genera preocupación sobre el control de la seguridad en ciertas zonas, las autoridades locales han comenzado a implementar programas de seguridad ciudadana, con el involucramiento de los miembros de la comunidad, para mejorar la situación.

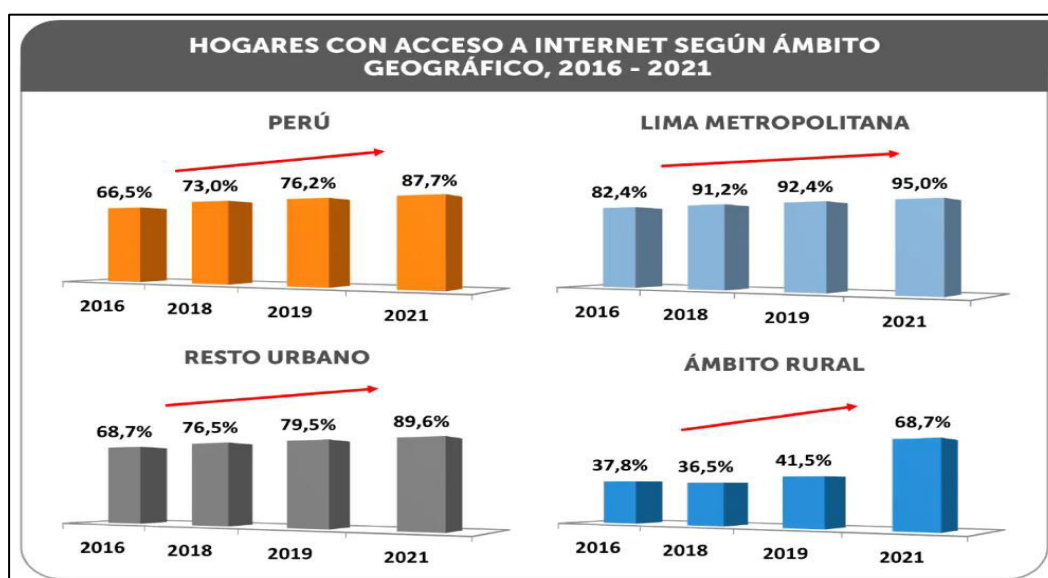
En el ámbito de la educación, Huancabamba ha logrado avances en la cobertura escolar, aunque la calidad educativa sigue siendo un reto, las escuelas en las zonas rurales enfrentan dificultades debido a la insuficiencia de instalaciones adecuadas, recursos y materiales pedagógicos, sin embargo, las autoridades locales en colaboración con organizaciones no gubernamentales están trabajando en mejorar la capacitación docente y en promover la educación en nuevas tecnologías para los estudiantes.

Por último, en términos de economía, la actividad principal de Huancabamba sigue siendo la agricultura, con cultivos como la papa, maíz y café, la falta de infraestructura adecuada y las dificultades para acceder a mercados más grandes limitan el crecimiento económico de la región, sin embargo, la diversificación de actividades económicas, junto con iniciativas de turismo rural y sostenible, podrían abrir nuevas oportunidades para el desarrollo económico en los próximos años.

En resumen, Huancabamba es un distrito con importantes retos en salud, tecnología, seguridad, educación y economía, pero también con un potencial considerable para superar estas dificultades mediante esfuerzos sostenibles y colaborativos entre las autoridades, la comunidad y diversas organizaciones.

El despliegue de redes de banda ancha en las áreas rurales del Perú enfrenta múltiples limitaciones que ralentizan su desarrollo.

Figura 43
Acceso en internet según la geografía del Perú



Nota. Las limitaciones económicas y la falta de acceso a tecnología frenan el uso de internet. Según Osiptel, entre 2016 y 2021 hubo importantes avances en Lima y en otras zonas urbanas, pero en el ámbito rural el progreso ha sido reducido y la conectividad en los hogares sigue siendo baja. Fuente: <https://t21.pe/peru-8-millones-hogares-tienen-internet>

3.1.4 Encuesta de satisfacción de los pobladores de Huancabamba

Para el análisis del presente proyecto, se realizó una breve encuesta difundida a través de redes sociales para los pobladores de Huancabamba, con la finalidad de poder obtener datos reales y exactos del contexto actual de las telecomunicaciones en lo que va del 2025.

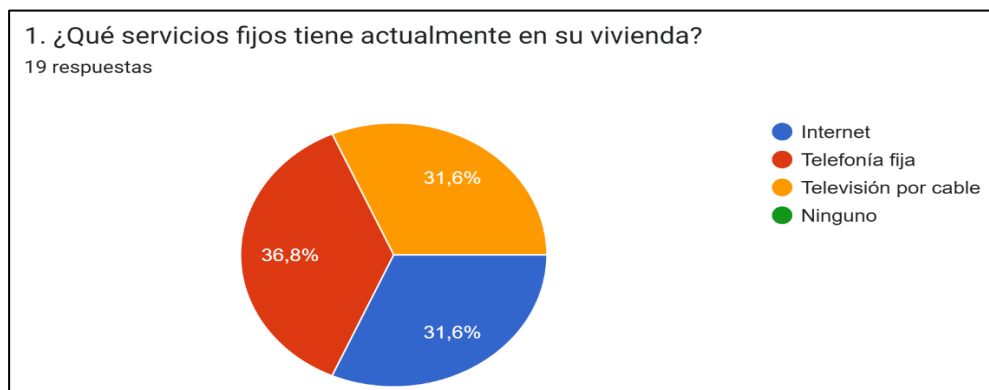
Dentro de la muestra fueron considerados los meses de mayo y junio, de lo cual se obtuvieron 19 encuestas mediante un formulario Google, y con ello se registraron los siguientes datos:

Link: <https://forms.gle/ZKE7ArPxTvxiDra97>

A) ¿Qué servicios fijos tiene actualmente en su vivienda?

Figura 44

Servicios fijos que cuentan actualmente en su vivienda

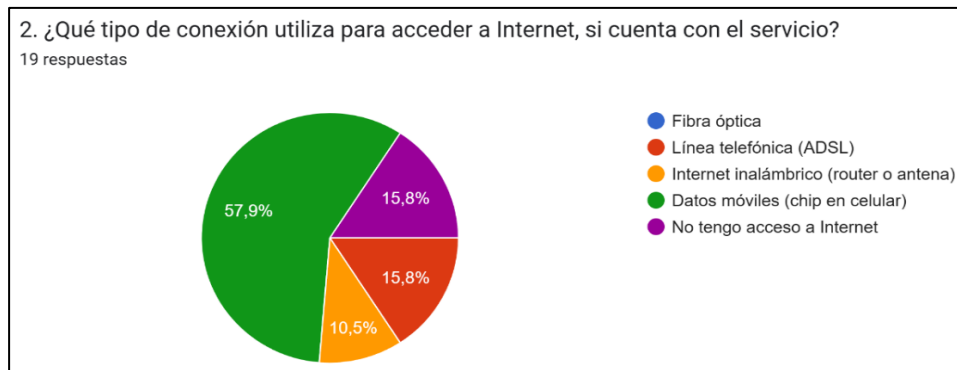


Nota. Como resultado se obtuvo que un 36.8% (7 personas) cuentan con telefonía fija, 31.6% (6 personas) cuentan con internet móvil y el 31,6% (6 personas) cuentan con Televisión por cable. Fuente: Elaboración propia.

B) ¿Qué tipo de conexión utiliza para acceder a Internet, si cuenta con el servicio?

Figura 45

Conexión que utiliza para acceder a internet

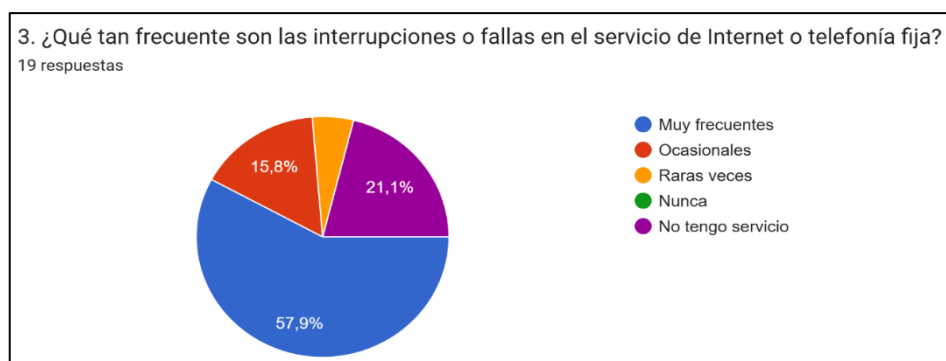


Nota. De la consulta 2 el resultado que se obtuvo es un 57.9% (11 personas) cuentan datos móviles, 15.8% (3 personas) cuentan con línea telefónica, 15.8% (3 personas) no cuentan con acceso a internet y el 10,5% (2 personas) cuentan con internet inalámbrico. Fuente: Elaboración propia.

C) ¿Qué tan frecuente son las interrupciones o fallas en el servicio de Internet o telefonía fija?

Figura 46

Que tan frecuente son las interrupciones o fallas en el servicio de internet



Nota. En la consulta 3 los usuarios consideraron que el 57.9% (11 personas) muy frecuente, 21.1% (4 personas) no cuentan con servicio, 15.8% (3 personas) ocasionalmente y el 5,3% (1 persona) raras veces. Fuente: Elaboración propia.

D) ¿ Considera que el servicio que recibe es suficiente para sus necesidades (trabajo, estudio, comunicación)?

Figura 47

Considera que el servicio que recibe es suficiente para sus necesidades

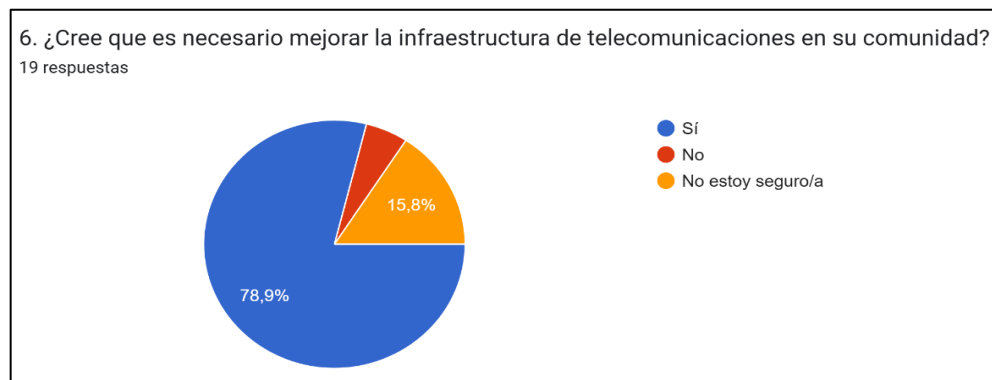


Nota. En la consulta 4 los encuestados mencionan que el 63.2% (12 personas) a veces, 21.1% (4 personas) si completamente, 10.5% (2 personas) no cuentan con servicio y el 5,3% (1 persona) no le satisface sus necesidades. Fuente: Elaboración propia.

E) ¿ Cree que es necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en su comunidad?

Figura 48

Cree que es necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones en su comunidad



Nota. Los pobladores consideran que en base a esta consulta el 78.9% (15 personas) sí, 15.8% (3 personas) no está seguro y el 5.3% (1 personas) considera que no. Fuente: Elaboración propia.

A partir del análisis de las encuestas realizadas en el distrito de Huancabamba, se identificaron diversas carencias en el acceso y calidad de los servicios de telecomunicaciones; una parte de los hogares dispone de servicios como telefonía fija, internet móvil o televisión por cable; sin embargo, el uso principal para conectarse a internet sigue siendo a través de datos móviles, lo que refleja una infraestructura limitada y además los usuarios reportan que las interrupciones en el servicio son frecuentes, afectando directamente su uso cotidiano, ante este panorama, existe un consenso claro entre los encuestados sobre la urgencia de mejorar la infraestructura local, lo que refuerza la necesidad de implementar soluciones más robustas y modernas que garanticen una mejor conectividad para la población.

3.2 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 2: DISEÑAR LA ARQUITECTURA DE RED FTTH Y LA CORRECTA UBICACIÓN DE ELEMENTOS ÓPTICOS PARA SU DESPLIEGUE.

La planificación y puesta en marcha de una red de fibra óptica GPON en una zona rural del Perú no solo es viable, sino también una estrategia clave para el desarrollo socioeconómicos de estas comunidades, a través de una planificación detallada y el uso de tecnologías adecuadas, se puede superar los retos geográficos y económicos para proporcionar conectividad de alta calidad, contribuyendo a la inclusión digital y al bienestar de la población rural.

En el presente proyecto se está considerando usar Google Earth Pro y AutoCAD para desplegar 11,591km aproximado de red de fibra óptica, el Diseño parte desde la central el cual llamaremos NODO donde se ubican los elementos activos de transmisión de la red, hasta el último elemento pasivo.

3.2.1 Diseño en Google Earth Pro

Mediante el Google earth se realizará la sectorización de huellas como primer filtro al diseño y poder identificar la geografía de la zona, así mismo poder visualizar el recorrido y apoyo de la fibra

óptica en la posteria existente de alumbrado público, adicional a ello poder identificar la cantidad de abonados existentes en el distro de Huancabamba.

Tabla 1

Índice de cobertura del distrito de Huancabamba.

ITEM	TOTAL DE HP COBERTURA	DISTRITO	PLANOS	HOGARES
1	2130	HUANCABAMBA	SECTOR 1 - H	630
2			SECTOR 2 - H	750
3			SECTOR 3 - H	750
TOTAL DE HP				2130

Nota. Las consideraciones de cobertura en la zona de Huancabamba será aproximadamente 2130 hogares, para lo cual se ha sectorizado en 3 ejes, cada uno detallado en la tabla 1. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2 Huella del distrito y sectorización

El diseño de la red FTTH en Google Earth abarca tres sectores cubiertos estratégicamente, utilizando mapas detallados para optimizar la planificación de la infraestructura.

Figura 49

Huella cobertura de red FTTH en el distrito de Huancabamba



Nota. Este enfoque permite visualizar de manera precisa la distribución de las fibras ópticas, puntos de conexión y la topografía local, cada sector ha sido seleccionado para garantizar cobertura eficiente y de alta calidad, maximizando el rendimiento de

la red y facilitando futuras expansiones tal y como se muestra la figura 48. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.1 Huella del sector 1

Este sector estará conformado por las siguientes avenidas, calle el mirador, calle el centenario, calle el puente y calle Ayabaca, lo cual está dimensionado para la cobertura de 630 hogares pasados, entre ellos la municipalidad distrital, la comisaría y el Centro de salud de Huancabamba.

Figura 50

Huella de cobertura del sector 1



Nota. Se delimitado el sector 1 de color verde para poder diferencia de los otros sectores. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.2 Distribución de elementos pasivos del sector 1

El sector 1, está conformado por 26 CTO y 2,344m de fibra óptica de 48H, incluido 4 reservas de 50m, en la presente imagen se visualiza la ruta del recorrido de la fibra óptica de 48 hilos para el despliegue de la red FTTH.

Figura 51

Huella de distribución de elementos pasivos del sector 1



Nota. Se ha trazado de color azul las líneas de la fibra de 48 hilos y el tramo troncal de color rojo, para poder diferenciar la red troncal. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.3 Huella del sector 2

El sector 2 limita con las avenidas, calle el Altillio, calle Morropón, Calle Madre de Dios y calle Cajamarca, lo cual compromete la cobertura para 750 hogares.

Figura 52

Huella de cobertura del sector 2



Nota. lo cual se ha coloreado de azul para poder diferenciar las huellas de todos los sectores. Fuente: Propia.

3.2.2.4 Distribución de elementos pasivos del sector 2

El sector 2, está conformado por 49 CTO y 3,248.5m de fibra óptica de 48H, incluyendo 8 reservas de 50m, dentro de las CTO se ha considerado colocarlos con íconos de estrella para poder identificar los puntos ubicados y donde se concentrarán.

Figura 53

Huella de distribución de elementos pasivos del sector 2



Nota. Las CTOs se ha considerado colocar el ícono estrella de color celeste y la reserva de 48H de color azul. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.5 Huella del sector 3

EL recorrido del sector 3 está organizado por las calles, avenida Héroes del Cenepa, calle 2 de mayo, calle Huáscar, calle San Martín y calle Morropón, la cual abarca un total de 750 hogares para brindar servicio y con ello el colegio Inca Pachacútec.

Figura 54
Huella de cobertura del sector 3

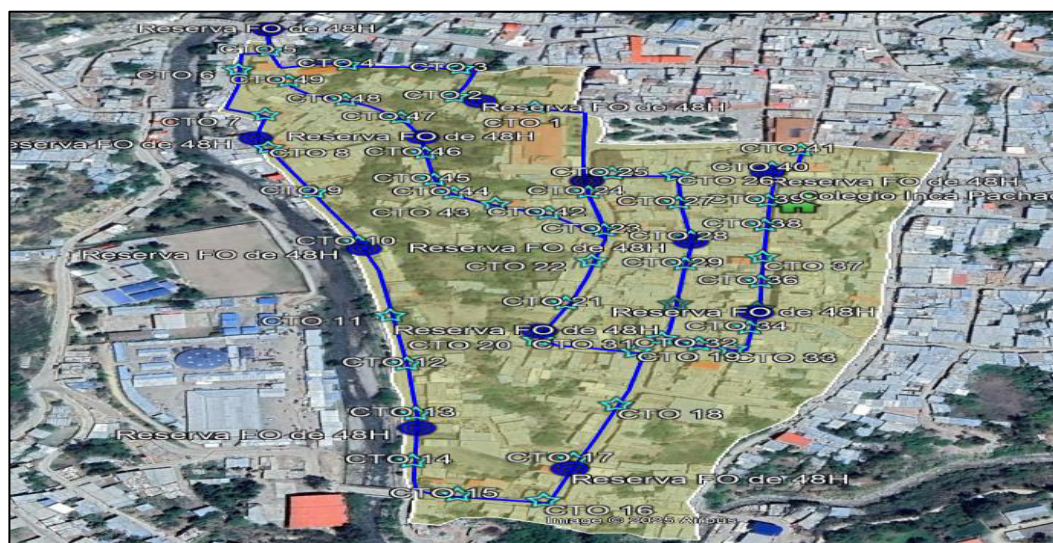


Nota. Se ha considerado sombrear de amarillo el sector 3. Fuente: Elaboración propia.

3.2.2.6 Distribución de elementos pasivos del sector 3

EL sector 2, está conformado por 49 CTO y 3,439.3m de fibra óptica de 48H, incluyendo 12 reservas de 50m, colorado de amarillo para poder diferenciar y visualizar el recorrido de la fibra de 48 hilos.

Figura 55
Huella de distribución de elementos pasivos del sector 3



Nota. En la imagen se visualiza el recorrido de la FO por el sector considerando un despliegue de topología árbol. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Simulación en Autocad 2021

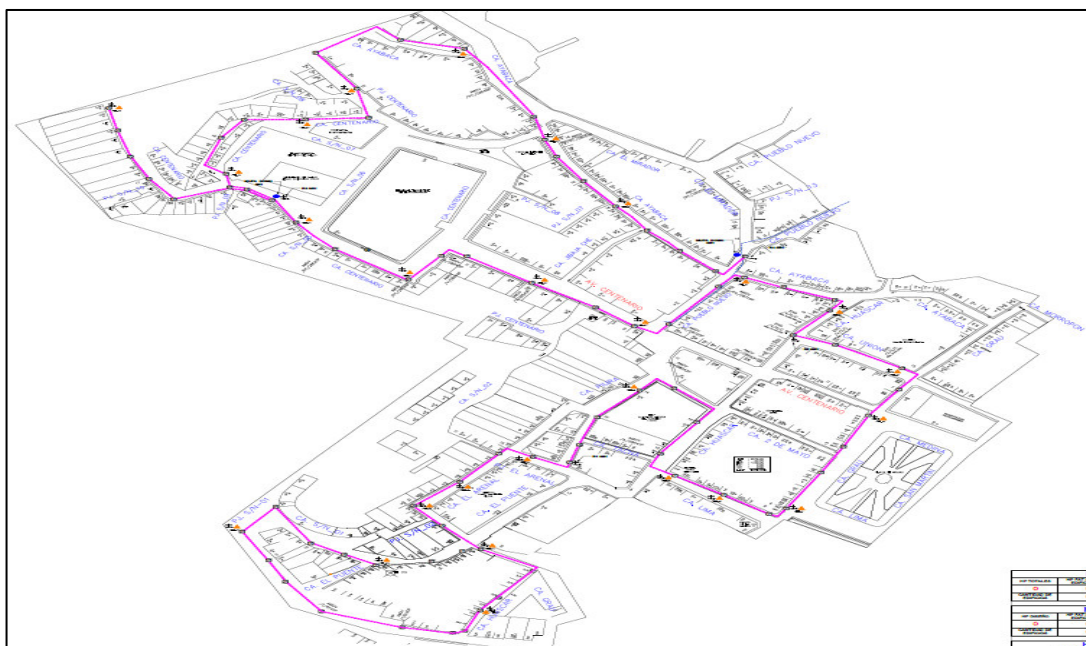
Gracias al primer diseño de la huella inicial en Google earth, se logró identificar los niveles del suelo y segmentar los sectores, con ello podemos elaborar un diseño más exacto con la herramienta AutoCAD para así definir formar exacta donde se apoyará los elementos de red, así poder elaborar el cuadro de empalme óptico y realizar los niveles de splitteo, en base a este diseño final.

3.2.3.1 Diseño final de red del sector 1

Para el diseño final elaborado en Autocad se ha considerado delimitar cada domicilio y las calles del distro perfectamente georreferenciadas por la huella en Google earth pro ya que fue de gran ayuda , con ello se ha registrado las líneas de color morado para el recorrido de fibra de 48h, así mimos la ubicación de los elementos de red.

Figura 56

Diseño final del sector 1 en plano As-built



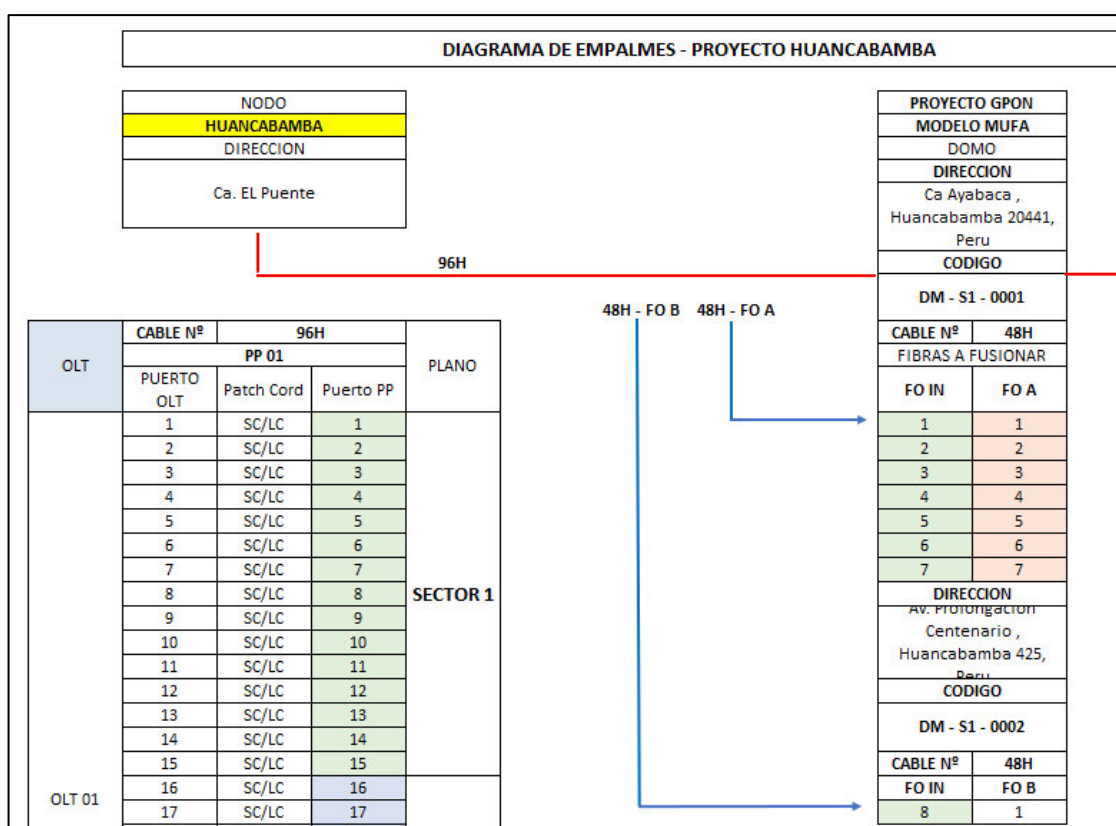
Nota. Este recorrido es elaborado en Autocad en base al diseño inicial en Google Earth.
Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.2 Elaboración de diagrama de empalme 1

Para la elaboración del diagrama de empalme en la tabla 2, se ha considerado realizarlo en el formato Excel para así poder detallar los hilos a intervenir en el despliegue, se ha contemplado tomar la OLT determinada número 1, seguido de la conectividad hacia la ODF considerando los puertos desde el 1 hasta el puerto 15, luego de ello en el recorrido externo, tomaremos las fusiones de la fibra de 96H (troncal), desde el hilo 1 al 7 para fusionar con la fibra A de derivación desde el hilo 1 al hilo 7, finalmente, el hilo 8 de la fibra troncal de 96H se empalmará con el hilo 1 de la Fibra de 48h B de derivación.

