



Universidad Nacional Mayor de San Marcos
Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica
Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones

**Diseño e implementación de una red de fibra óptica
FTTH para mejorar la calidad de acceso a internet en
el distrito de La Esperanza, Trujillo**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero de
Telecomunicaciones

AUTOR

Albert Lenny CANTO HUAMÁN

ASESOR

Mg. Ana Milagros CORONEL CHAMORRO

Lima, Perú

2025



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Canto, A. (2025). *Diseño e implementación de una red de fibra óptica FTTH para mejorar la calidad de acceso a internet en el distrito de La Esperanza, Trujillo*. [Trabajo de suficiencia profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, Escuela Profesional de Ingeniería de Telecomunicaciones]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Albert Lenny Canto Huamán
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	76188235
URL de ORCID	No Aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Ana Milagros Coronel Chamorro
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	09752919
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0003-2165-0742
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Celso Ysidro Gerónimo Huamán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	09191500
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Williams Fernando Acosta Solorzano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06434186