Tabla 2

Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 1



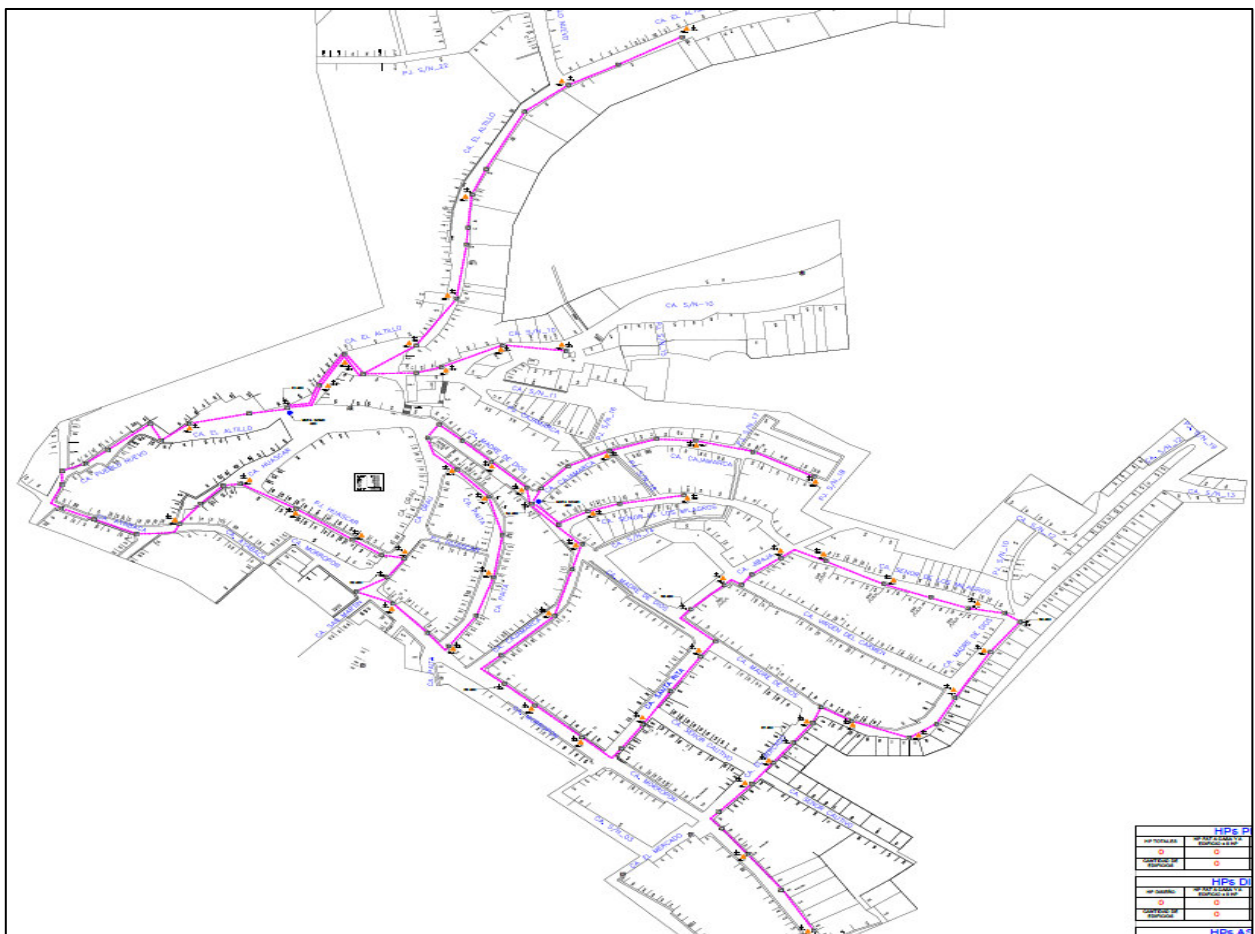
Nota. La elaboración fue realizada en formato Excel para poder considerar todos los hilos de distribución. Fuente: Elaboración propia.

3.2.3.3 Diseño final de red del sector 2

Al igual que el diseño en autocad del sector 1, dentro de este diseño se consideró las líneas de la fibra de 48 hilos en color morado, este plano en autocad es muy importante ya que nos permite imprimirlo en físico y así poder recorrer el sector y considerar cada elemento pasivo seleccionado.

Figura 57

Diseño final del sector 2 en plano As-Built



Nota. Con la elaboración en Autocad se tiene una mejor vista de las rutas por donde pasaría el recorrido de FO. Fuente: Elaboración propia.

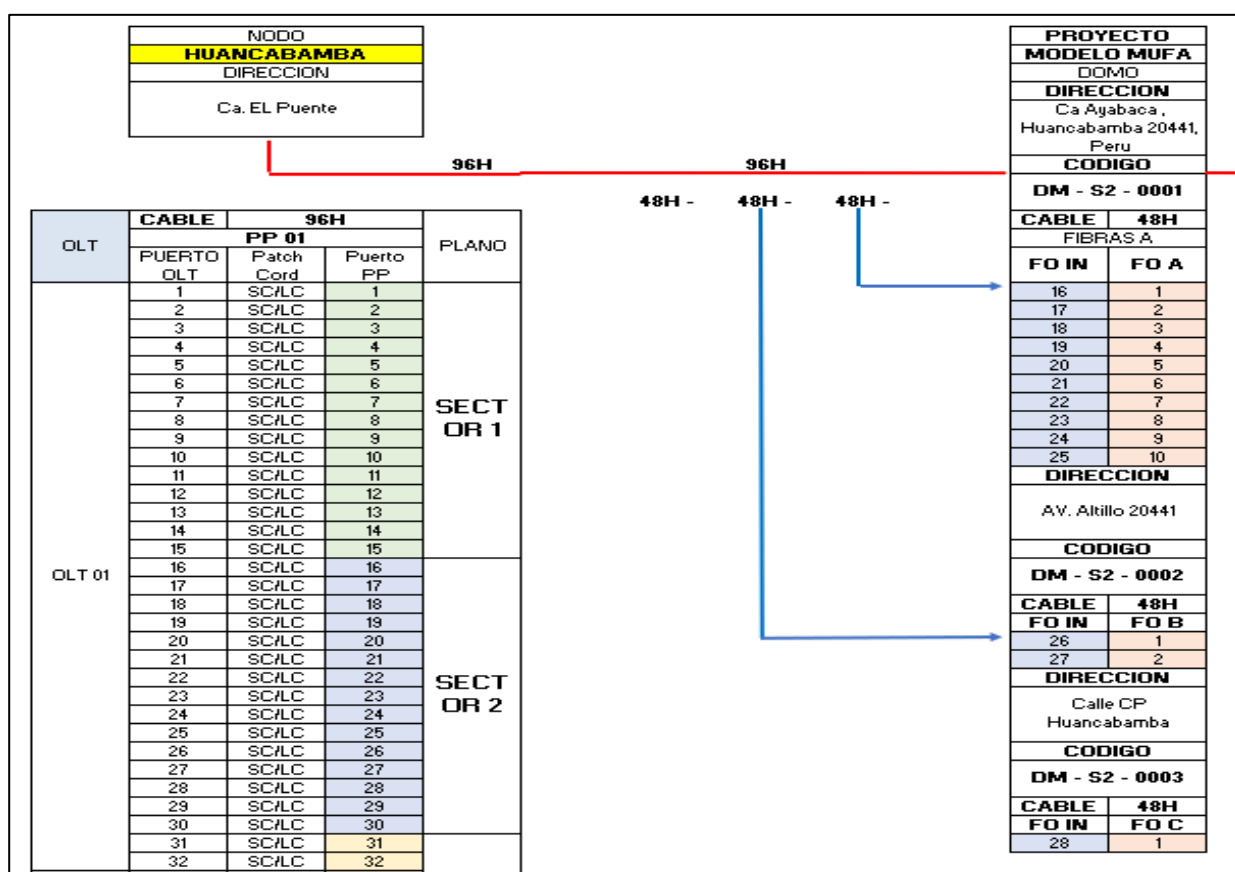
3.2.3.4 Elaboración de diagrama de empalme 1

Para la elaboración del diagrama de empalme del sector 2, estamos contemplando tomar la OLT 1, seguido de la

conectividad hacia la ODF considerando los puertos desde el 16 hasta el puerto 30, luego de ello en el recorrido externo, tomaremos las fusiones de la fibra de 96H lado troncal, desde el hilo 16 al 25 para fusionar con la fibra A de derivación desde el hilo 1 al hilo 10. Posterior a ello, los hilos 26 y 27 de la FO troncal de 96H serán fusionados con los hilos 1 y 2 de la FO B de 48H, y finalmente el hilo 28 de la FO Troncal, se fusionará con el hilo 1 de la FO C de 48.

Tabla 3

Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 2



Nota. De la troncal de 96H se distribuye 2 fibras de 40 hilos, este cuadro es importante para la distribución de hilos. Fuente: Elaboración propia.

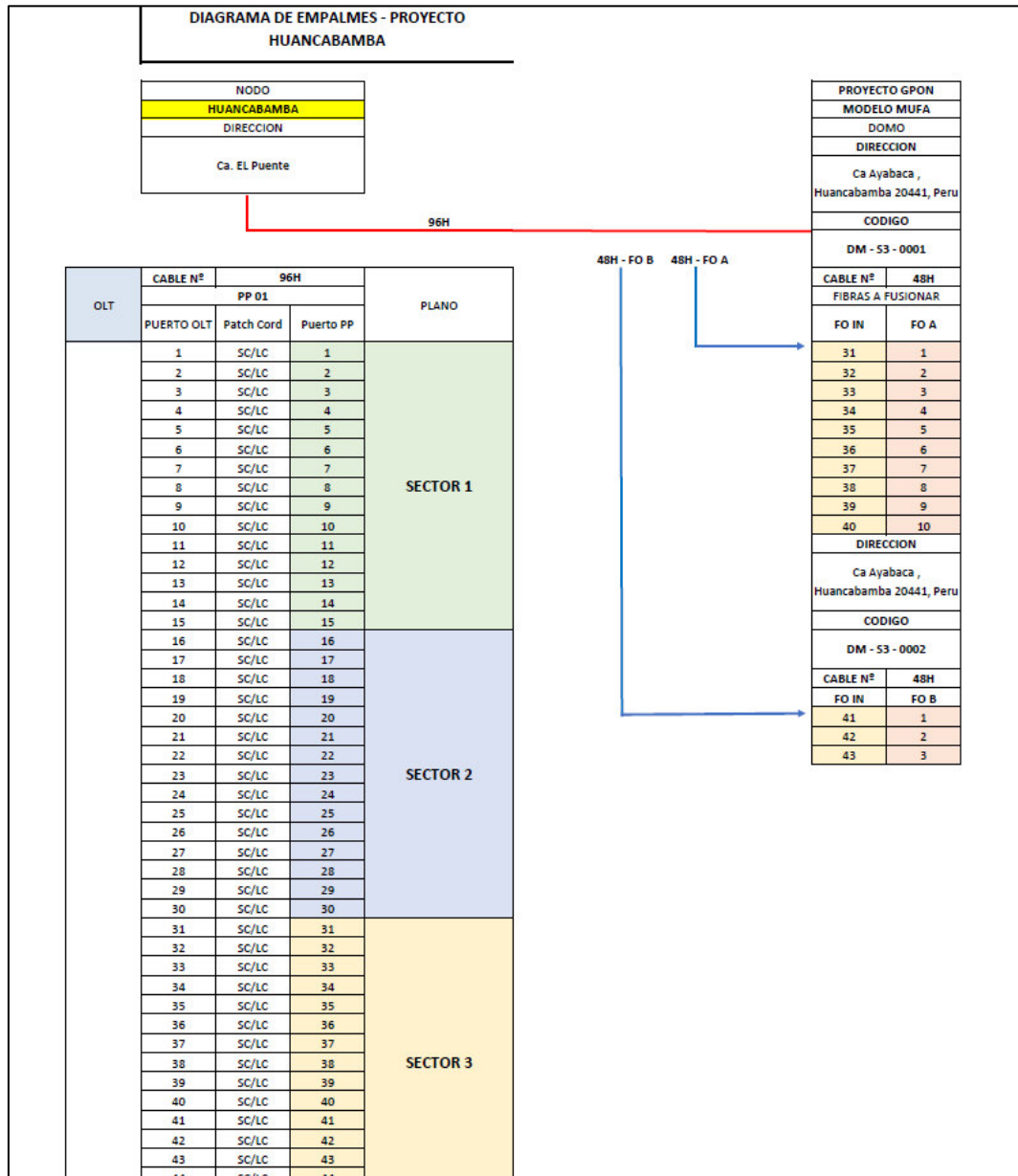
3.2.3.5 Diseño final de red del sector 3

Al igual que los otros sectores ya mencionados se consideró el mismo color para la ruta de la fibra de 48 hilos, este plano es de gran ayuda en impresión A3 ya que se puede

de 48h desde el hilo 1 al 10, así mismo considerar los hilos desde el 41 al 43 de la troncal para fusionarlos con los hilos desde 1 al 3 de la FO B de 48H.

Tabla 4

Diagrama empalme para la ramificación la FO 48 hilos del sector 3



Nota. El diagrama de empalme es para el ultimo sector contempla 2 fibras de 48 hilos para su distribución. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4 Mapa de calor de cobertura

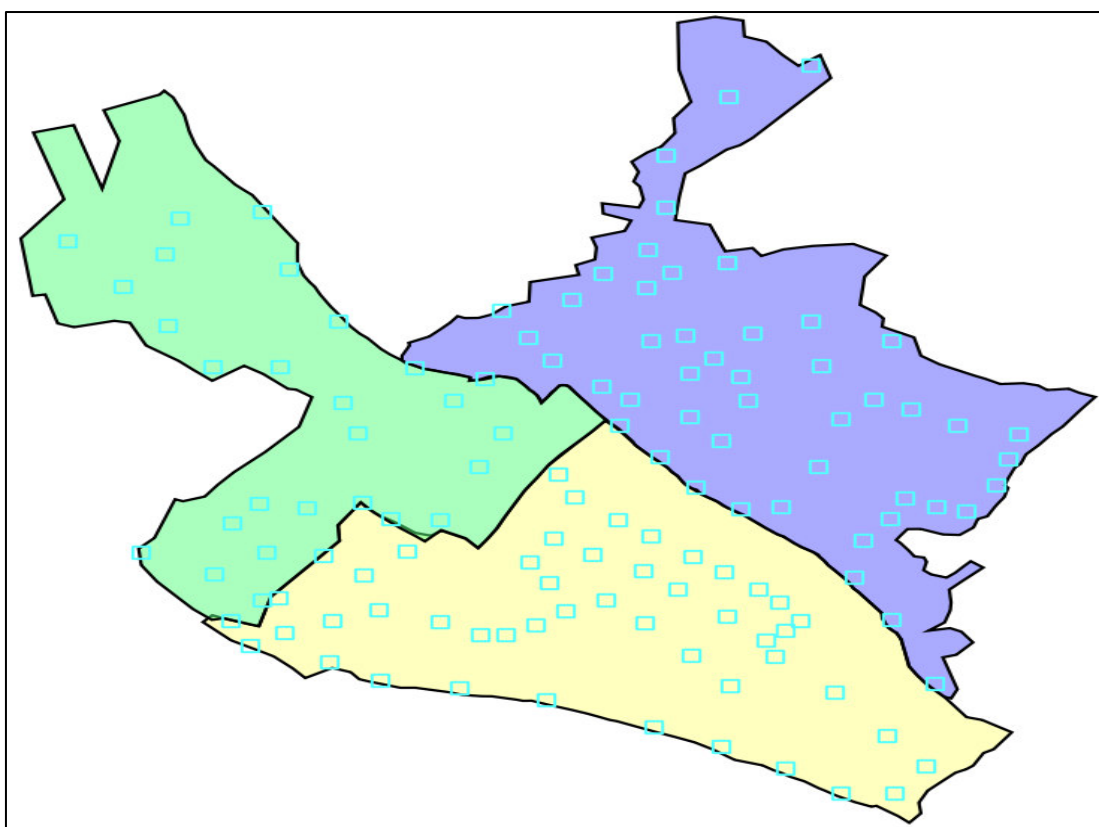
El especialista geógrafo que validó el diseño y distribución de elementos pasivos, considero que se debería agregar el mapa de calor del despliegue de red para poder visualizar la concentración de cobertura, para lo cual se logró realizar el diseño en el software QGIS, y con ello poder exportarlo a Google Earth Pro para poder obtener el resultado final.

3.2.4.1 Elaboración de diseño en QGIS

Se ha realizado el diseño en QGIS delimitando la cobertura de los 3 sectores, se contempla la ubicación de las cajas naps para poder identificar la intensidad del mapa de calor.

Figura 59

Diseño en QGIS de los sectores del distrito de Huancabamba



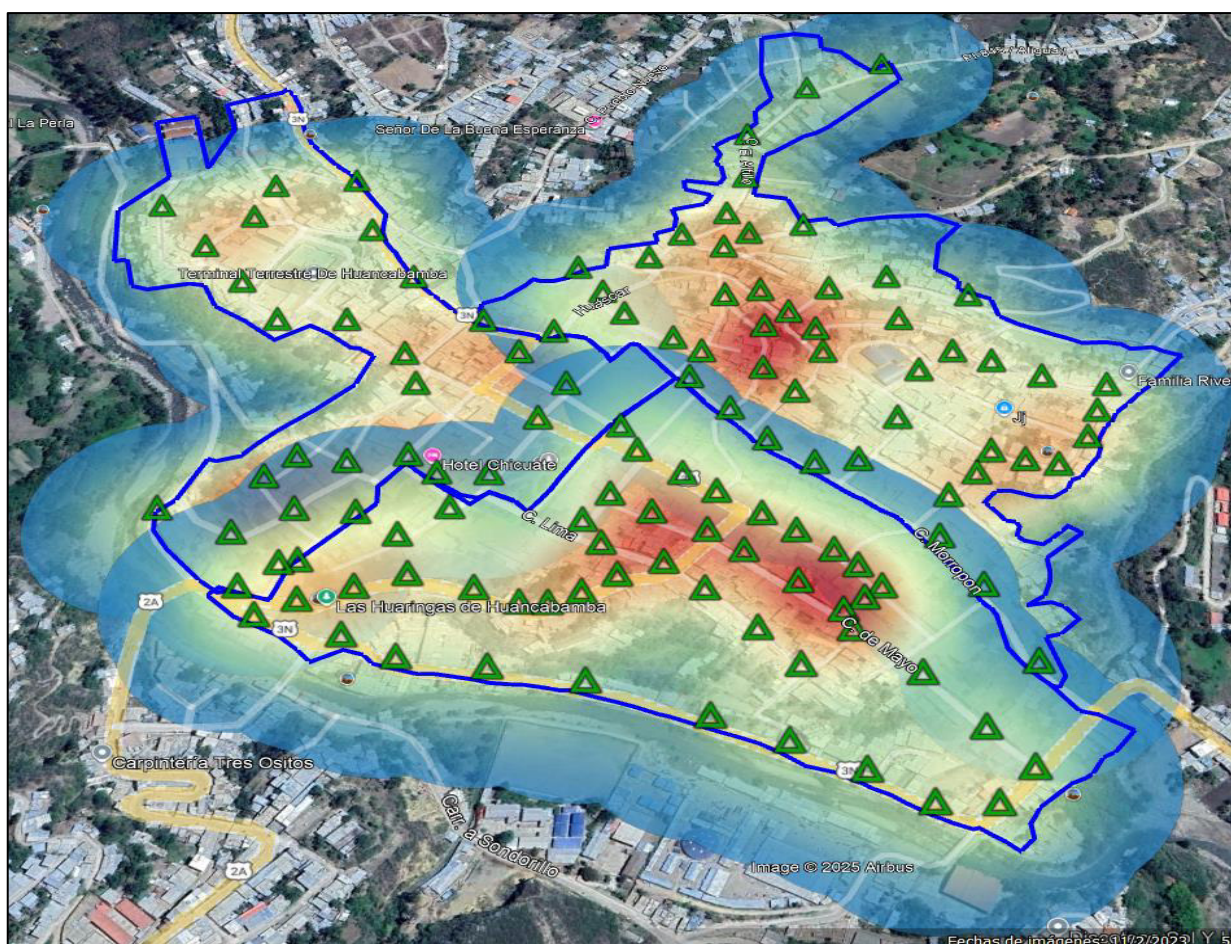
Nota. Este diseño es importante ya que con ella nos dará una vista en el mapa de calor de cobertura. Fuente: Elaboración propia.

3.2.4.2 Elaboración de mapa de cobertura

Para visualizar la mayor concentración de cobertura se ha considerado exportar el diseño de QGIS a Google Earth Pro, en la cual se puede observar que la mayor concentración de cobertura en índice de color rojo son las avenidas, calle unión, av centenario, calle 2 de mayo, calle Lima del sector 3 y calle Cajamarca del sector 3, que es donde precisamente se encuentran tiendas, locales comerciales, hospedajes.

Figura 60

Mapa calor y cobertura del distrito Huancabamba



Nota. La zona roja es donde se encuentra con mayor concentración de cobertura, pero considerando las viviendas de la ciudad, la ramificación y ubicación de las CTO cobertura el 36% de todo el distrito. Fuente: Elaboración propia.

3.3 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 3: SELECCIONAR LOS EQUIPOS Y ELEMENTOS DE RED FTTH CON TECNOLOGÍA GPON CON CARACTERÍSTICAS ADECUADAS PARA LA ZONA RURAL DE HUANCABAMBA.

El diseño de una red FTTH basada en tecnología GPON para la zona rural de Huancabamba busca establecer una propuesta técnica viable que permita en un futuro reducir la brecha digital, este proyecto se orienta a la selección adecuada de equipos ópticos compatibles con el entorno geográfico y social del distrito, garantizando que el diseño sea escalable, eficiente y sostenible. Aunque no contempla la implementación, sienta las bases para un despliegue tecnológico que facilite el acceso a servicios digitales esenciales como educación virtual, salud conectada y comercio electrónico.

Se detalla la lista de equipos activos y pasivos para la red FTTH con tecnología GPON:

3.3.1 Optical Line Terminal (OLT)

El OLT (Optical Line Terminal) es el equipo central en una red FTTH basada en tecnología GPON. Su función principal consiste en gestionar y distribuir el tráfico de datos hacia los usuarios finales a través de una sola fibra que se divide mediante divisores ópticos. Este equipo transforma las señales eléctricas del proveedor de servicios en señales ópticas, posibilitando la transmisión eficiente de internet, voz y video a múltiples hogares. Además, coordina la comunicación bidireccional con las ONT, garantizando un control centralizado y un uso óptimo del ancho de banda en la red de acceso de última milla (DATA, 2023).

Para este proyecto se considera usar el Huawei MA5800-X15 es una OLT de alta capacidad diseñada para ofrecer servicios de acceso de banda ancha en redes ópticas de última generación, como GPON (Gigabit Passive Optical Network) y XG-PON, este equipo es ideal para implementaciones de fibra hasta el hogar

(FTTH), especialmente en aplicaciones residenciales y empresariales que requieren alta eficiencia y escalabilidad.

Figura 61
Equipos OLT MA5800-X15 y MA5800-X7

Product			
Indicator	MA5800-X17	MA5800-X15	MA5800-X7
H x W x D (mm)	486 x 493 x 287	486 x 442 x 287	263.9 x 442 x 268.7
Payload switching capacity of the control board	MPLA/MPLB: 7 Tbit/s MPLG: 7.3 Tbit/s		
Maximum payload bandwidth per service slot	200 Gbit/s		
Number of concurrent 4K video users	16000		8000
Power supply mode	DC power supply (dual for backup)		
Rated voltage	-48 V/-60 V		
Ambient temperature	-40 °C to +65 °C* (normal operation) Minimum startup temperature: -25 °C * +65°C indicates the temperature of the air intake vent of the servicesubrack.		
GPON/XG-PON/XGS-PON ports	16 x 17 = 272	16 x 15 = 240	16 x 7 = 112
Upstream ports (Dual control boards for upstream transmission)	MPLA/MPLB: 8 x 10GE/GE MPLG: 2 x 100GE + 4 x 10GE/GE		

Nota. La Huawei MA5800-X15 es ideal para redes FTTH en zonas rurales con proyección de crecimiento, como Huancabamba. Su alta capacidad y escalabilidad permiten soportar múltiples servicios avanzados, ofreciendo más flexibilidad y potencial de expansión que la versión MA5800-X7, lo que asegura calidad y sostenibilidad a largo plazo. las características en la figura 60. Fuente: <https://carrier.huawei.com/~media/cnbgv2/download/products/networks/ma5800-en.pdf>

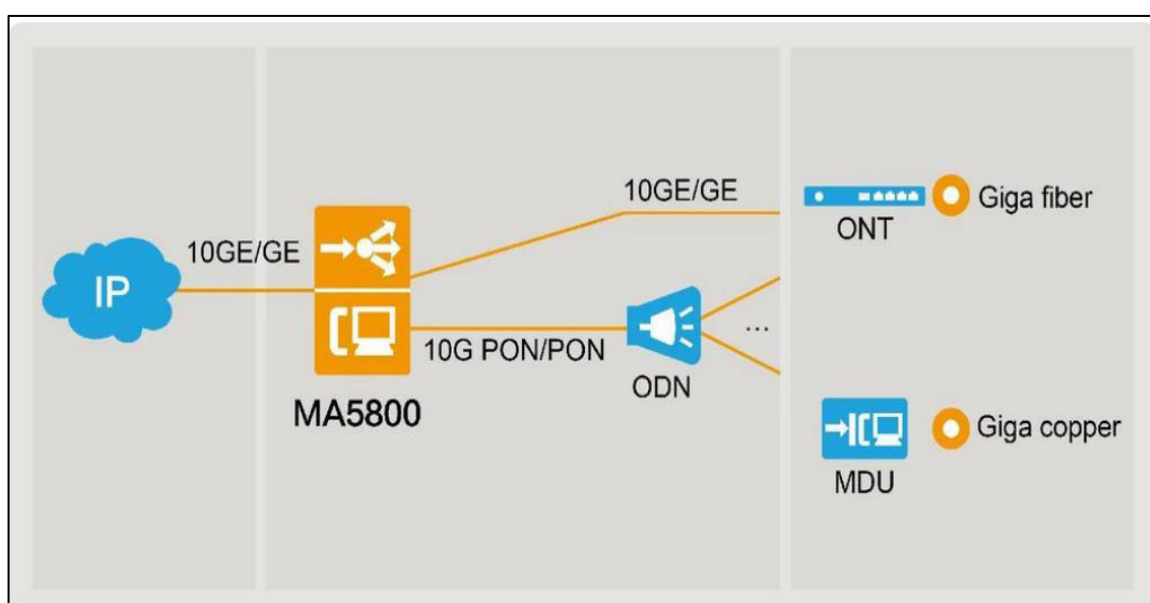
A continuación, se detallan sus principales características técnicas:

3.3.1.1 Arquitectura del Hardware

Su capacidad de hasta 240 puertos GPON y 15,360 usuarios, lo convierte en una solución robusta para redes con alta densidad de usuarios. Además, incorpora sistemas redundantes de energía y ventilación, lo que refuerza su fiabilidad y asegura un funcionamiento continuo en entornos exigentes.

Figura 62

Arquitectura OLT MA5800



Nota. El equipo Huawei MA5800-X15 como se observa en la figura 61 se caracteriza por su diseño modular de 15 ranuras, lo que le permite alojar múltiples tarjetas de acceso y adaptarse a diferentes tecnologías de transmisión óptica, Fuente: <https://www.batna24.com/es/p/huawei-ma5800x15-olt-rmmnm>

3.3.1.2 Tecnologías de Acceso

El modelo MA5800-X15 de Huawei admite diversas tecnologías de acceso óptico, incluyendo GPON y XG-PON, lo que le permite ofrecer velocidades simétricas y asimétricas adecuadas para distintos niveles de demanda, su compatibilidad con estándares como XGS-PON y 10G-EPON lo posiciona como una solución versátil para redes que requieren alto rendimiento, tanto en

entornos residenciales como empresariales (Huawei, 2023).

3.3.1.3 Estabilidad y flexibilidad

El Huawei MA5800-X15 ofrece una estructura modular que facilita su crecimiento progresivo, permitiendo incorporar nuevas tarjetas según aumente la demanda, esta flexibilidad lo convierte en una opción adaptable para distintos escenarios, desde redes residenciales FTTH hasta despliegues comerciales más exigentes (Huawei, 2023).

3.3.1.4 Reducción de latencia y alta velocidad

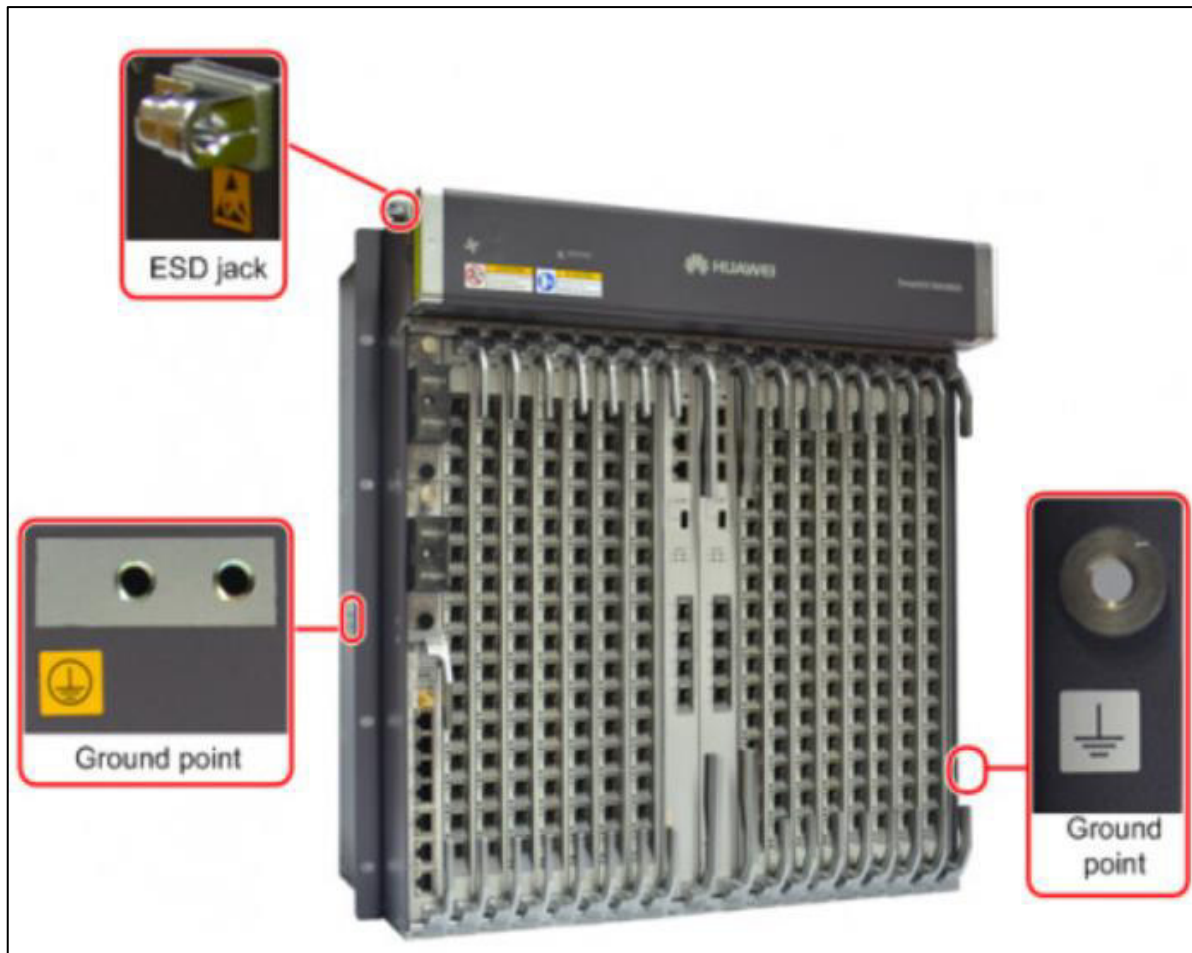
El modelo MA5800-X15 ha sido desarrollado para minimizar los retardos en la transmisión de datos, aspecto esencial en servicios interactivos como videollamadas o plataformas de juego en línea, además incorpora mecanismos de respaldo tanto en el hardware como en la transmisión de datos, lo que permite mantener el servicio activo aun frente a interrupciones técnicas, el MA5800-X15 admite protección de tráfico a nivel de enlace y red, utilizando protocolos como 1:1 para garantizar la continuidad del servicio en caso de fallos en la red (Huawei, 2023).

3.3.1.5 Rendimiento energético y eficiencia

El modelo El Huawei MA5800-X15 opera con una alimentación de -48 V o -60 V DC, dentro de un rango de -38.4 V a -72 V, pudiendo recibir una corriente máxima de 60 A para alimentar todo el chasis, internamente los módulos de fuente de alimentación cuentan con eficiencia de conversión avanzada y un diseño liviano (~0.43 kg), con consumos estáticos de 0.5 W y picos de 4 W según su configuración (Huawei, 2023).

Figura 63

Cabecera principal OLT modelo MA5800-X15



Nota. El Huawei MA5800-X15 es ideal para implementaciones en redes FTTH a gran escala, tanto en áreas urbanas densamente pobladas como en zonas rurales, su alta capacidad de puertos y compatibilidad con tecnologías avanzadas como GPON.
Fuente: <https://www.ycict.net/es/products/huawei-smartax-ma5800-x15-olt/>

3.3.2 Módulo Transceiver o Small Form-factor Pluggable (SFP)

Los módulos ópticos SFP (Factor de forma pequeño conectable) son dispositivos compactos y modulares utilizados para transmitir y recibir señales ópticas en redes de telecomunicaciones, estos módulos permiten la conexión de equipos como switches, routers y OLT a través de fibras ópticas, la Clase C++ hace referencia a un tipo específico de SFP diseñado para soportar determinadas capacidades de velocidad, distancia y tipo de fibra en aplicaciones de alta demanda (REDESZONE, 2025)

Figura 64
Comparativa SFP o transceiver ópticos

	Clase B+	Clase C+	Clase C++	Clase C+++	Clase C++++
Distancia	10 kilómetros	20 kilómetros	40 km	80 kilómetros	120 kilometros
Potencia de salida	-5 dBm a -1 dBm				
Sobrecarga de energía	{0} dBm a 0 dBm				
Sensibilidad del receptor	-28 dBm a -23 dBm	-31 dBm a -26 dBm	-34 dBm a -29 dBm	-37 dBm a -32 dBm	-40 dBm a -35 dBm
Tipo de fibra	Fibra monomodo (SMF)				

Nota. El módulo SFP clase C++ ofrece mayor alcance óptico (hasta 40 km frente a los 20 km del C+), lo que lo hace ideal para redes extensas. Su potencia disminuye la necesidad de repetidores y mejora la estabilidad en entornos con alta atenuación, siendo la mejor opción para diseños rurales exigentes. Fuente: <https://www.softelfth.com/news/difference-between-gpon-sfp-module-b-c-c-c-84369847.html>

3.3.2.1 Tipo de transmisión y velocidad

Un módulo óptico SFP Clase C++ está diseñado para ofrecer velocidades de transmisión de hasta 10 Gbp,. esto lo hace ideal para aplicaciones de red de alta velocidad, como ethernet de 10 Gbps, donde la demanda de ancho de banda es considerable, este módulo es capaz de transmitir datos mediante señales ópticas, lo que permite una mayor capacidad de transmisión a largas distancias en comparación con las conexiones eléctricas tradicionales (YCICT, 2024).

3.3.2.2 Tipo de transmisión y velocidad

Los módulos ópticos SFP Clase C++ están diseñados para transmitir datos a distancias que varían entre 10 km

a 40 km o más, dependiendo de la versión y del tipo de fibra óptica utilizada, para distancias más largas, se suelen utilizar fibras ópticas de tipo monomodo, lo que permite una menor atenuación de la señal y mayor alcance, estos módulos son comúnmente utilizados con fibras ópticas monomodo (SMF) para alcanzar grandes distancias y mejorar la eficiencia de la transmisión de señales (YCICT, 2024)

3.3.2.3 Conector y formato

Al igual que otros módulos SFP, la Clase C++ mantiene el formato pequeño y extraíble, lo que permite una instalación fácil y rápida, sin necesidad de herramientas especializadas, esto permite a los usuarios cambiar o reemplazar el módulo según sea necesario, sin afectar la operación general del equipo, el módulo SFP Clase C++ tiene una interfaz de conexión estándar de LC (Local Connector), (MULTIPLAY TELECOMUNICACIONES, 2024)

3.3.2.4 Compatibilidad y Flexibilidad

Los módulos ópticos SFP Clase C++ son compatibles con equipos de diferentes fabricantes que cumplen con el estándar SFP+, lo que asegura su interoperabilidad en una amplia gama de redes de telecomunicaciones. Gracias a su diseño modular, estos módulos pueden ser configurados para soportar diferentes tipos de aplicaciones, desde conexiones de corta distancia hasta enlaces de larga distancia, esto permite que los operadores de red optimicen su infraestructura de acuerdo con sus necesidades específicas (MULTIPLAY TELECOMUNICACIONES, 2024).

3.3.2.5 Fiabilidad y protección

Los módulos SFP Clase C++ son conocidos por su alta fiabilidad en la transferencia de información digital, minimizando la pérdida de paquetes y asegurando una baja latencia, incluso en redes congestionadas, además, están diseñados para resistir condiciones extremas de temperatura y humedad, lo que les permite operar en entornos variados y exigentes, al utilizar tecnologías ópticas, estos módulos están libres de interferencias electromagnéticas (EMI), lo cual se traduce en una señal con menor interferencia y confiable, ideal para aplicaciones que requieren una alta precisión y baja interferencia

3.3.2.6 Mantenimiento y actualización

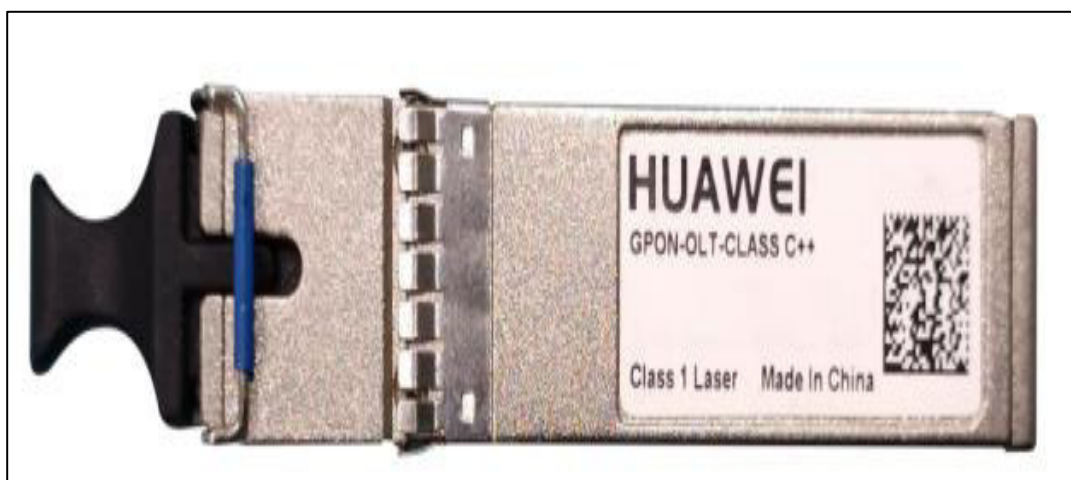
Dado que el módulo SFP Clase C++ es de diseño intercambiable en caliente, su mantenimiento es sencillo, sin necesidad de apagar el equipo al realizar sustituciones, esto minimiza el tiempo de interrupción y garantiza la continuidad de los sistemas, funcionando sin interrupciones, con la capacidad de cambiar o actualizar módulos según la demanda, los operadores pueden adaptar la red conforme a los requisitos de ancho de banda crecientes, asegurando una escalabilidad eficiente sin grandes inversiones iniciales.

El módulo óptico SFP Clase C++ es una opción poderosa y flexible para aplicar en el despliegue de red en el distrito de Huancabamba, ya que requieren alta capacidad de transmisión de datos a largas distancias, gracias a su diseño compacto, bajo consumo energético, y compatibilidad con fibras ópticas monomodo.

este módulo es ideal para operadores de redes que buscan soluciones rentables, eficientes y escalables en entornos de telecomunicaciones avanzados, su fiabilidad y rendimiento hacen que sea una herramienta clave en la construcción de redes ópticas modernas de alta velocidad como se muestra en la figura 64.

Figura 65

Módulo óptico o transceiver (SFP) clase C++

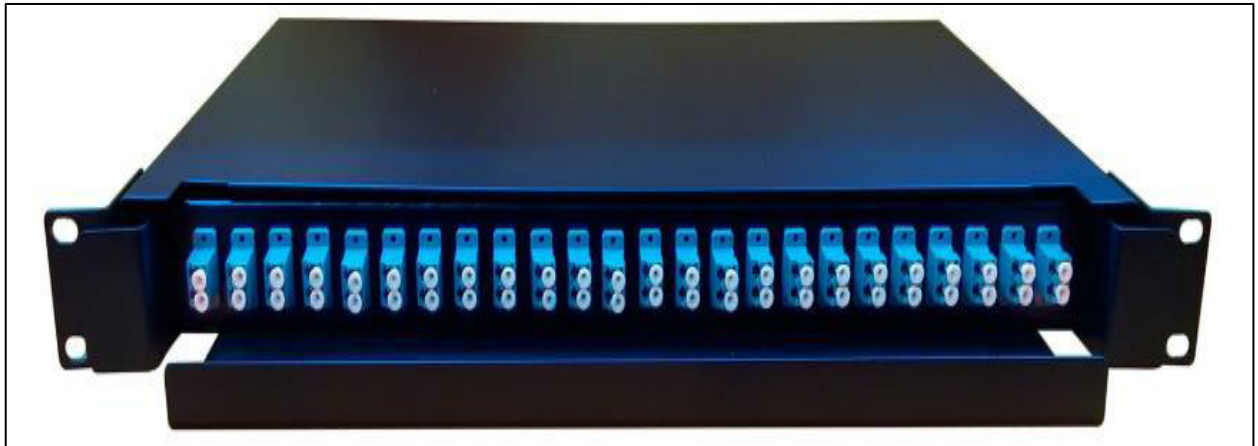


Nota. este módulo es ideal para operadores de redes que buscan soluciones rentables, eficientes y escalables en entornos de telecomunicaciones avanzados, su fiabilidad y rendimiento hacen que sea una herramienta clave en la construcción de redes ópticas modernas de alta velocidad. Fuente: https://multiplay.com.pe/media/file/producto/producto/Transceiver_Huawei_20km_OLT.pdf

3.3.3 Bandeja Optical Distribution Frame (ODF)

El marco de distribución óptica (ODF) es un elemento esencial en las infraestructuras de telecomunicaciones, ya que permite organizar y conectar de forma eficiente los cables de fibra óptica, su función principal es centralizar tareas como la conexión, empalme y distribución de señales ópticas.

Figura 66
Bandeja ODF con entrada LC



Nota. Los ODF facilitan así el mantenimiento, la protección del cableado y una gestión ordenada del sistema de fibra como se observa en la figura 65. Fuente: <https://opticoax.com/producto/1-1-bandeja-de-fibra-optica-con-adaptadores-lc-pc-upc-monomodo/>

Las bandejas ODF son componentes esenciales en la gestión asociadas a redes ópticas de alta capacidad, proporcionando organización, protección y accesibilidad a las conexiones de fibra, contribuyendo a una infraestructura más ordenada y eficiente.

3.3.3.1 Diseño

Las bandejas ODF están disponibles en versiones modulares, lo que permite añadir más bandejas según sea necesario para expandir la red, el diseño compacto facilita la instalación en espacios reducidos.

3.3.3.2 Capacidad de conexión

Dependiendo del modelo, las bandejas ODF pueden soportar desde unidades pequeñas (para menos de 24 fibras) hasta grandes capacidades (hasta 144 fibras o más), ofreciendo una gran flexibilidad según las necesidades de la red.

3.3.3.3 Material

Generalmente están fabricadas en acero inoxidable o aluminio, materiales que garantizan alta resistencia a impactos y condiciones ambientales adversas, además de ser corrosiones resistentes.

3.3.3.4 Gestión de cables

Están equipadas con sistemas de guías de cables, lo que ayuda a mantener las fibras ordenadas y facilita el manejo de las conexiones sin riesgo de daño, esto incluye bandejas con curvaturas controladas para evitar que las fibras se doblen más allá de su radio mínimo recomendado.

3.3.3.5 Gestión de cables

Las bandejas ODF permiten un acceso sencillo a las conexiones de fibra, lo que facilita la instalación, mantenimiento y actualización de la red, también están diseñadas con puertas o tapas de seguridad para proteger las fibras de interferencias externas.

3.3.4 Patch Core de conexión LC/SC

El patch cord tipo LC/SC es un cable de interconexión óptica utilizado para conectar de manera eficiente la OLT (Optical Line Terminal) con el ODF (Optical Distribución Frame) en redes de fibra óptica, este tipo de patch cord cuenta con conectores LC en un extremo y SC en el otro, permitiendo una transición fluida entre diferentes tipos de equipos o paneles de conexión.

3.3.4.1 Conectores LC y SC

El conector LC es compacto y de alta densidad, ideal para espacios reducidos en la OLT, mientras que el conector

SC es más robusto, comúnmente utilizado en los ODF para facilitar la distribución de la señal a diversas fibras.

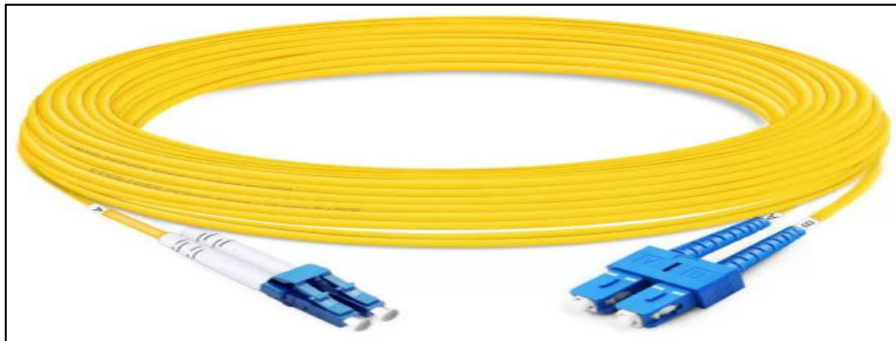
3.3.4.2 Fiabilidad

Estos cables están diseñados para asegurar baja pérdida de señal y alta integridad de la transmisión a lo largo de la conexión, garantizando la eficiencia del servicio prestado a través de las redes de fibra óptica.

3.3.4.3 Fiabilidad

Debido a su fabricación de alta calidad y precisión, los patch cords LC/SC son adecuados para transmisiones a altas velocidades, garantizando una conexión estable y eficiente desde la OLT hasta el ODF, tanto en distancias cortas como extensas.

Figura 67
Patch Core 15M tipo SC/LC (UPC)



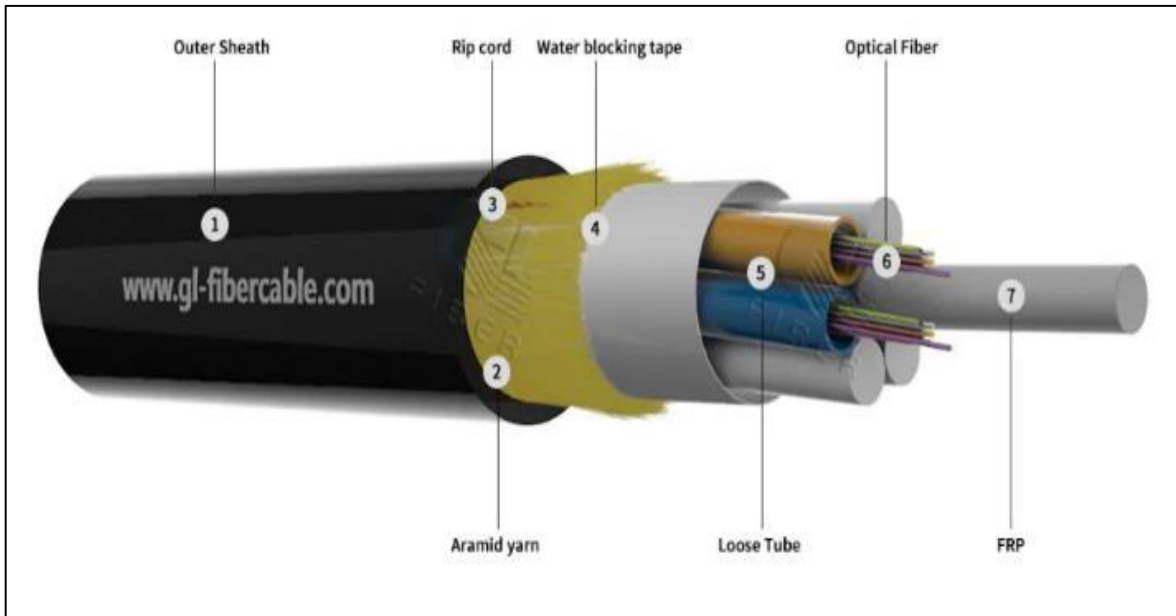
Nota. Jumper óptico con conectores LC y SC de 15 metros para la comunicación entre el OLT y el ODF, ya que este último distribuye la parte externa. Fuente: <https://www.fibermall.com/es/sale-428600-os2-cable-lc-upc-sc-duplex-sm-15m.htm?srsItd=AfmBOoo65qm7NJxtsWoTc2p0UTqFrj-uvqvcy1Xiv-kKbHGteGadq5PSr>.

3.3.5 Fibra ADSS de 96 hilos

La fibra óptica de 96 hilos ADSS con estándar americano es una solución avanzada para redes de telecomunicaciones de alta capacidad, especialmente en entornos donde se requiere

transmitir grandes volúmenes de datos a largas distancias con alta fiabilidad como se muestra en la imagen 67.

Figura 68
Fibra óptica ADSS 96 hilos



Nota. En la imagen se observa la estructura interna de la fibra óptica. Fuente: <https://www.gl-fibercable.com/products/12244896-core-100m-span-adss-sm-g652d-cable.html>

3.3.5.1 Composición

Consta de 96 fibras ópticas, generalmente organizadas en 12 cables de 8 fibras cada uno, optimizando las labores de despliegue y mantenimiento del sistema, las fibras están construidas en vidrio de alta calidad, con una capa de recubrimiento dieléctrico para protegerlas de posibles daños físicos.

3.3.5.2 Tipo de Fibra

La fibra suele ser monomodo (SMF), adecuada para transmisiones de larga distancia, permitiendo una alta velocidad de datos sin interferencia o pérdida significativa de señal, es ideal para aplicaciones de transporte de datos en redes de telecomunicaciones de gran escala.

3.3.5.3 Compatibilidad

Cumple con los estándares de conformidad TIA/EIA y ANSI utilizados en América para asegurar la interoperabilidad con equipos de telecomunicaciones y otras infraestructuras de red.

3.3.5.4 Resistencia y durabilidad

La fibra óptica de 96 hilos está diseñada para resistir condiciones ambientales extremas, con una capacidad de operación en un rango de temperatura que va de -40°C a 70°C, y resistencia a la humedad, lo que la hace adecuada para el uso exterior.

Figura 69

Especificaciones técnicas de la fibra óptica ADSS 96 hilos

Category	Description		Specifications
			G.652D
Optical Specifications	Attenuation	@1310nm	≤0.36dB/km
		@1383nm	≤0.32dB/km
		@1550nm	≤0.25dB/km
		@1625nm	≤0.27dB/km
	Attenuation discontinuity		≤0.05 dB
	Attenuation vs. Wavelength	@1285~1330nm	≤0.05 dB/km
		@1525~1575nm	≤0.05 dB/km
	Zero Dispersion Wavelength		1300~1324nm
	Zero Dispersion Slope		Max. 0.092 ps/(nm.km)
	Dispersion	@1310nm	≤3.5 ps/nm.km
		@1550nm	≤18 ps/nm.km
	Cable Cutoff Wavelength(λ _c)		≤1260nm
	PMD		≤0.20ps/km ^{1/2}
Geometric Specifications	Effective Group Index of Refraction	@1310nm	1.4675
		@1550nm	1.4681
	Mode Field Diameter	@1310nm	9.2±0.4μm
		@1550nm	10.4±0.6μm
	Cladding Diameter		125±0.7μm
	Cladding Non-Circularity		≤1%
	Coating Diameter		243 7m
Mechanical Specifications	Coating/Cladding Concentricity Error		≤8μm
	Core/Cladding Concentricity Error		≤0.8μm
	Proof Test level		≥1.0%
	Fiber Curl Radius		≥4.0m
	Peak Coating Strip Force		1.3~8.9N

Nota La fibra óptica de 96 hilos ADSS G.652D, por su alta capacidad, fiabilidad y compatibilidad con estándares internacionales, se utilizará como troncal de red desde el nodo de conexión, siendo ideal para infraestructura de telecomunicaciones de alto rendimiento. Fuente: <https://optictimes.la/catalogo/producto/fo-96-adss-span-100m>

3.3.6 Fibra ADSS de 48 hilos

La fibra óptica La fibra óptica de 48 hilos será considera como una subred de distribución, la red principal estará conformada por la FO de 96 hilos, lo cual dentro de la red de 48 hilos distribuiremos la subdivisión y ramificar el despliegue.

Figura 70

Fibra ADSS de 48 hilos



Nota. La fibra óptica de 48 hilos consta de 4 buffers con 12 hilos por cada uno de los buffers.

Fuente:[https://www.relematic.mx/producto/oc-adss-48c-s200-fiberhome-](https://www.relematic.mx/producto/oc-adss-48c-s200-fiberhome-560546.html?srsItid=AfmBOooHuTVujjJ58A7gHlxYQ9L9fvIB6-vf4w3i2IQFWs8eRiedTUIZ)

[560546.html?srsItid=AfmBOooHuTVujjJ58A7gHlxYQ9L9fvIB6-vf4w3i2IQFWs8eRiedTUIZ](https://www.relematic.mx/producto/oc-adss-48c-s200-fiberhome-560546.html?srsItid=AfmBOooHuTVujjJ58A7gHlxYQ9L9fvIB6-vf4w3i2IQFWs8eRiedTUIZ)

3.3.6.1 Composición

La fibra óptica de 48 hilos está estructurada en 6 cables, cada uno con 8 fibras, lo que facilita la instalación y organización en paneles de distribución, cada fibra está recubierta con una capa protectora dieléctrica que garantiza la protección contra interferencias externas.

3.3.6.2 Tipo de Fibra

Generalmente, esta fibra es de tipo monomodo (SMF), diseñada para transmisiones a largas distancias sin pérdida significativa de señal, lo que la hace ideal para

aplicaciones de infraestructuras de transmisión de datos con gran capacidad.

3.3.6.3 Cumplimiento de estándares

Esta fibra óptica sigue los estándares TIA/EIA y ANSI, que aseguran la interoperabilidad con equipos de telecomunicaciones y sistemas de red, especialmente en América, cumple con los requisitos de calidad y rendimiento exigidos por las normativas internacionales.

3.3.6.4 Resistencia y durabilidad

El cable de fibra óptica de 48 hilos está diseñado para operar en un amplio rango de temperaturas, de -40°C a 70°C, lo que le otorga una gran resistencia ambiental, además es resistente a la humedad y a condiciones exteriores adversas, garantizando su funcionalidad en entornos industriales y rurales.

3.3.6.5 Aplicaciones

Su uso es común en redes de telecomunicaciones, infraestructuras de fibra óptica, y proyectos de interconexión de sistemas donde se requieren conexiones fiables y de alto rendimiento, tanto para servicios de voz, datos como video.

3.3.7 Caja de empalme mecánico tipo Domo de 96 hilos

El punto de unión de cables óptico es un componente indispensable en los sistemas ópticos utilizado para albergar y proteger las conexiones de fibra durante el proceso de empalme, garantizando la integridad y continuidad de la señal óptica.

Figura 71*Características técnicas caja empalme tipo domo mecánico*

Tipo de Cierre	Termocontraible - hermético
Compatibilidad con RoHS	Garantiza la Restricción de ciertas Sustancias Peligrosas en aparatos eléctricos y electrónicos
Tipo de Instalación	Para Buzón o Poste externo
Modelo adaptable	FTTH, FTTB, FTTA
Distancia de preparación de cable	1.6m
Número de bandejas	4
Hilos por cada bandeja	24
Puertos	4
Oval	1
Accesorios para montaje	Sí Incluye

Nota. El diseño robusto y funcional permite realizar las conexiones de manera segura, tanto en instalaciones interiores como exteriores.

Fuente: https://multiplay.com.pe/media/file/producto/producto/Mufa_tipo_Domo_96_Hilos_rFlf4gK.pdf

3.3.7.1 Materiales de fabricación

Generalmente, están fabricadas con plástico de alta resistencia o acero inoxidable, lo que les otorga alta durabilidad y aptitud para operar bajo condiciones ambientales severas, como temperaturas extremas y humedad o exposición al sol.

3.3.7.2 Protección y seguridad

La caja está diseñada para proporcionar protección mecánica y ambiental a los empalmes ópticos, con un sistema de sellado que garantiza resistencia al agua y polvo (cumple con los estándares IP65 o IP68 dependiendo del modelo). Además, ofrece una protección antichoque para los empalmes.

3.3.7.3 Instalación y mantenimiento

Estas cajas están concebidas para permitir un acceso sencillo y una gestión eficiente, con espacios bien organizados para alojar las fibras empalmadas y una estructura modular que facilita la expansión de la red.

3.3.7.4 Temperatura

Las cajas de empalme óptico están diseñadas para operar en rangos de temperatura que van desde -40°C hasta 70°C , lo que las hace adecuadas tanto para instalaciones exteriores como en interiores industriales o rurales.

3.3.7.5 Aplicaciones

Se utilizan en redes de telecomunicación, para enlaces de fibra óptica, infraestructuras de data centers.

Figura 72

Caja empalme tipo domo mecánico 96 hilos



Nota. La distribución de señales ópticas en proyectos de gran escala, como proyectos FTTH o redes de telecomunicaciones metropolitanas. Fuente: <https://superfiber.pe/producto/mufa-domo-4-puertos-1-oval-c-sangrado-96-144-hilos/>

3.3.8 Caja terminal óptica (CTO)

La caja CTO (Caja Terminal Óptica) de 16 puertos es un componente esencial para el despliegue de redes FTTH (Fiber to the Home) utilizando tecnología GPON (Gigabit Passive Optical Network), esta caja está diseñada para gestionar la distribución de señales de fibra óptica hacia múltiples usuarios finales, garantizando eficiencia, facilidad de instalación y mantenimiento.

3.3.8.1 Capacidad de conexión

Cuenta con 16 puertos de conexión para fibras ópticas, lo que permite la distribución de la señal a un máximo de 16 usuarios finales o nodos dentro de la red GPON.

3.3.8.2 Diseño

El diseño robusto y compacto de la caja CTO permite una instalación sencilla tanto en interiores como en exteriores, garantizando protección contra factores ambientales como la humedad y el polvo, compatible con la tecnología GPON, optimizando la entrega de servicios de banda ancha de alta velocidad, televisión y telefonía a través de la fibra óptica.

3.3.8.3 Flexibilidad

Permite una fácil distribución de las fibras ópticas a través de conectores SC/APC, asegurando una transmisión óptima de datos con bajas pérdidas de señal.

3.3.8.4 Mantenimiento

La caja CTO está diseñada para facilitar el acceso a las fibras durante las tareas de mantenimiento y expansión de la red.

Figura 73

Caja terminal óptica 16 puertos con splitter interno



Nota. Su parte interna reduce los tiempos de inactividad y mejora la gestión operativa, incorpora mecanismos de protección que evitan daños a las fibras, como organizadores y clips de fijación que aseguran una disposición ordenada y segura de los cables. Fuente: <https://superfiber.pe/producto/caja-nap-16-salidas-splitter-plc/>

3.3.9 Optical Network Terminal (ONT)

La ONT cumple su rol esencial en las redes FTTH al transformar la señal que viaja por la fibra óptica en una señal eléctrica comprensible para los dispositivos del usuario. Este equipo marca el límite entre la red del proveedor y el entorno doméstico, permitiendo el acceso a servicios como internet, telefonía y televisión digital desde un solo punto de conexión.

Figura 74
Equipo ONT Huawei EG8145X6-10



Nota. La ONT EG8145X6-10 es una terminal óptica de red avanzada diseñada específicamente para despliegues en redes FTTH (Fiber to the Home) utilizando tecnología GPON, este dispositivo como se muestra en la figura 73, se distingue por su rendimiento optimizado y su capacidad para ofrecer servicios de alta velocidad de manera estable. Fuente: <https://www.fiberx.com.br/onu-huawei-eg8145x6-10>

Cualidades de ONT X6-10:

3.3.9.1 Tecnología compatible

La ONT EG8145X6-10 es totalmente compatible con la arquitectura GPON, lo que permite alcanzar ofreciendo tasas de transferencia de hasta 2,5 Gbps en downstream y 1,25 Gbps en upstream, cumpliendo con los estándares modernos.

3.3.9.2 Puerto de red

Equipado con 4 puertos Gigabit Ethernet (1 Gbps cada uno), lo que proporciona conexiones de alta capacidad para usuarios finales y permite un rendimiento estable

para actividades como la transmisión de video en alta definición, navegación de alta velocidad y servicios VoIP.

3.3.9.3 Puerto VoIP

La ONT EG8145X6-10 incluye un puerto RJ11 para la conexión de teléfonos, facilitando la implementación de servicios de voz sobre IP (VoIP) con calidad de voz superior y baja latencia.

3.3.9.4 Bandas integradas

Cuenta con soporte para Wi-Fi 802.11ac en bandas de 2.4 GHz y 5 GHz, proporcionando una cobertura inalámbrica robusta y velocidades de conexión rápidas para múltiples dispositivos conectados simultáneamente.

3.3.9.5 Rendimiento

La ONT X6-10 está equipada con un procesador avanzado de alto rendimiento que garantiza un manejo eficiente de múltiples flujos de datos, asegurando la estabilidad de la red incluso en entornos de alto tráfico.

3.3.9.6 Interfaz de configuración

Su interfaz de configuración es intuitiva y fácil de usar, lo que facilita la instalación y la personalización de los servicios por parte del usuario final o del operador de red.

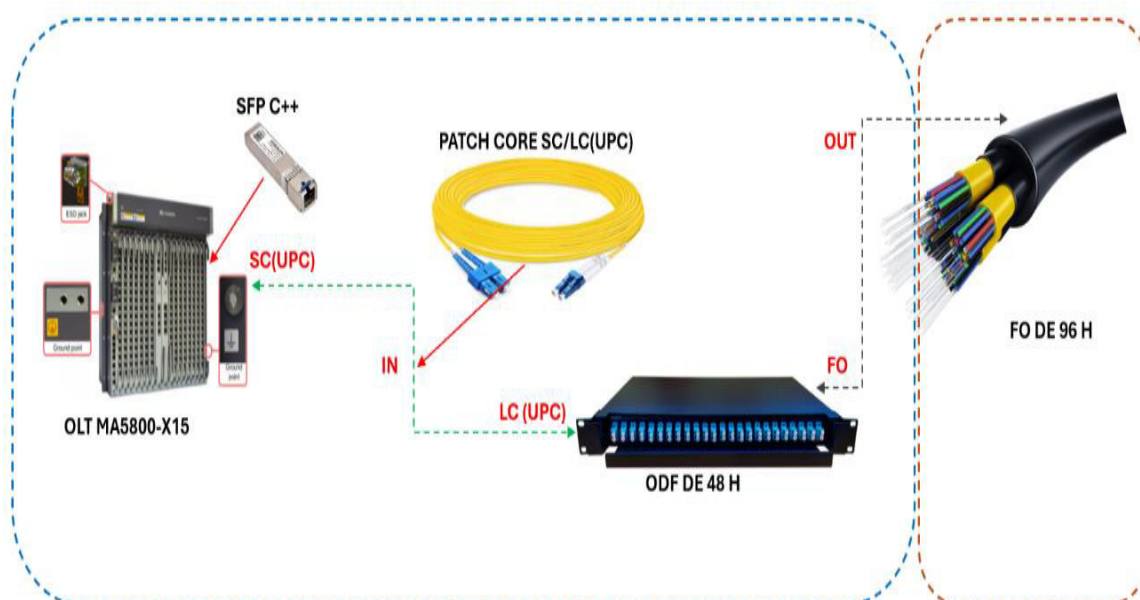
3.3.9.7 Consumo eléctrico

Funciona con una fuente de 12 voltios en corriente directa, con una corriente nominal de 1 amperio, el consumo habitual se sitúa alrededor de los 5.7 vatios, alcanzando un máximo aproximado de 11.7 vatios bajo condiciones de carga completa.

3.4 DESARROLLO DEL OBJETIVO ESPECIFICO 4: VALIDAR Y SIMULAR EL CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL ENLACE OPTICO DISEÑADO PARA LA ZONA RURAL DE HUANCABAMBA

Para poder obtener las pruebas de enlace óptico, tendremos que realizar los diagramas de empalme y la distribución de la red por cada sector, así mis las derivaciones desde la troncal hacia cada CTO, con ello podremos verificar la potencia recibida al finalizar el diseño de la red, para identificar el presupuesto de enlace usaremos el software simulador Optisystem, el cual nos ayudará a revisar el enlace óptico desde la OLT hacia la ONT.

Figura 75
Arquitectura interna red FTTH



Nota. De los principales elementos internos de la red GPON detallados ya en las líneas anteriores, como resultado de la conectividad interna dentro del nodo o site de telecomunicaciones, tomando como fuente principal activa el equipo OLT MA5800-X15, en base a ello se tomará las mismas características para el despliegue y simulación del enlace. Fuente: Elaboración propia.

Dentro de la simulación de despliegue desde el equipo OLT, considerando las longitudes de onda 1550 nm y 1310nm, el enlace de fibra óptica y equipos de medición, para ello se contempla los siguientes materiales dentro del diseño:

A. OLT

- secuenciadores de bits (00000100000/11111011111).
- generadores de pulso (1550nm / 1310nm).
- potenciadores de láser (8dBm).
- moduladores Zehnder.
- 1 multiplexor WDM (10Ghz).

B. FIBRA ÓPTICA

- tramos de fibra óptica.
- 1 atenuador.
- 1 splitter óptico 1x8.

C. RECEPCIÓN

- 1 conector óptico (-1dBm).
- 1 demultiplexor óptico WDM (10Ghz).
- 1 filtro óptico.

D. EQUIPOS DE MEDICIÓN

- Visualizador osciloscopio.
- Power Meter.
- Analizador de espectro óptico.
- Analizador BER.

Formula de enlace:

$$\begin{aligned}
 \text{Atenuacion Max. (dB)}_{a-b} &= X_{\text{Splitter}} * \text{Atenuacion Splitter}_{(dB)} + X_{Km} * \\
 &\text{Atenuacion F.O. } \left(\frac{dB}{Km}\right) + X_{N^{\circ} \text{ empalmes}} * \text{Atenuacion Empalme por fusion}_{(dB)} \\
 &+ X_{N^{\circ} \text{ empalmes}} * \text{Atenuacion Empalme Mecanico}_{(dB)}
 \end{aligned}$$

Para la elaboración de los diagramas de empalme, se ha considerado el siguiente presupuesto de enlace, determinado por los niveles positivos y negativos dentro de la red, el presupuesto de enlace óptico es un cálculo

crucial con el fin de preservar los estándares de calidad y consistencia en las comunicaciones en una red FTTH, el presente presupuesto considera las pérdidas de señal a lo largo del cableado, desde la OLT, hasta la ONT y para verificar las potencias se mide la señal óptica en ambos extremos del enlace.

Tabla 5
Perdida por splitter óptico

CUADRO DE PERDIDA POR SPLITTER					
Tipo de Splitter	1X2	1X4	1X8	1X16	1X32
Pérdida ideal (dB)	-3	-6	-9	-12	-15
Pérdida exceso (dB, máx.)	-1	-1	-2	-3	-4
Pérdida variable real (dB)	-4	-7	-11	-15	-19

Nota. Asegurando que la potencia de la OLT y la potencia de entrada de la ONT estén dentro de los márgenes adecuados establecidos por las especificaciones del sistema, se encuentra los niveles de perdida por splitter, con esto se puede detectar las perdidas por nivel de splitteo. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1 SIMULACIÓN DEL SECTOR 1

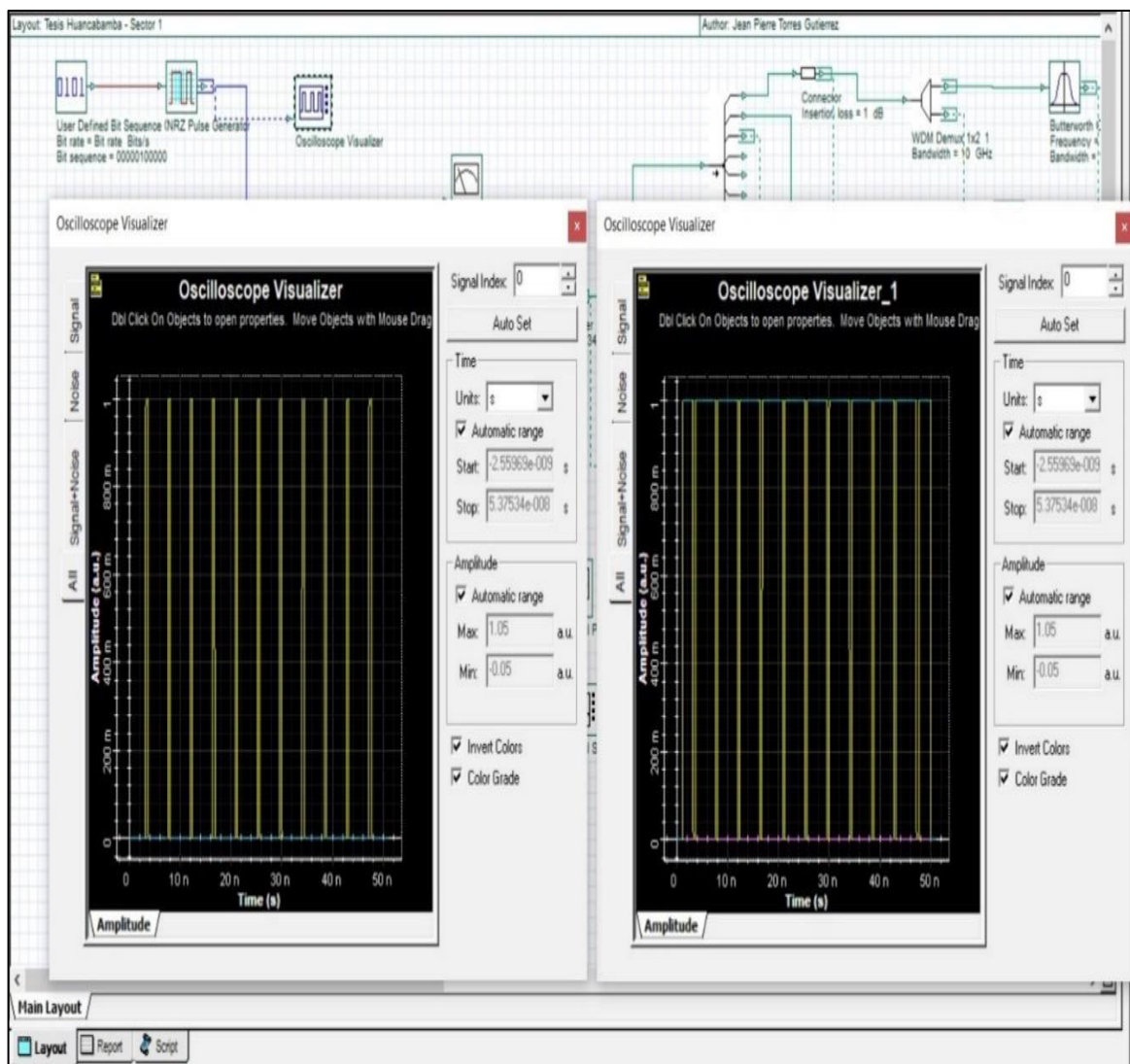
Dentro de las consideraciones del enlace de presupuesto óptico, se ha considerado las verificaciones de potencia, análisis de espectro y visualizador de pulso óptico, en la cual podemos considerar que se contempla los siguientes valores:

3.4.1.1 Resultados de Pulso de trasmisión

Para generar la simulación del equipo OLT, se considera 2 secuenciadores de bit dentro de los cuales se tiene los siguientes parámetros (00000100000 / 11111011111) para la configuración, adicional a ello se agrega los 2 laser de potencia en diferentes ventanas 1310nm y 1550nm. Con ello continuamos con los modulares Zehnder y finalmente el multiplexor mux de 10Ghz, así poder tener

los parámetros correctos para la simulación, desde la cabecera OLT.

Figura 76
Pulso óptico de transmisión del sector 1



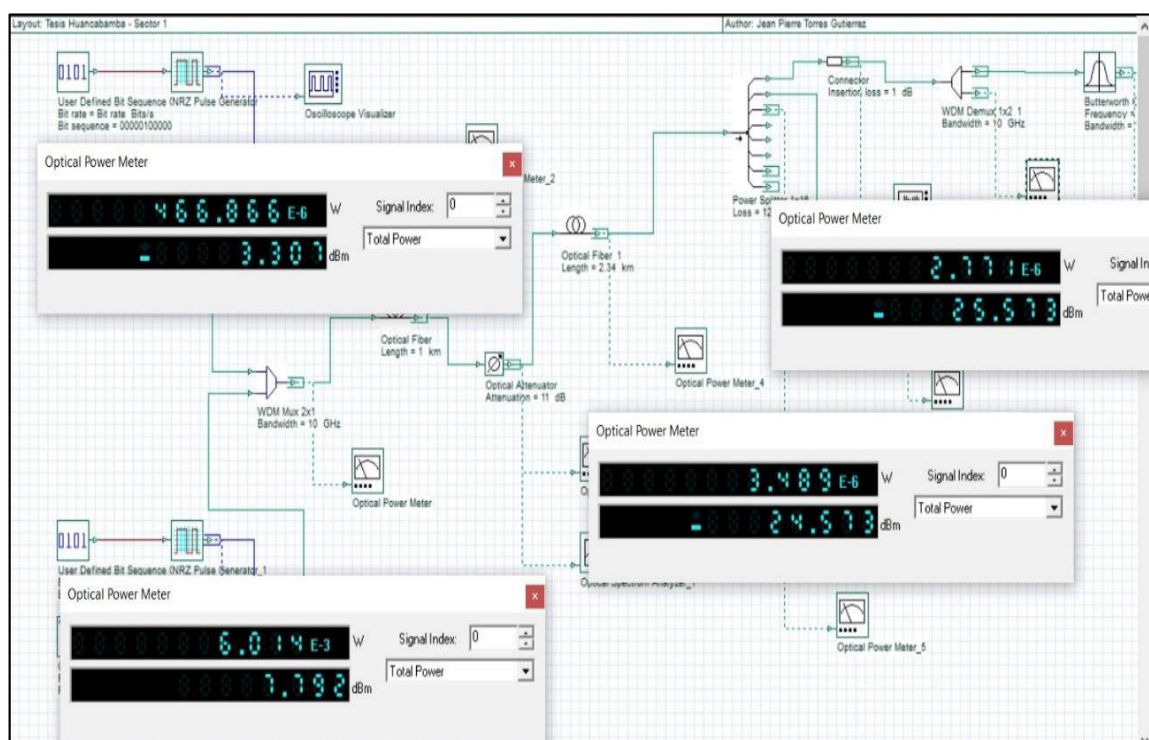
Nota. En el lado izquierdo “Oscilloscope Visualizer” se identifica los pulsos emitidos por el secuenciador de bits 1 el cual tiene los siguientes valores 00000100000, y al lado derecho “Oscilloscope Visualizer_1” se encuentra las gráficas del secuenciador de bits 2 lo cual tiene los parámetros recibidos 11111011111. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia

Se obtuvieron los siguientes valores, de las 4 mediciones con el power meter inicialmente visualizamos en la imagen que tenemos 7.7dBm lo cual es mostrado desde la salida de la OLT, posterior a ello se muestra -3,3dBm el cual refleja la degradación de potencia considerado en el atenuador óptico que se agregó en la red, siguiente se muestra el valor -24.5dBm ya que es la potencia en la caja CTO y finalmente -25.5dBm como valor final en el receptor que vendría a ser la potencia final dentro de la ONT, con ello estaríamos certificando el presupuesto final en la imagen 76 de del diseño.

Figura 77

Valores potencia óptica en CTO y ONT del sector 1

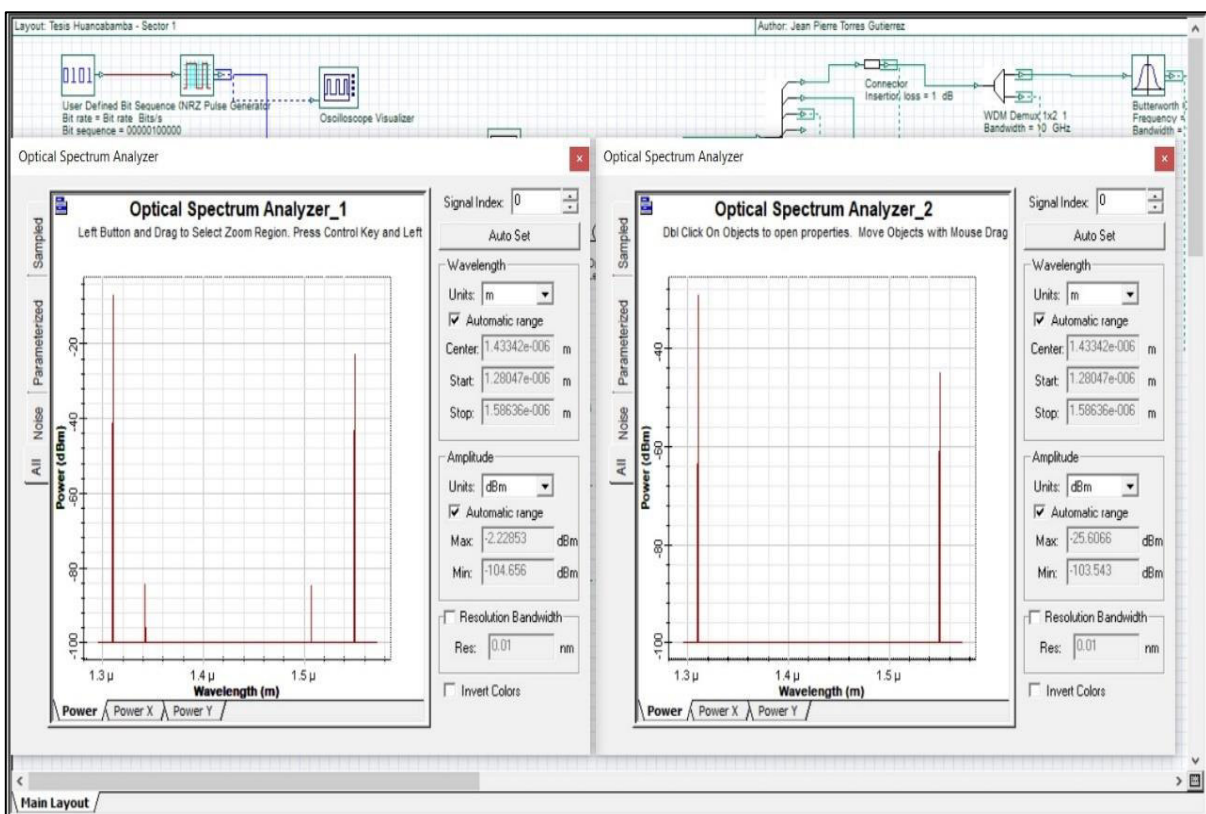


Nota. Dentro del factor del recorrido de la FO se ha considerado en total 3.34km, atenuación de -32dBm considerando todo el recorrido de FO desde el recorrido del ODF hacia el splitter óptico 1x16 y considerando que se tiene una transmisión positiva de 8dBm desde la OLT. Fuente: Elaboración propia.

3.4.1.3 Factor Q y analizador BER

Dentro de las consideraciones de recepción de la señal óptica simulada se ha considerado los visualizadores de espectro óptico y analizador de Ver, en las cuales podremos verificar la potencia recibida en la ONT y adicional a ello el factor Q, así poder corroborar que los niveles sean aceptables.

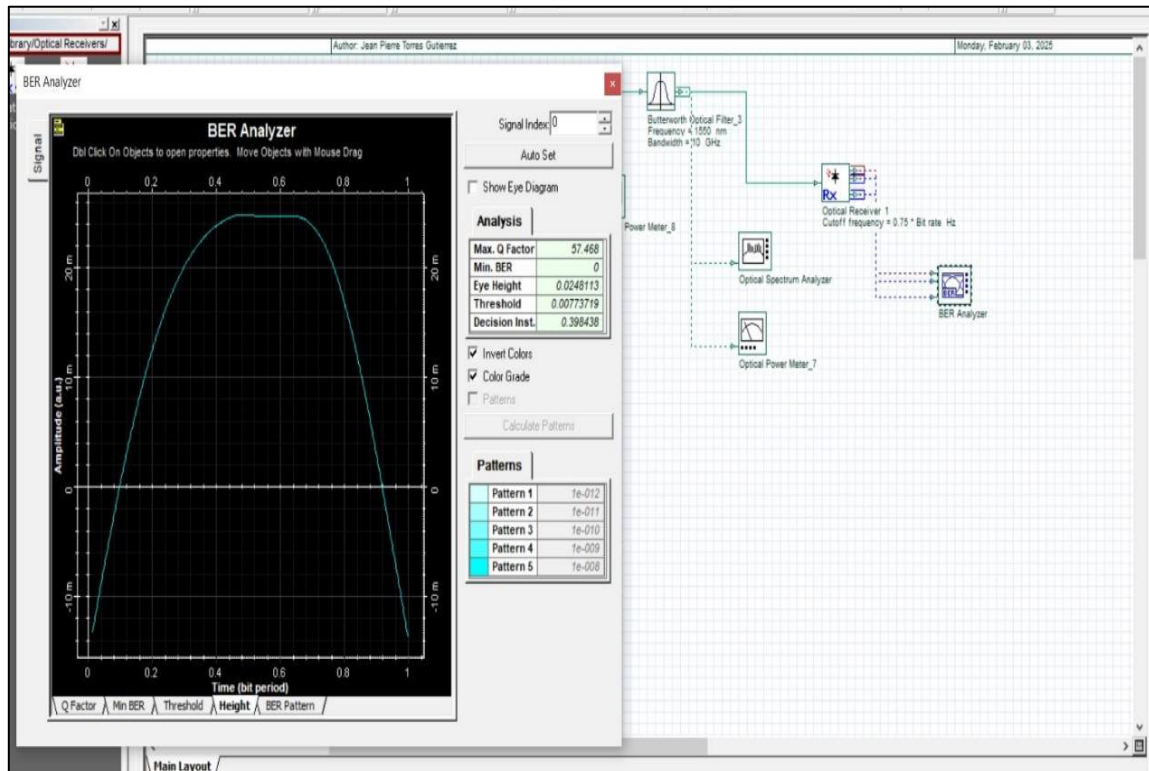
Figura 78
Espectro óptico de red del sector 1



Nota. Dentro de la gráfica del analizador de espectro, se visualiza el pico de transmisión de señal lo cual se tiene una recepción de -25.6dBm dentro de la ONT. Fuente: Elaboración propia.

Análisis BER es considerado por la cantidad de bits recibidos con errores entre la cantidad de bits total recibidos y como resultado final el Factor Q es de 57.458, como se muestra en la figura 78.

Figura 79
Gráfica BER del sector 1



Nota. La gráfica se visualiza el análisis de BER lo cual nos genera por una onda sinusoidal.
Fuente: Elaboración propia.

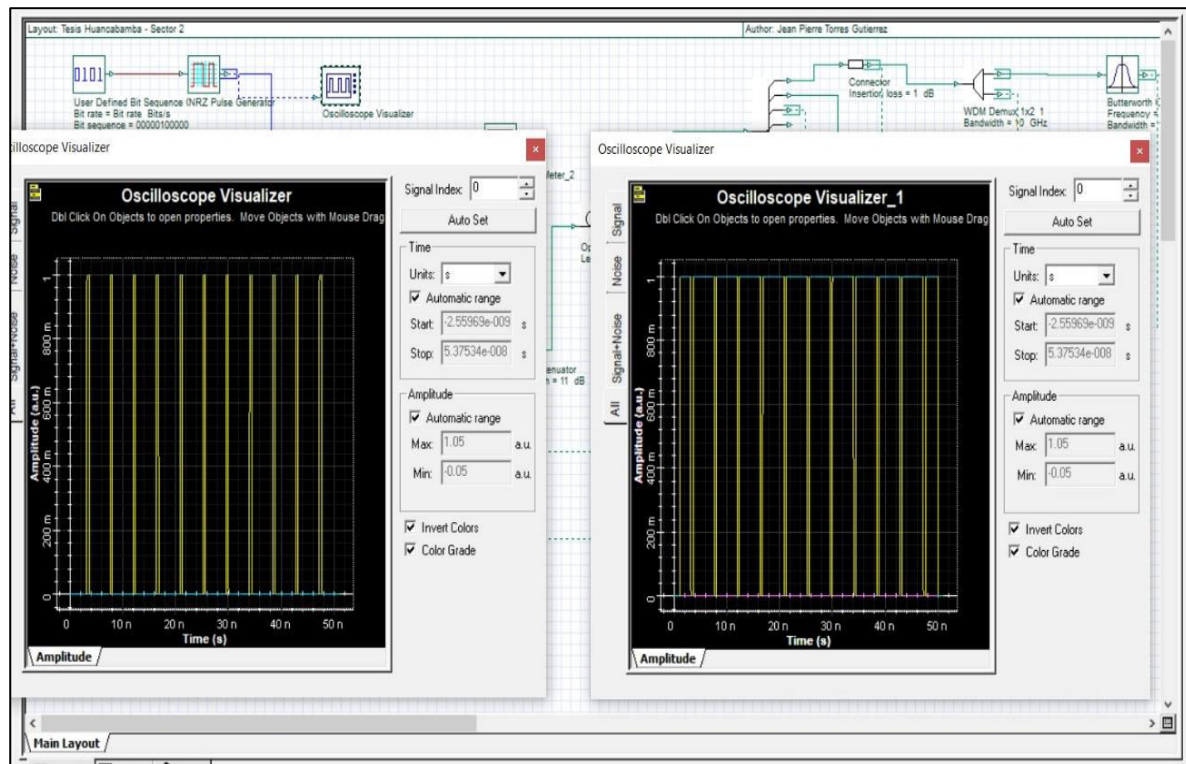
3.4.2 SIMULACIÓN DEL SECTOR 2

Al igual que el sector 1, se consideran los mismos valores de parámetros y elementos de red, la única variación sería la distancia de la FO, ya que como valor referencial estamos considerando la última CTO del diseño de la red.

3.4.2.1 Resultados de Pulso de transmisión

Para generar la simulación del equipo OLT, se considera 2 secuenciadores de bit dentro de los cuales se tiene los siguientes parámetros (00000100000 / 11111011111) para la configuración, adicional a ello se agrega los 2 laser de potencia en diferentes ventanas 1310nm y 1550nm.

Figura 80
Pulso óptico transmisión del sector 2



Nota. El pulso óptico de transmisión se grafica a través del visualizador de osciloscopio. Fuente: Elaboración propia.

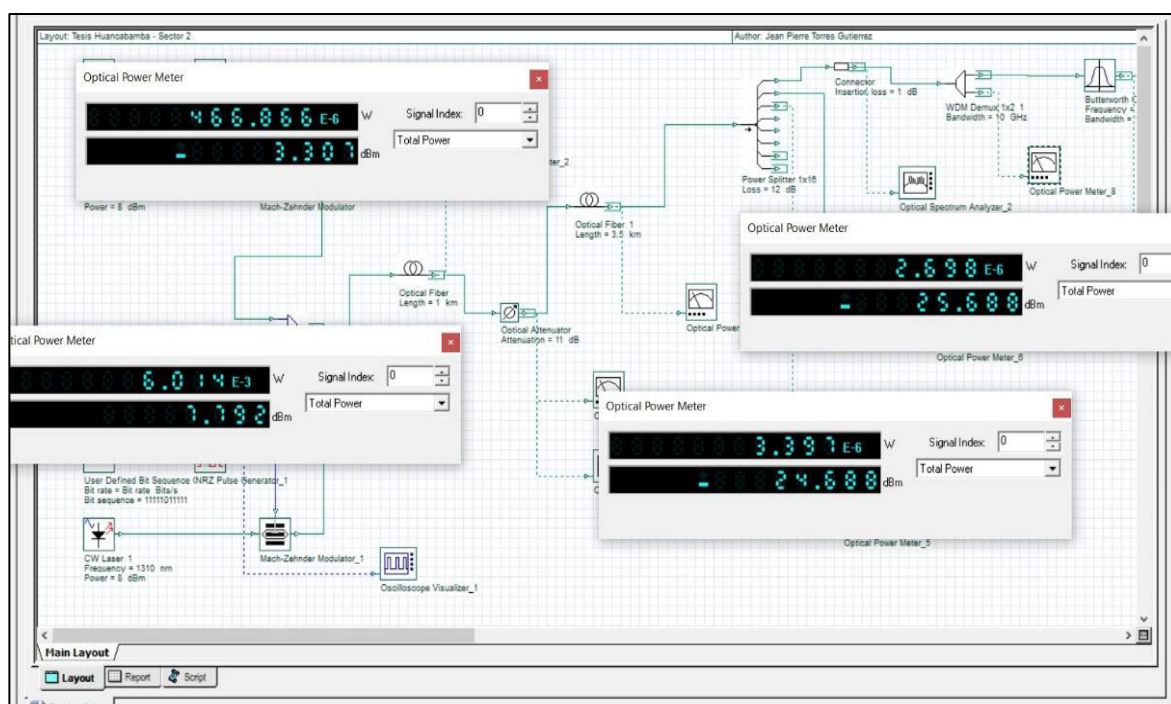
3.4.2.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia

Dentro del enlace óptico se ha considerado el tendido de fibra y las diferentes atenuaciones que lleva el recorrido, por ultimo las atenuaciones que se tiene en el enlace y la perdida por splitter óptico 1x16 que se encuentra en la caja CTO, como tramo final del despliegue de red. Dentro del factor del recorrido de la FO se ha considerado en total 4.5km, atenuación de -32dBm considerando todo el recorrido de FO desde el recorrido del ODF hacia el splitter óptico 1x 16 y considerando que se tiene una transmisión positiva de 8dBm desde la OLT.

En la figura 80, de las 4 mediciones con el power meter inicialmente visualizamos en la imagen que tenemos 7.7dBm lo cual es mostrado desde la salida de la OLT,

posterior a ello se muestra -3,3dBm el cual refleja la degradación de potencia considerado en el atenuador óptico que se agregó en la red, siguiente se muestra el valor -24.6dBm ya que es la potencia en la caja CTO y finalmente -25.6dBm como potencia final en la ONT que es el recepto y ultimo elemento de la red.

Figura 81
Potencia óptica en CTO y ONT del sector 2

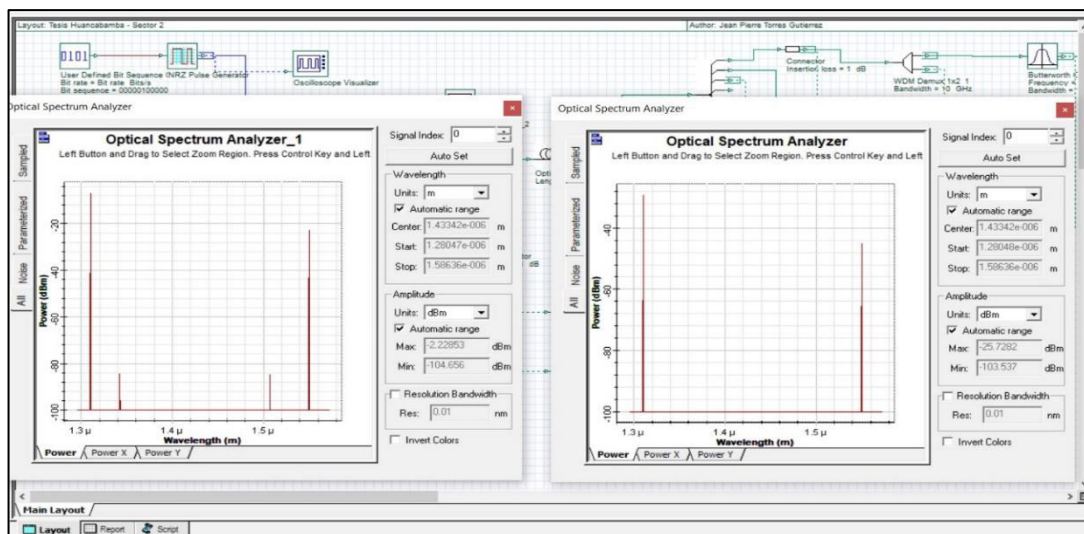


Nota. Los parámetros considerados son en base a las distancias del diseño para poder tener los valores adecuados. Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.3 Factor Q y analizador BER

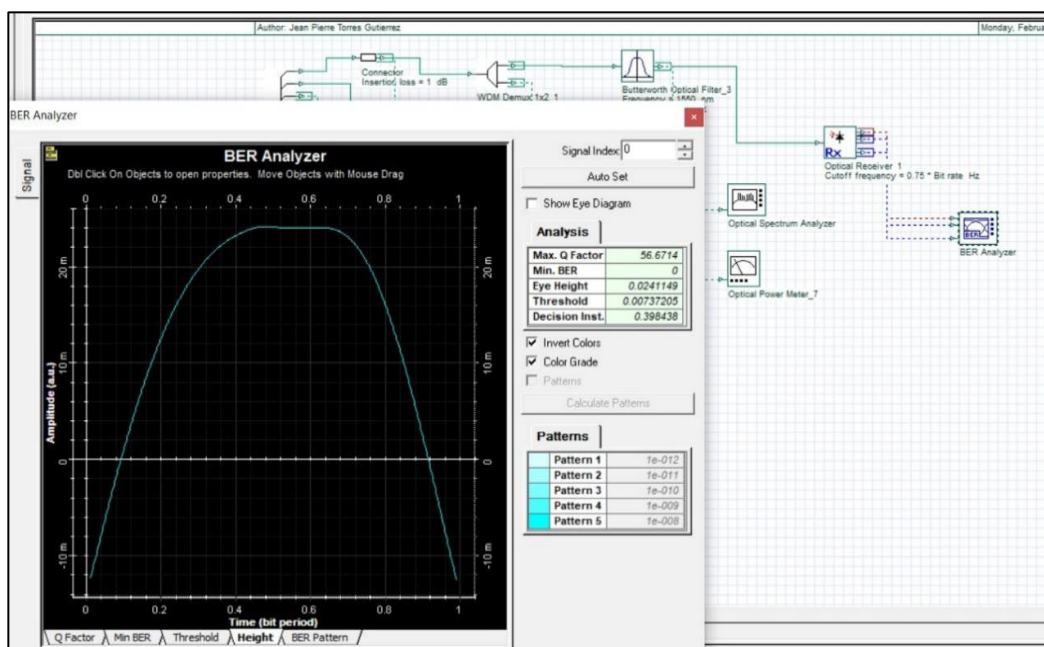
Dentro de las consideraciones de recepción de la señal óptica simulada se ha considerado los visualizadores de espectro óptico y analizador de Ver, en las cuales podremos verificar la potencia recibida en la ONT y adicional a ello el factor Q, así poder corroborar que los niveles sean aceptables para la simulación de la red.

Figura 82
Espectro óptico del sector 2



Nota. Dentro de la gráfica del analizador de espectro, se visualiza el pico de transmisión de señal lo cual se tiene una recepción de -25.7dBm dentro de la ONT, tal y como se muestra en la imagen 81 del espectro óptico. Fuente: Elaboración propia.

Figura 83
Gráfica BER del sector 2



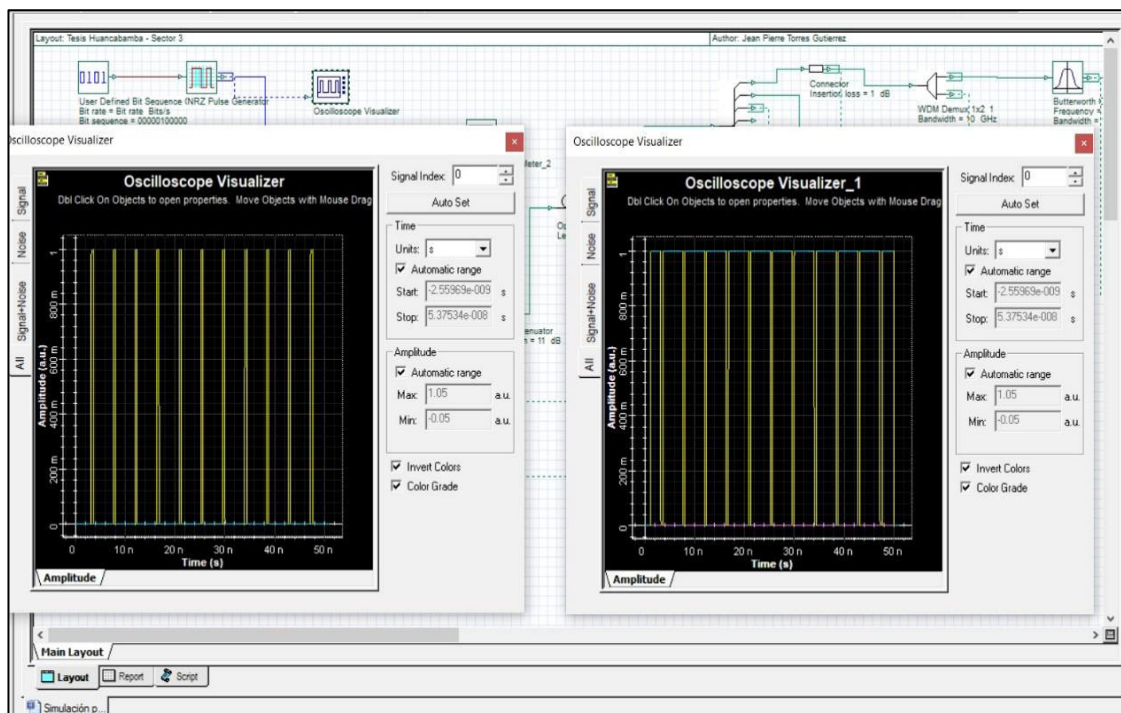
Nota. Análisis de BER lo cual nos brinda el Factor Q es de 56.6714 bits, esto confirma que los niveles son aceptables para el proyecto. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3 SIMULACIÓN DEL SECTOR 3

3.4.3.1 Resultados de Pulso de transmisión

Para generar la simulación del equipo OLT, se considera 2 secuenciadores de bit dentro de los cuales se tiene los siguientes parámetros (00000100000 / 11111011111) para la configuración, adicional a ello se agrega los 2 laser de potencia en diferentes ventanas 1310nm y 1550nm y el multiplexor mux de 10Ghz, así poder tener los parámetros correctos para la simulación.

Figura 84
Pulso óptico transmisión del sector 3



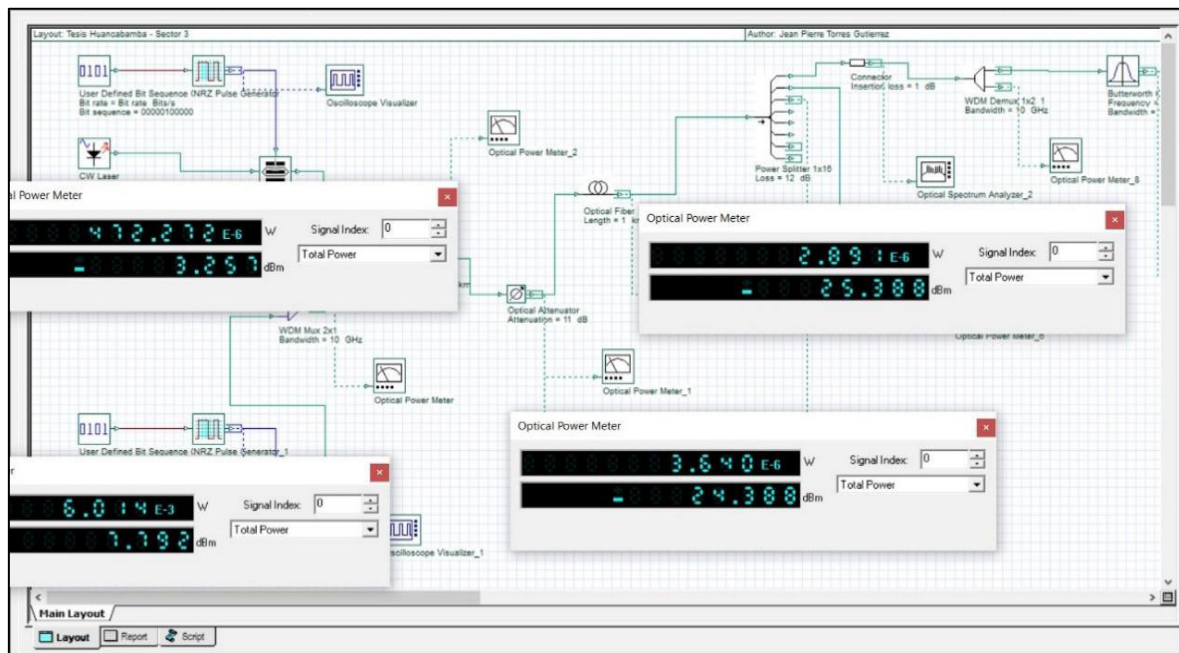
Nota. Del izquierdo "Oscilloscope Visualizer" se identifica los pulsos emitidos por el secuenciador de bits 1 el cual tiene los siguientes valores 00000100000, y al lado derecho "Oscilloscope Visualizer_1" se encuentra las gráficas del secuenciador de bits 2 lo cual tiene los parámetros 11111011111. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.2 Resultados de enlace óptico y niveles de potencia

Dentro del enlace óptico se ha considerado el tramo de fibra de 1.5km, atenuación de -32dBm, la transmisión positiva de 8dBm desde la OLT.

De las 4 mediciones con el power meter inicialmente visualizamos en la imagen que tenemos 7.7dBm lo cual es mostrado desde la salida de la OLT, posterior a ello se muestra -3,2dBm el cual refleja la degradación de potencia considerado en el atenuador óptico que se agregó en la red, siguiente se muestra el valor -24.3dBm ya que es la potencia en la caja CTO y finalmente -25.3dBm como valor final en el demultiplexor que vendría a ser la potencia final dentro de la ONT.

Figura 85
Potencia óptica en CTO y ONT del sector 3

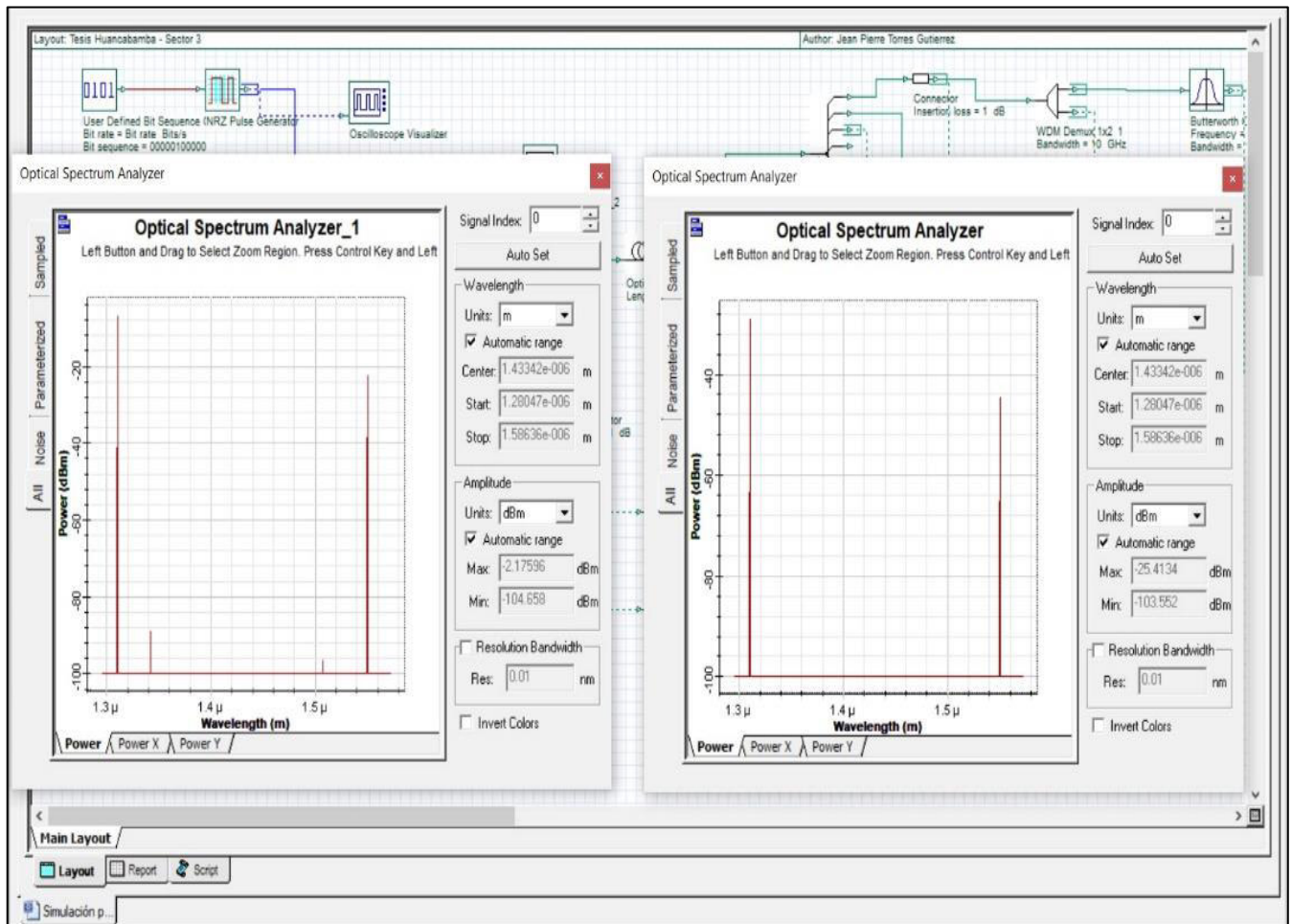


Nota. Con ello estaríamos certificando el presupuesto final de del diseño en el distrito de Huancabamba según las normativas G948.2 de la ITU. Fuente: Elaboración propia.

3.4.3.3 Factor Q y analizador BER

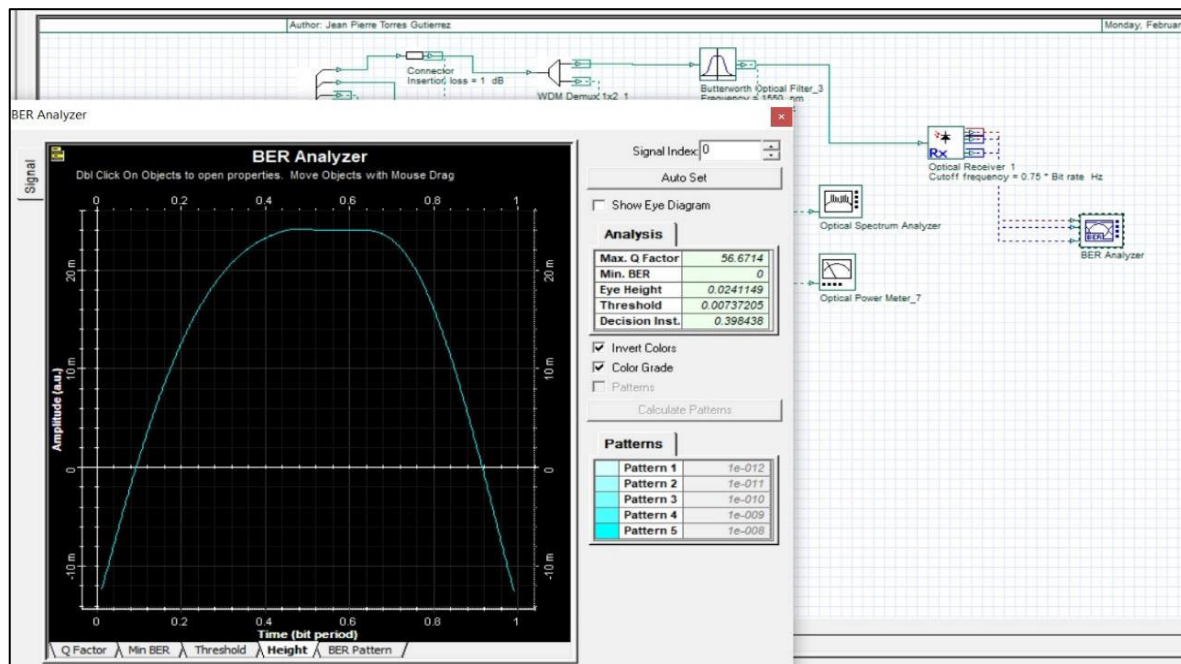
Dentro de la gráfica del analizador de espectro, se visualiza el pico de transmisión de señal lo cual se tiene una recepción de -25.4dBm dentro de la ONT.

Figura 86
Espectro óptico red del sector 3



Nota. Para las mediciones de los sectores son considerando el tramo más largo por cada uno, con ello podremos tener un mejor resultado que nos permita confiar con los datos reales ante una posible implementación. Fuente: Elaboración propia.

Figura 87
Gráfica BER del sector 3



Nota. Análisis BER, es considerado entre la cantidad de bits total recibidos y como resultado final el Factor Q es de 59.4699, como se observa en la figura 86. Fuente: Elaboración propia.

Con los resultados obtenidos por cada sector, determinamos que los valores se encuentran dentro del normativa G948.2 de la ITU, el cual son valores aceptables para la ONT, si los valores hubieran sido mayor o menor se tendría complicaciones de lectura o desbordamiento de potencia óptica

3.4.4 VALIDACION DE RESULTADOS

Con el objetivo de validar el diseño y simulación del enlace óptico propuesto para el distrito de Huancabamba, se recurrió a la evaluación de un panel conformado por dos profesionales con experiencia en áreas complementarias, relevantes para el proyecto.

3.4.4.1 Evaluación de equipos y simulación de red FTTH

El primer especialista consultado fue un ingeniero

electrónico, quien se encargó de revisar y analizar la simulación técnica del enlace óptico, así como la selección y compatibilidad de los equipos utilizados, su evaluación se centró en verificar el cumplimiento de parámetros técnicos clave, tales como niveles de atenuación, potencias ópticas, distancias de cobertura y rendimiento del sistema bajo las condiciones simuladas. Además, valido sobre la viabilidad operativa de los equipos seleccionados, considerando su adecuación al entorno geográfico y climático del distrito.

Figura 88

Constancia validación de experto de equipos y simulación

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones: 1 = muy de acuerdo; 2 = en desacuerdo; 3 = en desacuerdo más que en acuerdo; 4 = en acuerdo más que en desacuerdo.		Acuerdo			
		1	2	3	4
EQUIPAMIENTO					
• ¿La selección del equipo OLT considera adecuadamente la capacidad de expansión y la topología del distrito rural proyectado en el diseño?		X			
• ¿Cree usted que la elección del módulo óptico (SFP de clase C++) es coherente con las distancias y pérdidas estimadas en la red propuesta?					X
• ¿La elección del modelo de OLT responde de manera adecuada a las condiciones técnicas y a la demanda de servicios en los sectores evaluados?		X			
SIMULACIÓN					
• ¿Considera que el nivel de potencia óptica obtenido en la simulación cumple con los márgenes de seguridad necesarios para una operación estable y confiable en zonas rurales?		X			
• ¿El presupuesto óptico simulado contempla correctamente las atenuaciones por empalmes, conectores y distancias reales del trazado?		X			
• ¿Cree que los valores de potencia de transmisión y recepción calculados son suficientes para garantizar calidad de servicio sin comprometer la integridad de la señal en los puntos más alejados de la red?		X			
Observaciones y/o aportes:					

Nota. Dentro de la evaluación de la selección de elementos y simulación el experto, no ha observado ni brindó recomendaciones, por ese lado está todo conforme con lo propuesto y se encuentra en el anexo H. Fuente: Propia

3.4.4.2 Evaluación de diseño de red FTTH

El segundo evaluador fue un ingeniero geógrafo, cuya participación estuvo orientada al análisis del diseño y la disposición geográfica de los elementos de red, su aporte fue fundamental para validar la planificación del despliegue de la infraestructura, considerando factores como la topografía, accesibilidad y cobertura territorial. También analizó la ubicación estratégica del nodo,

cajas de empalme y otros elementos pasivos, asegurando que el diseño optimizara el alcance y minimizara posibles interferencias geográficas, tal y como se muestra en la figura 88.

Figura 89
Constancia validación de experto de Diseño

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones: 1 – muy de acuerdo; 2 – en desacuerdo; 3 – en desacuerdo más que en acuerdo; 4 – en acuerdo más que en desacuerdo.		Acuerdo			
		1	2	3	4
ARQUITECTURA					
• ¿Considera que el diseño propuesto ha tomado en cuenta de manera adecuada las particularidades geográficas y topográficas del distrito para garantizar la viabilidad técnica del despliegue de la red?		X			
• Desde su perspectiva técnica, ¿la distribución y sectorización del diseño de la red facilita una implementación eficiente en zonas rurales dispersas como Huancabamba?		X			
• ¿La ubicación de los elementos clave del diseño, como la OLT y los puntos de distribución óptica (splitters), responde correctamente a criterios de accesibilidad, cobertura y eficiencia?					X
DISEÑO					
• ¿Qué tan apropiado le parece el planteamiento del trazado de la red en relación con las condiciones del terreno, rutas de acceso y disponibilidad de infraestructura eléctrica existente?		X			
• ¿Recomendaría algún ajuste en la ubicación estratégica de los nodos o en la arquitectura general del diseño para mejorar la escalabilidad y el mantenimiento a futuro?					X
• ¿Considera que la selección de la tecnología GPON y los criterios utilizados para el diseño del enlace óptico responden adecuadamente a las necesidades actuales y futuras de conectividad en la zona rural del distrito?		X			
Observaciones y/o aportes: Dentro de la propuesta revisada, se determina que el despliegue realizado es factible por las condiciones geográficas del distrito de Huancabamba, se ha realizado el filtro mediante QGIS para poder comprobar el nivel de capas e infraestructura actual de la ciudad. Se sugiere agregar un mapa de calor donde se encuentran las cajas CTO, para que se pueda visualizar el nivel de cobertura por cada una de ellas.					

Nota. Dentro de las recomendaciones el experto en el diseño comenta realizar un mapa de calor de todas las cajas CTO para poder observar el nivel de cobertura, lo cual se ha realizado, se encuentra anexado en el anexo I. Fuente: Elaboración propia.

Ambas evaluaciones permitieron fortalecer el enfoque del proyecto, asegurando que tanto los aspectos técnicos, funcionales y adaptados a las condiciones reales del distrito de Huancabamba, para ello se pondrá en los anexos su firma y consideraciones.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE COSTO Y BENEFICIO

4.1 ANÁLISIS DE COSTOS

4.1.1 Recursos humanos

Tabla 6

Recursos Humanos

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	MESES	PRECIO \$	PRECIO S/
1	CAPACITACIÓN DE AUTOCAD	UND.	1	1	\$ 31.57	S/ 119.97
2	CAPACITACIÓN EN OPTISYSTEM	UND.	1	2	\$ 50.00	S/ 190.00
TOTAL					\$ 81.57	S/ 309.97

Nota. Dentro de los recursos usados para el diseño de la red, se tomaron capacitaciones de Autocad y simulador Optisystem, estas clases fueron a nivel intermedio para poder desarrollar los diseños y simulación. Fuente: Elaboración propia.

4.1.2 Software

Para el diseño es necesario obtener la licencia del software, dentro de las licencias, se cuenta con el software Optisystem el cual el primer mes para realizar la elaboración inicial de la red se consideró licencia estudiantil.

Tabla 7

Software

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	MESES	PRECIO \$	PRECIO S/
1	GOOGLE EARTH PRO	UND.	1	3	\$ -	S/ -
2	AUTOCAD	UND.	1	4	\$ 407.60	S/ 1,499.97
3	OPTISYSTEM	UND.	1	2	\$ 450.00	S/ 1,656.00
4	MICROSOFT	UND.	1	3	\$ 40.76	S/ 150.00
TOTAL					\$ 898.36	S/ 3,305.97

Nota. Posterior a ello se adquirió por 1 mes, como se muestra en la tabla 7. Fuente: elaboración propia.

4.1.3 Materiales externos

Estos elementos pasivos de red, se han considerado para el diseño de despliegue, los costos son considerados del año 2025.

Tabla 8
Material pasivo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO \$	PRECIO S/
1	MUFA TIPO DOMO MECÁNICA	UND.	5	\$ 245.05	S/ 901.78
2	FIBRA DE 96H	M	2560.0	\$ 2,198.10	S/ 8,089.01
3	FIBRA DE 48H	M	9031.1	\$ 4,654.40	S/ 17,128.19
4	CAJA CTO X 16 PUERTOS	UND.	124	\$ 1,767.00	S/ 6,502.56
5	ODF	UND.	2	\$ 98.02	S/ 360.71
6	SPLITTER 1X2	UND.	3	\$ 110.40	S/ 406.27
7	SPLITTER 1X4	UND.	34	\$ 510.00	S/ 1,876.80
8	ROSETA ÓPTICA	UND.	2130	\$ 8,860.80	S/ 32,607.74
9	CONECTORES	UND.	4260	\$ 2,896.80	S/ 10,660.22
TOTAL				\$ 21,340.57	S/ 78,533.28

Nota: Puede surgir una variación en caso se consigan más propuestas o variación del proveedor. Fuente: Elaboración propia.

4.1.4 Materiales internos

Los elementos activos, como las ONT, son esenciales para el acceso a la red y su dimensionamiento depende del índice de penetración en el distrito

Tabla 9
Material activo

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO \$	PRECIO S/
1	OLT	UND.	3	\$ 9,600.00	S/ 35,328.00
2	ONT	UND.	2130	\$ 155,681.70	S/ 572,908.66
3	OSFP CLASS C++	UND.	45	\$ 1,656.00	S/ 6,094.08
TOTAL				\$ 166,937.70	S/ 614,330.74

Nota. En las consideraciones se contempla los equipos ONT en base al índice de penetración en el distrito. Fuente: Elaboración propia.

4.1.5 Elementos de medición

Equipos de medición físico, los cuales pueden ser considerados para que las cuadrillas de despliegue de red puedan validar los niveles óptimos de la red.

Tabla 10
Equipos de Medición

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO \$	PRECIO S/
1	OTDR/IOLM	UND.	3	\$ 22,302.00	S/ 82,071.36
2	FUSIONADORA	UND.	3	\$ 7,092.00	S/ 26,098.56
3	POWER METER	UND.	12	\$ 1,548.00	S/ 5,696.64
4	VFL	UND.	12	\$ 600.00	S/ 2,208.00
5	BOBINA DE LANZAMIENTO	UND.	3	\$ 300.00	S/ 1,104.00
6	KIT GPON	UND.	12	\$ 1,200.00	S/ 4,416.00
TOTAL				\$ 33,042.00	S/ 121,594.56

Nota. Con ello los proveedores pueden tener de manera referencial los costos a la fecha presentado el proyecto de investigación. Fuente: Elaboración propia.

4.1.6 Costos adicionales

En la siguiente tabla se muestra las gestiones municipales y los servicios por la implementación de red

Tabla 11
Adicionales

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO \$	PRECIO S/
1	PERMISOS MUNICIPALES	UND.	1	\$ 10.00	S/ 36.80
2	SOLICITUD DE EXPEDIENTE	UND.	1	\$ 20.00	S/ 73.60
3	TASAS MUNICIPALES	UND.	1	\$ 80.00	S/ 294.40
4	ALQUILER DE PREDIO	UND.	12	\$ 3,260.76	S/ 11,999.60
5	FUSIONES	UND.	2200	\$ 6,600.00	S/ 24,288.00
6	MEDICIÓN	UND.	2200	\$ 22,000.00	S/ 80,960.00
7	MANO DE OBRA DE IMPLEMENTACIÓN	UND.	1	\$150,000.00	S/ 552,000.00
8	ALQUILER DE POSTERÍA	UND.	400	\$ 14,720.00	S/ 54,169.60
TOTAL				\$ 196,690.76	S/ 723,822.00

Nota. Considerando que estos precios son variables ya que puede haber múltiples propuestas de proveedores y gestiones. Fuente: Elaboración propia.

4.1.7 Costos total

En el costo total se detalla todos los costos elaborados en las tablas anteriores, para saber el aproximado del proyecto.

Tabla 12
Costo Total

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO \$	PRECIO S/
1	Recursos Humanos	\$ 81.57	S/ 309.97
2	Software	\$ 898.36	S/ 3,305.97
3	Material pasivo	\$ 21,340.57	S/ 78,533.28
4	Material activo	\$ 166,937.70	S/ 614,330.74
5	Equipos de Medición	\$ 33,042.00	S/ 121,594.56
6	Adicionales	\$ 196,690.76	S/ 723,822.00
	TOTAL	\$ 418,990.96	S/1,541,896.52

Nota. Contempla el presupuesto total del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

4.2 ANÁLISIS DE BENEFICIOS

4.2.1 Beneficios tangibles

En el presente proyecto busca brindar solución al acceso de internet.

Tabla 13
Utilidad del 20%

ITEM	DESCRIPCIÓN	PRECIO \$	PRECIO S/
1	Costo Total del proyecto	\$ 418,990.96	S/ 1,541,896.52
2	Costo de utilidad (20%)	\$ 83,798.19	S/ 308,379.30
	TOTAL	\$ 502,789.15	S/ 1,850,275.82

Nota. Ante la necesidad de los pobladores del distrito de Huancabamba, de tal manera como se muestra, tal manera que se considera un 20% de utilidad para el desarrollo.

4.2.3 Análisis de costo/beneficio

Considerando que el proyecto tiene una visión de 5 años a más, tomaremos el valor de 5 años para poder determinar los ingresos a un plan moderado por servicio a internet, con ello solo estamos calculando índice de penetración del 36% en todo el distrito, debido a que solo se ha calculado en base al dimensionamiento de lo proyectado que son 2130 clientes ya que la red tiene una expansión 15,360 abonados.

Tabla 14

Proyección costo de servicio por 12 meses por 5 años en su capacidad máxima

Año	COSTO DE SERVICIO INTERNET	CANTIDAD DE CLIENTES	MESES	TOTAL
0	80	0	12	S/ -
1	80	2130	12	S/ 2,044,800.00
2	80	2130	12	S/ 2,044,800.00
3	80	2130	12	S/ 2,044,800.00
4	80	2130	12	S/ 2,044,800.00
5	80	2130	12	S/ 2,044,800.00
TOTAL				S/ 10,224,000.00

Nota. Para ello se graficará el plan de servicio a internet con el costo por año en la tabla 14, con un total de S/10,224,000.00. Fuente: Elaboración Propia.

$$\frac{\text{Beneficio}}{\text{Costo}} = \frac{2,100,268.77}{1,850,264.07} = 1.14$$

Resultado de costo beneficio es de 1.14, lo que responde que el proyecto es viable.

4.3 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

4.3.1 Desarrollo de flujo de caja

En base al desarrollo de flujo de caja se considera los montos cotos operativos, manteamiento y servicio de averías en los abonados por año, el flujo neto del proyecto, y el valor de inversión inicial, los cuales los montos se ha considerado en dólares para hacer la tabla más dinámica,

Tabla 15
Flujo caja por 5 años

Año	Inversión inicial (USD)	Ingresos (USD)	Costos operativos (USD)	Flujo neto (USD)	Valor (USD)	Valor (S/)
0	\$ -502,789.15	\$ -	\$ -	\$ -502,789.15	\$ -502,789.15	-S/ 1,850,264.07
1	\$ -	\$ 555,652.17	\$ 196,690.76	\$ 358,961.41	\$ 299,134.51	S/ 1,100,815.00
2	\$ -	\$ 555,652.17	\$ 196,690.76	\$ 358,961.41	\$ 249,278.76	S/ 917,345.84
3	\$ -	\$ 555,652.17	\$ 196,690.76	\$ 358,961.41	\$ 207,732.30	S/ 764,454.86
4	\$ -	\$ 555,652.17	\$ 196,690.76	\$ 358,961.41	\$ 173,110.25	S/ 637,045.72
5	\$ -	\$ 555,652.17	\$ 196,690.76	\$ 358,961.41	\$ 144,258.54	S/ 530,871.43
Total					\$ 570,725.21	S/ 2,100,268.77

Nota. Considerando que el precio actual del dólar es \$3.68, en relación con la presente investigación, tal y como se muestra en la tabla 15. Fuente: Elaboración propia.

4.3.2 Análisis de VAN

Para el cálculo del VAN (Valor unitario Neto), la ecuación se procede a calcular en Excel.

Datos para considerar:

Tasa de interés (i) = 20% (0.20)

t = 5 años

Inversión inicial (I₀)= \$502,789.15 (S/1,850,264.07)

La fórmula del VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{Ft}{(1+r)^t} - C_0$$

Resultado VAN = \$570,725.21 ó S/ 2,100,268.77

4.3.3 Análisis de TIR

Para el cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno), usaremos los datos mencionados en el VAN (Valor unitario Neto), la ecuación se procede a calcular en Excel.

Datos para considerar:

Flujo anual neto = \$358,961.41 (S/ 1,320,977.99)

t = 5 años

Inversión inicial (I0)= \$502,789.15 (S/1,850,264.07)

La fórmula del TIR es:

$$TIR = \frac{-I + \sum_{i=1}^n Fi}{\sum_{i=1}^n i * F_1}$$

Resultado TIR = 47.5%

El examen económico del proyecto contempla la estimación de la TIR, el cual representa la productividad que generaría la inversión, a partir del flujo de caja proyectado, se obtuvo una TIR de aproximadamente 47.5 %, valor que supera ampliamente la tasa de descuento del 20 % utilizada, en este resultado indica que el proyecto no solo es viable, sino que también proporciona una rentabilidad atractiva para su ejecución.

CONCLUSIONES

1. Debido a la muestra recolectada de los pobladores de Huancabamba, se concluye que la mayoría de los pobladores carece de internet fijo en su vivienda, cuentan con internet móvil pero solo a veces satisfacen sus necesidades según el 63,2% de los encuestados, por otro lado, el 78.9% considera que necesario mejorar la infraestructura de telecomunicaciones dentro del distrito.
2. El desarrollo del diseño de red FTTH con tecnología GPON permitió establecer una arquitectura estructurada y óptima, considerando la topografía local y facilitando una distribución eficiente de los elementos ópticos que garantizan una cobertura adecuada en el distrito.
3. La selección de los equipos de red se realizó bajo criterios técnicos adaptados a las condiciones del entorno rural, asegurando que las soluciones propuestas sean escalables, eficientes y compatibles con las demandas presentes y proyectadas de la comunidad, sobre todo que sea constante en el tiempo.
4. Las simulaciones realizadas demostraron que la red diseñada opera correctamente bajo condiciones reales, cumpliendo con los niveles de potencia y márgenes de enlace, lo que garantiza un servicio estable y de calidad. El diseño fue revisado por dos expertos, que validaron la elección de equipos y simulación, también el diseño y distribución de elementos pasivos de la red, asegurando su adecuación al entorno de Huancabamba, estas validaciones refuerzan la propuesta como una alternativa eficiente para fortalecer la conectividad en áreas rurales.

RECOMENDACIONES

1. Es recomendable que las autoridades locales y regionales, en coordinación con operadores de telecomunicaciones, prioricen inversiones en infraestructura de internet fijo, especialmente en zonas con bajo acceso como Huancabamba, y también sería útil promover campañas informativas, programas de apoyo que faciliten el acceso a servicios digitales para los hogares más vulnerables.
2. Se sugiere considerar este diseño como base para la ejecución futura del proyecto, ya que responde a las condiciones geográficas del distrito, también sería conveniente realizar estudios de actualización periódicos para adaptar la red a los posibles cambios en la expansión urbana o demanda de usuarios.
3. Con el fin de preservar el rendimiento del sistema a largo plazo, se recomienda evaluar constantemente el rendimiento de los equipos instalados y establecer un plan de mantenimiento preventivo, se podría capacitar al personal técnico local para garantizar un soporte continuo y adecuado.
4. Sería conveniente que el diseño validado sea utilizado como referencia en futuras implementaciones en zonas rurales similares y también se recomienda fomentar nuevas evaluaciones con otros especialistas que puedan aportar desde diferentes enfoques técnicos y sociales, fortaleciendo la propuesta desde una mirada integral.

REFERENCIAS

- Altamar Carrillo, H. J., y Puerta Lozano J. M. (2021). *Diseño de una red de fibra óptica para el suministro de internet hogar en la comunidad de barrios altos de Aeromar – Santa Marta*. [Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, Universidad Cooperativa de Colombia]. Repositorio Institucional UCC.
<https://hdl.handle.net/20.500.12494/36370>
- Andia. (2023). *Implementación de acceso a internet, en el año 2023*.
<https://andina.pe/agencia/noticia-implementaran-plazas-acceso-gratuito-a-internet-90-zonas-rurales-piura-y-tumbes-931287.aspx>
- Ansys. (2024). *Pulse broadening from linear and nonlinear dispersion in an optical fiber*.
<https://optics.ansys.com/hc/en-us/articles/360042819393-Pulse-broadening-from-linear-and-nonlinear-dispersion-in-an-optical-fiber>
- Aquino Espinoza M. H., y Loayza Ccalla B. L. (2024) , *Diseño de una red FTTH basado en tecnología GPON para brindar servicio de banda ancha en el distrito de San Pedro, Cusco, 2024*. [Tesis grado, Universidad Ricardo Palma] Repositorio URP
<https://repositorio.urp.edu.pe/server/api/core/bitstreams/b14754ad-ee9d-4dca-86bc-30b9c9f521a7/content>
- Aristizábal, V. H. (2007) *Introducción a la tecnología de fibras ópticas y análisis numérico de la propagación de la luz en fibras micro estructuradas*. <https://www.redalyc.org/pdf/3442/344234312007.pdf>
- Autodesk. (2023). *AutoCAD 2021*.
<https://www.autodesk.com/products/autocad/overview>
- Bernal, I. (2024). *Fibra óptica Monomodo y multimodo: diferencias y aplicaciones claves*. https://datamercantil.com/Fibra-Optica-Monomodo-y-Multimodo-Diferencias-y-Aplicaciones-Clave/?Utm_source

- Blogspot. (2015). *¿Qué es el BER (Bit Error Rate)?*
https://ingenieroandreotti.blogspot.com/2015/08/que-es-el-ber-bit-error-rate_21.html
- Bonelinks. (2024). *A comprehensive guide to Gpon and Epon technologies in pon networks*. <https://www.bonelinks.com/a-comprehensive-guide-to-gpon-and-epon-technologies-in-pon-networks/>
- Calle Méndez C. A., y Machado Tapia D. G. (2015) *Estudio de factibilidad para la implementación de la red FTTH en la empresa Puntonet sucursal Cuenca*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica Salesiana]
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8862/1/UPS-CT005052.pdf>
- Cear Latinoamericano. (2025). *Brecha de infraestructura en el Perú*.
<https://cearlatinoamericano.pe/blog/brecha-infraestructura-explicada>
- Cisco. (2023). *Tecnología Gpon*.
https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/switches/catalyst-pon-series/216230-understand-gpon-technology.html
- Comex Perú. (2019). *Infraestructura en el Perú*.
<https://www.comexperu.org.pe/articulo/brecha-de-infraestructura-una-alta-valla-por-superar>
- Data. (2023). *¿Qué hace un terminal de línea óptica (OLT)?*
<https://es.cdattatec.com/what-does-an-optical-line-terminal-olt-do.html>
- Daytai. (2021). *Qué es Fiber, Singlemode Fiber y Multimode Fiber*.
<https://www.daytaifibraoptica.com/news/what-is-fiber-singlemode-fiber-and-multimode-f-47875911.html>
- Dintek. (2024). *Tipos de fibra*.
<https://es.dintek.com.tw/index.php/Art%C3%ADculos-de-dintek/Tipos-de-fibra-%C3%B3ptica-multimodo-y-monomodo>

- El peruano. (2015). *Congreso de la república Ley 29904*.
<https://www.leyes.congreso.gob.pe/Documentos/Leyes/29904.pdf>
- El peruano. (2023). *Ley para el fomento de un Perú conectado*.
<https://img.lpderecho.pe/wp-content/uploads/2023/06/Ley-31809-LPDerecho.pdf>
- El peruano. (2024). *Red Dorsal Nacional de Fibra Óptica: Cobertura Universal Norte, Cobertura Universal Sur y Cobertura Universal Centro*.
<https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/2351271-1>
- El peruano. (2023). *Hogares con acceso a internet fijo o móvil*.
<https://www.elperuano.pe/noticia/226690-erestel-9-de-cada-10-de-hogares-peruanos-cuentan-con-acceso-a-internet-fijo-o-movil>
- El peruano. (2025) *Perú registró más de 4 millones de conexiones de internet fijo al cierre de 2024*. <https://elperuano.pe/noticia/264856-peru-registro-mas-de-4-millones-de-conexiones-de-internet-fijo-al-cierre-de-2024>
- Espinoza Colonia A. A., y Oropeza Vega J. (2020). *Sistema de red WIMAX de Banda Ancha inalámbrica para mejorar los servicios de cobertura en telecomunicaciones, tecnología y redes aplicando la norma IEEE. 802.16 en el distrito de Huancabamba – Oxapampa, 2020*. [Tesis grado, Universidad Privada Telesup]. Repositorio UTELESUP.
<https://repositorio.utesup.edu.pe/handle/UTESUP/1397>
- Estudyando. (2025). *¿Cómo funciona la fibra óptica?*
https://estudyando.com/como-funciona-la-fibra-optica/?utm_source
- Fibrapedia. (2025). *La fibra óptica y su rol en la transmisión*.
https://fibrapedia.puntanetwork.com/tecnologia-y-diseno/fibra-optica-su-rol-transmision-senales-alta-velocidad/?utm_source
- Francisco Finquin E. R., y Rojas Daviran A. A. (2022), *Arquitectura de una red FTTH con tecnología GPON para habilitar el servicio de internet en el centro poblado de Comatrana, Ica 2022*. [Tesis grado, Universidad

Nacional del Callao]. <https://repositorio.unac.edu.pe/item/d4d25f29-21b3-4849-81e2-c7bd77a6c53b>

Fs. (2021). *Definición, tipos y características de la fibra multimodo: OM1 vs OM2 vs OM3 vs OM4 vs OM5*. <https://www.fs.com/es/blog/advantages-and-disadvantages-of-multimode-fiber-28331.html>

Fs. (2021). *Fibra monomodo Wiki: Tipos y aplicaciones*. <https://www.fs.com/es/blog/single-mode-fiber-how-much-do-you-know-31411.html>

Fs. (2021). *Tipos de dispersión de la fibra óptica y estrategias de compensación*. <https://www.fs.com/es/blog/types-of-optical-fiber-dispersion-and-compensation-strategies-3641.html>

García Juárez, A., García Delgado, L. A. y Noriega Luna, J. R. B. (2024). *Curso introducción a la optoelectrónica fibras ópticas (Dispersión en fibras ópticas)*. <https://sivea.uson.mx/docentes/tareas/DispersionFibrasOpticas.pdf>

García Zaballos, A., Cabello, S., Puig, P., Iglesias, E. y Dalio, M. (2023). *Los desafíos del crecimiento de la fibra óptica en América Latina y el Caribe. Biblioteca Felipe Herrera del Banco Interamericano de Desarrollo*. <https://publications.iadb.org/es/los-desafios-del-crecimiento-de-la-fibra-en-america-latina-y-el-caribe>

García Zaballos, A., Cabello, S.D., Puig Gabarró, P., Iglesias Rodriguez, E., y Dalio, M. (2023). *Los desafíos del crecimiento de la fibra en América Latina y el Caribe*. 7- 9. <http://dx.doi.org/10.18235/0005153>

Gil, P., Pomares, J., y Candelas, F. (2010). *Redes y transmisión de datos*. Universidad Alicante. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=On6y2SEaWyMC&oi=fnd&pg=PA7&dq=TRANSMISI%C3%93N+DE+DATOS,+VELOCIDAD&ots=Lf9k6xLIGl&sig=pC7SMZoGM1EIhtKGwb5h0u7nfhA#v=onepage&q&f=false>

Gómez Ñahuinripa L. A. (2022). *Implementación de una red de fibra óptica para el servicio de internet del centro poblado de Hualahoyo*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú].

https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/8549/T010_76818144_T_removed_compressed.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Google Inc. (2009). *Google Earth Pro*. <https://www.gisandbeers.com/google-earth/>

Huawei. (2023). *MA5800-X17&X15&X7&X2 Product Datasheet*.

<https://carrier.huawei.com/~media/cnbgv2/download/products/networks/ma5800-en.pdf>

Idrogo Tapia C. J. (2021). *Diseño de una red de fibra óptica utilizando la tecnología gpon para la ciudad de Arequipa*. [Tesis grado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].

https://repositorioacademico.upc.edu.pe/bitstream/handle/10757/659956/Idrogo_TC.pdf;jsessionid=7A4045056D1813F26CCEF864A84B6E80?sequence=3

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2024). *Perú: acceso y uso de las Tecnologías de Información y Comunicación en los Hogares y por la Población, 2010 – 2022*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1945/libro.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2018). *Características de las viviendas particulares y los hogares. Acceso a servicios básicos*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1718/Libro.pdf

Instituto Nacional de Estadísticas e Informática. (2018). *Piura resultados definitivos 2018*.

https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1553/20TOMO_01.pdf

Instituto Tecnológico de la Producción. (2018). *Inversión del PBI en Piura*.
<https://transparencia.produce.gob.pe/images/stories/Repositorio/transparencia/transferencia-de-gestion/Daniel-Cordova/ITP.pdf>

International Telecommunication Union. (2008). *G.984.4 Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): ONT management and control interface specification*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>

International Telecommunication Union. (2023). *Gigabit capable symmetric passive optical network (XGS-PON)*, 63-67.
<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1-202302-I/en>

Machado Parra, M. Y. (2024). *Diseño de una red de fibra óptica (FTTH) para evaluar la migración de red de cobre a fibra con el estándar 10G-EPON de los usuarios de CNT EP de la parroquia de Cajabamba cantón Colta*. [Tesis para optar al título de Ingeniera en Telecomunicaciones, Universidad Nacional de Chimborazo]. Repositorio Digital UNACH
<http://dspace.unach.edu.ec/handle/51000/14605>

Montero Reyes, R. (2020). *Sumario normas legales 1, gerente de publicaciones oficiales*.
<https://spij.minjus.gob.pe/Normas/sumillas/Sumilla.pdf>

More S. (2025). *20 años de evolución del internet fijo Perú: 2004 – 2024*”
https://www.linkedin.com/posts/javier-more-sanchez_internet-broadband-fiber-activity-7301692889611329536-qswL/?originalSubdomain=es

Multiplay telecomunicaciones. (2024). *Transceiver_Huawei_20km_OLT*.
https://multiplay.com.pe/media/file/producto/producto/Transceiver_Huawei_20km_OLT.pdf

Optiwave. (2024). *OPTISYSTEM*.
<https://optiwave.com/Optisystem-Overview/>

- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones, (2024).
Acceso a internet fijo creció a doble dígito y cierra el primer trimestre de 2024 con 3.66 millones de conexiones.
<https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/acceso-a-internet-fijo-crecio-a-doble-digito-y-cierra-el-primer-trimestre-de-2024-con-3-66-millones-de-conexiones/>
- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2023).
Enfoque de cobertura móvil e internet fijo inalámbrico.
https://www.osiptel.gob.pe/portal-del-usuario/noticias/osiptel-establece-nuevo-enfoque-para-la-definicion-de-cobertura-en-los-servicios-moviles-e-internet-fijo-inalambrico/?utm_source
- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2024).
Acceso a internet fijo creció a doble dígito y cierra el primer trimestre de 2024 con 3.66 millones de conexiones.
<https://www.osiptel.gob.pe/Portal-Del-Usuario/Noticias/Acceso-a-Internet-Fijo-Crecio-a-Doble-Digito-y-Cierra-El-Primer-Trimestre-de-2024-Con-3-66-Millones-de-Conexiones/>
- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2024).
Más del 70 % de conexiones de internet fijo en Perú usan fibra óptica al cierre del tercer trimestre. https://www.Osiptel.Gob.Pe/Portal-Del-Usuario/Noticias/Mas-Del-70-de-Conexiones-de-Internet-Fijo-En-Peru-Usan-Fibra-Optica-al-Cierre-Del-Tercer-Trimestre/?Utm_source
- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2025).
Indicadores CV y TEMT del segundo Semestre del 2024 (2024-2S).
<https://repositorio.osiptel.gob.pe/handle/20.500.12630/947>
- Organismo supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones. (2025). *El portal a la información de las telecomunicaciones.*
<https://punku.osiptel.gob.pe/>
- Pérez Romero, P., (2005). *Tecnologías xDSL. Polibits*, (31), 17-22.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=402640444003>

- Promax. (2018). *Analizador de espectro óptico portátil*.
<https://www.promax.es/downloads/products/esp/PROLITE-60.pdf>
- Redeszone. (2025). *¿Qué es un transceptor SFP y cómo elegir uno según tus necesidades?* <https://www.Redeszone.Net/Tutoriales/Redes-Cable/Que-Es-Transceptor-Sfp/>
- Runtop. (2024). *Conocimiento de EXPON*.
<https://es.runtoptech.com/blog/detail-298565.html>
- Schnitzler, S. (2013). *Fibra óptica por Sergio Schnitzler*.
<https://www.yio.com.ar/fibras-opticas/splitters-fibras-opticas.php>
- Selmanovic, F., & Skaljo, E. (2010). *GPON in Telecommunication Network. International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems, 1012–1016*.
<https://doi.org/10.1109/ICUMT.2010.5676500>
- Sensorick. (2025). *Tecnología HFC: Que es y cómo funciona*.
<https://Sensoricx.Com/Telecomunicaciones/Tecnologia-Hfc-Que-Es-Como-Funciona/>
- Sisutelco. (2020). *Introducción de las redes FTTX*.
<https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/>
- Soto Reyes A. (2023). *Ley de reforma constitucional que promueve el uso de las tecnologías de la información y la comunicación, y reconoce el derecho de acceso a internet libre en todo el país. 8-9*.
<https://img.lpderecho.pe/wp-content/uploads/2023/09/Ley-31878-LPDerecho.pdf>
- Sur noticias. (2024). *Resolución de transmisión de datos*.
https://surnoticias.com/Index.Php/157-Tecnologia/10818-Fibra-Optica-Transmision-de-Datos-Tecnologia-Comunicaciones-Internet-Velocidad-Conectividad-Telecomunicaciones?Utm_source

- T21. (2022). *Perú: Más de 8 millones de hogares tienen internet*.
<https://t21.pe/peru-8-millones-hogares-tienen-internet>
- Tecnosinergia. (2023). *Recomendaciones de uso con bit rate*.
<https://tecnosinergia.zendesk.com/hc/es/articles/360022413212-Recomendaciones-de-uso-con-BIT-RATE>
- Thefoa. (2024). *Fibra óptica*.
https://www.thefoa.org/ESP/Fibra_optica.htm
- Valenzuela, J. P. (2007). *Tecnologías XDSL*.
<https://www.geocities.ws/jpvalenzuelac/adsl/t2>
- Vargas, C. (2020). *Introducción de las redes FTTX*.
<https://sisutelco.com/introduccion-redes-ffttx/>
- Villegas Copia, V. L., Castro Pulcha, B. E., & Nomberto Pineda, B. A. (2024). *Evolución de las telecomunicaciones en el Perú: Avances y desafíos en conectividad digital*. *Ciencia y Tecnología*, 23(2), 52–57.
<https://doi.org/10.70414/cyt.v23i2.104>
- Wordpress. (2017). *Internet la herramienta de hoy*.
<https://danilopy.wordpress.com/2017/04/08/Gpon-Gigabit-Passive-Optical-Network/>
- Ybet. (2005). *High Speed Internet connections: ADSL, VDSL, HDSL, located lines, ATM*. <https://www.ybet.be/en-hardware-2-06/high-speed.php>
- Ycict. (2024). *Huawei SFP GPON OLT C++*.
<https://www.ycict.net/es/products/huawei-sfp-gpon-olt-c-2/>
- Ycict. (2025). *Huawei smartax. ma5800-x15*.
<https://www.ycict.net/es/products/huawei-smartax-ma5800-x15-olt/>

ANEXO A: MATRIZ DE INVESTIGACIÓN

Tabla 16: DISEÑO UNA RED DE FIBRA OPTICA MEJORAR EL SERVICIO DE TELECOMUNICACIONES EN EL DISTRITO DE HUANCABAMBA

PROBLEMÁTICA	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVO GENERAL	PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	ACCIONES	MARCO TEÓRICO	DESARROLLO	EVALUACIÓN	CONCLUSIONES	RECOMENDACIONES
En América Latina, el acceso a redes FTTH ha crecido, pero las zonas rurales siguen rezagadas, en el Perú mientras las áreas urbanas superan el 80 % de acceso a internet, las rurales apenas alcanzan el 50 %, En Huancabamba, solo el 15 % tiene internet fijo, lo que refleja una limitada infraestructura, es por ello, se propone implementar una red FTTH con tecnología GPON para mejorar la conectividad, beneficiando a la población y a las instituciones públicas con velocidades de hasta 10 Gbps.	¿Cómo el diseño de una red FTTH con tecnología GPON puede mejorar el servicio de telecomunicaciones en el distrito de Huancabamba?	Diseñar una red FTTH con tecnología GPON para mejorar el servicio de telecomunicaciones en el distrito de Huancabamba.	*¿Cuál es la situación actual de los servicios fijos en el distrito Huancabamba? *¿De qué manera se puede determinar la adecuada cobertura para el despliegue de red FTTH en Huancabamba? *¿Qué elementos tecnológicos activos y pasivos, se deben contemplarse en el diseño de una red de acceso GPON para garantizar eficiencia y adaptabilidad en zonas rurales como Huancabamba? *¿Cómo comprobar el correcto funcionamiento del enlace óptico diseñado para la ciudad de Huancabamba?	*Analizar el contexto actual de los servicios fijos del distrito de Huancabamba. *Diseñar la arquitectura de red FTTH y la correcta ubicación de elementos ópticos para su despliegue. *Seleccionar los equipos y elementos de Red FTTH con tecnología GPON con características adecuadas para la zona rural de Huancabamba. *Validar y simular el correcto funcionamiento del enlace óptico diseñado para la zona rural de Huancabamba.	*Análisis de datos y encuesta para evaluar el contexto actual de la ciudad de Huancabamba. *Estudio topográfico y elaboración del diseño. *Selección con características adecuadas para el distrito rural de Huancabamba. *Simulación del diseño de red por cada sector.	*Conceptos de fibra óptica. *Evolución de las tecnologías. *Tecnología de servicios fijos hogar. *Trasmisión de datos. *Conceptos generales de red FTTH. *Concepto de la red GPON. *Estándares XPON. *Factores ópticos. *Google Earth Pro. *AutoCAD 2021. *Optisystem.	*Se realizó la búsqueda de información del contexto actual de las telecomunicaciones en la ciudad de Huancabamba y una encuesta a los pobladores. *Dentro del estudio se pudo elaborar y diseñar la ruta de despliegue mediante Google Earth Pro y AutoCAD. *Se realizó la comparativa de equipos adecuados para el distrito de Huancabamba. *Se realizó la simulación de la red, de cada sector para corroborar los valores óptimos de enlace.	Desde una perspectiva técnica, se estudiarán los componentes necesarios para el diseño, su cobertura estimada y el desempeño de la misma. En cuanto al aspecto económico, se calcularán los costos de implementación, operación y mantenimiento, así como los beneficios a mediano y largo plazo, considerando la expansión del acceso digital, la rentabilidad del proyecto y su impacto social en la región.	*La mayoría de los pobladores de Huancabamba no cuenta con internet fijo y el servicio móvil que usan no siempre cubre sus necesidades, además la mayoría considera urgente mejorar la infraestructura de telecomunicaciones del distrito. *El desarrollo de la red FTTH utilizando tecnología GPON se adaptó correctamente al terreno de Huancabamba, logrando una distribución eficiente que garantiza buena cobertura. *La elección de equipos se basó en criterios técnicos adecuados para el entorno rural, asegurando un sistema escalable y sostenible en el tiempo. *Las simulaciones confirmaron que la red funcionará correctamente y también dos expertos validaron tanto el diseño como la selección de componentes, fortaleciendo la propuesta como solución viable para zonas rurales.	*Se propone que las autoridades y operadores inviertan en internet fijo en zonas como Huancabamba y fomenten programas que mejoren el acceso digital en hogares con menos recursos. *Se recomienda usar el diseño planteado como base para futuros proyectos y actualizarlo periódicamente según el crecimiento urbano y la demanda local. *Con el fin de garantizar el funcionamiento adecuado de la red, se sugiere monitorear los equipos, aplicar mantenimiento regular y capacitar personal técnico en la zona. *Se aconseja replicar este diseño en otras áreas rurales y enriquecerlo con aportes de expertos de distintas disciplinas para fortalecer su enfoque integral.

ANEXO B: OLT MA5800-X15

Product Specifications			
Product Indicator	 MA5800-X17	 MA5800-X15	 MA5800-X7
H x W x D (mm)	486 x 493 x 287	486 x 442 x 287	263.9 x 442 x 268.7
Payload switching capacity of the control board	MPLA/MPLB: 7 Tbit/s MPLG: 7.3 Tbit/s		
Maximum payload bandwidth per service slot	200 Gbit/s		
Number of concurrent 4K video users	16000		8000
Power supply mode	DC power supply (dual for backup)		
Rated voltage	-48 V/-60 V		
Ambient temperature	-40 °C to +65 °C* (normal operation) Minimum startup temperature: -25 °C * +65°C indicates the temperature of the air intake vent of the service subrack.		
GPON/XG-PON/XGS-PON ports	16 x 17 = 272	16 x 15 = 240	16 x 7 = 112
Upstream ports (Dual control boards for upstream transmission)	MPLA/MPLB: 8 x 10GE/GE MPLG: 2 x 100GE + 4 x 10GE/GE		

Transceiver óptico C++, 20km - HUAWEI

Descripción del Producto

Un transceiver óptico es un dispositivo clave en las redes de telecomunicaciones y transmisión de datos que se utiliza para enviar y recibir señales de datos a través de fibra óptica. Este equipo convierte señales eléctricas en señales ópticas y viceversa, permitiendo la transmisión de grandes cantidades de información a largas distancias con alta velocidad y eficiencia.



Características

Marca	Huawei
Modelo	GPON – OLT – Class - C++
Interfaz	SC / UPC
Tipo de cable	Fibra Óptica Monomodo Bidireccional
Distancia de Transmisión	20km
Potencia	Aproximadamente +7dBm
Longitud de Onda	Rx : 1310 nm Tx : 1490 nm
Transferencia	Rx: 1.244Gbit/s Tx: 2.488Gbit/s



Datasheet

Huawei OptiXstar EG8145X6-10 Datasheet 02 (7dBi)

Huawei intelligent GPON and Wi-Fi 6 routing-type ONT

Overview

The Huawei OptiXstar EG8145X6-10 is an intelligent GPON and Wi-Fi 6 routing-type ONT. It uses the GPON Wi-Fi 6 technology to implement ultra-broadband access, high performance and wide coverage for users. The high forwarding performance ensures the user experience of voice, data and HD video services, and provides customers with an ideal all-optical access solution and future-oriented service support capability.

It provides four GE ports, one POTS port, one USB port and 2.4GHz&5GHz Wi-Fi 6 function.

- Next generation Wi-Fi 6 technology
- Smart service
- Smart interconnection
- Smart O&M



Huawei OptiXstar EG8145X6-10 Datasheet 02 (7dBi)

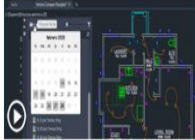
1

ANEXO E: AUTOCAD

 **AUTODESK® AUTOCAD® 2021**

- Novedades de AutoCAD
- Para empezar
- Manual del usuario de AutoCAD
- ¿Ha probado...?
- Ventajas de la Suscripción
- Manuales de personalización y administración
- AutoLISP: Developer's Guide
- AutoLISP: Reference
- Instalación de One AutoCAD
- Notas de la versión de One AutoCAD
 - Autodesk® AutoCAD® 2021 con los conjuntos de herramientas especializadas
- Actualizaciones de AutoCAD
- Conjuntos de herramientas especializadas
- Actualizaciones de Conjuntos de herramientas especializadas
- AutoCAD for Mac

Videos de nuevas funciones y descripción general de la interfaz de usuario



Nuevas funciones



Descripción general de la interfaz de usuario

¿Ha probado...?

Explorar las funciones, las técnicas y los consejos

Aprender

Novedades

Hitchhiker's Guide to AutoCAD

Formación y certificación

Autodesk University

Conectar

Autodesk Community

Grupos de debate de Autodesk

Blogs de Autodesk

AUGI

Referencias rápidas

Comandos | Nuevos | Actualizados | Obsoletos

Variables de sistema | Nuevas | Actualizadas | Obsoletas

Express Tools

Método abreviado | Teclas de modificación temporal

Recursos

Personalización | Administración de CAD

Documentación para el desarrollador

Notas de la versión | Requisitos del sistema

Glosario

Preguntas frecuentes

Descargas

Revisiones, activadores de objetos y mucho más

Ayuda sin conexión

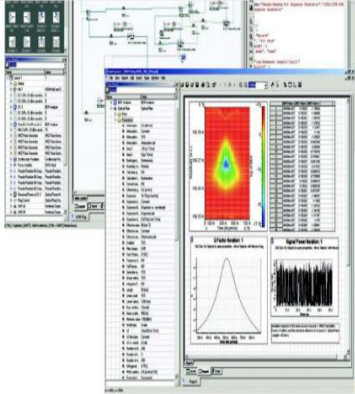
Archivos de ejemplo

ANEXO F: OPTISYSTEM



[Aplicaciones](#) [Productos](#) [Descargas](#) [Apoyo](#) [Inicio de sesión en el foro](#) [Licencia de estudiante](#) [Evaluación gratuita](#)

INFO@OPTIWAYE.COM [1-866-576-6784](tel:1-866-576-6784)



FUNCIONALIDAD CLAVE

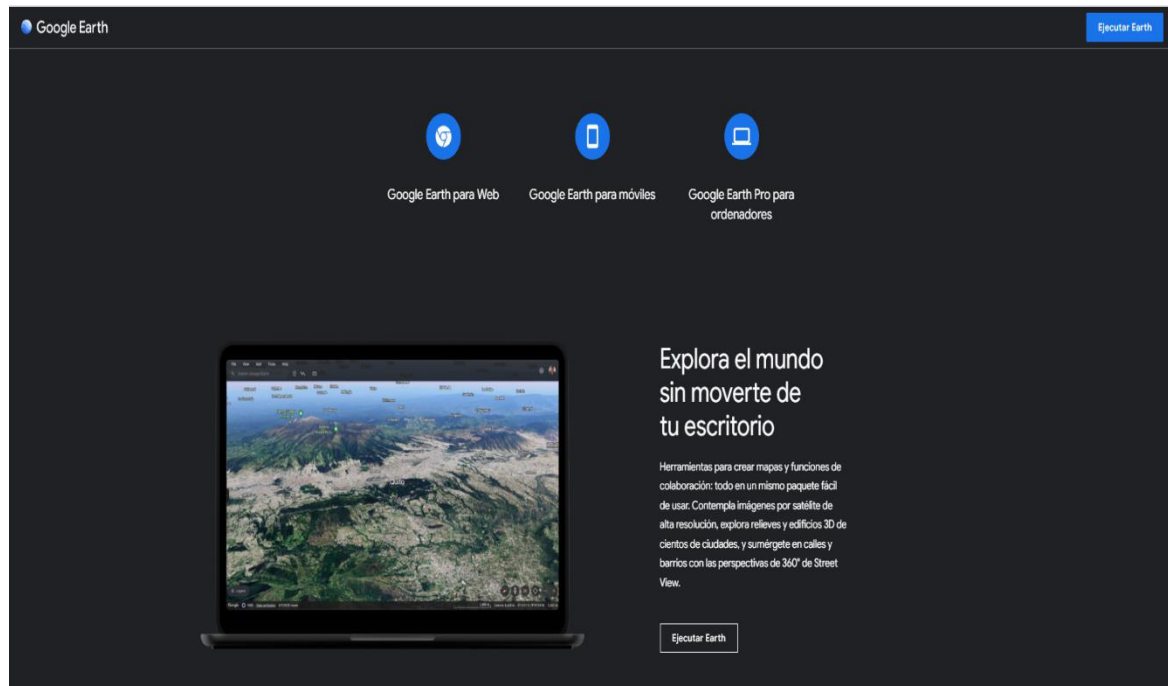
Biblioteca de componentes

La biblioteca de componentes OptiSystem incluye cientos de componentes que permiten introducir parámetros que pueden medirse desde dispositivos reales. Se integra con equipos de prueba y medición de diferentes proveedores y es compatible con una amplia gama de diseños de sistemas de comunicación óptica. Los usuarios pueden incorporar nuevos componentes basados en subsistemas y bibliotecas definidas por el usuario, o utilizar la simulación con una herramienta de terceros como MATLAB o SPICE.

Integración con las herramientas de software Optiwave



ANEXO G: GOOGLE EARTH PRO



ANEXO H: CONSTANCIA DE EQUIPOS Y SIMULACIÓN

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS EQUIPOS Y SIMULACIÓN DE RED FTTH N° 1

El que suscribe, RENATTO GENARO OTINIANO ULLOA, identificado con DNI N° 40084096, de profesión Ingeniero Electrónico, en la empresa Telefónica de España S.A.U hago constancia que he revisado y dado el juicio de experto al cuestionario N° 1 en la estructura para el diseño de red FTTH elaborado por el bachiller Jean Pierre Jorge Torres Gutierrez, para su validación a fin de ser aplicado en la investigación titulada: Diseño de una red FTTH con tecnología GPON para el distrito de Huancabamba.

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:		Acuerdo			
1 = muy de acuerdo; 2 = en desacuerdo; 3 = en desacuerdo más que en acuerdo; 4 = en acuerdo más que en desacuerdo.		1	2	3	4
EQUIPAMIENTO					
• ¿La selección del equipo OLT considera adecuadamente la capacidad de expansión y la topología del distrito rural proyectado en el diseño?		X			
• ¿Cree usted que la elección del módulo óptico (SFP de clase C++) es coherente con las distancias y pérdidas estimadas en la red propuesta?					X
• ¿La elección del modelo de ONT responde de manera adecuada a las condiciones técnicas y a la demanda de servicios en los sectores evaluados?		X			
SIMULACIÓN					
• ¿Considera que el nivel de potencia óptica obtenido en la simulación cumple con los márgenes de seguridad necesarios para una operación estable y confiable en zonas rurales?		X			
• ¿El presupuesto óptico simulado contempla correctamente las atenuaciones por empalmes, conectores y distancias reales del trazado?		X			
• ¿Cree que los valores de potencia de transmisión y recepción calculados son suficientes para garantizar calidad de servicio sin comprometer la integridad de la señal en los puntos más alejados de la red?		X			

Observaciones y/o aportes:

Madrid, España a los 16 días del mes de junio de 2025.

Nombres y apellidos del evaluador experto

ANEXO I: CONSTANCIA DE DISEÑO DE RED

CONSTANCIA DE VALIDACIÓN POR EXPERTOS

DISEÑO DE RED FTTH N°1

El que suscribe, **DICSON CAMPOS SANDOVAL**, identificado con **DNI N° 46503590**, de profesión **INGENIERO GEÓGRAFO**, en la empresa **ENTEL PERÚ S.A.**, y hago constancia que he revisado y dado el juicio de experto al cuestionario N° 1 en la estructura para el diseño de red FTTH elaborado por el bachiller **Jean Pierre Jorge Torres Gutierrez**, para su validación a fin de ser aplicado en la investigación titulada: **Diseño de una red FTTH con tecnología GPON para el distrito de Huancabamba.**

Luego de hacer las observaciones pertinentes, puede evaluar según los criterios establecidos y formular algunas apreciaciones.

Indique su grado de acuerdo frente a las siguientes afirmaciones:		Acuerdo			
1 = muy de acuerdo; 2 = en desacuerdo; 3 = en desacuerdo más que en acuerdo; 4 = en acuerdo más que en desacuerdo.		1	2	3	4
ARQUITECTURA					
• ¿Considera que el diseño propuesto ha tomado en cuenta de manera adecuada las particularidades geográficas y topográficas del distrito para garantizar la viabilidad técnica del despliegue de la red?		X			
• Desde su perspectiva técnica, ¿la distribución y sectorización del diseño de la red facilita una implementación eficiente en zonas rurales dispersas como Huancabamba?		X			
• ¿La ubicación de los elementos clave del diseño, como la OLT y los puntos de distribución óptica (splitters), responde correctamente a criterios de accesibilidad, cobertura y eficiencia?					X
DISEÑO					
• ¿Qué tan apropiado le parece el planteamiento del trazado de la red en relación con las condiciones del terreno, rutas de acceso y disponibilidad de infraestructura eléctrica existente?		X			
• ¿Recomendaría algún ajuste en la ubicación estratégica de los nodos o en la arquitectura general del diseño para mejorar la escalabilidad y el mantenimiento a futuro?					X
• ¿Considera que la selección de la tecnología GPON y los criterios utilizados para el diseño del enlace óptico responden adecuadamente a las necesidades actuales y futuras de conectividad en la zona rural del distrito?		X			

Observaciones y/o aportes:

Dentro de la propuesta revisada, se determina que el despliegue realizado es factible por las condiciones geográficas del distrito de Huancabamba, se ha realizado el filtro mediante QGIS para poder comprobar el nivel de capas e infraestructura actual de la ciudad. Se sugiere agregar un mapa de calor donde se encuentran las cajas CTO, para que se pueda visualizar el nivel de cobertura por cada una de ellas.

Lima, a los 17 días del mes de Junio del 2025.



Nombres y Apellidos del evaluador
experto CIP 336939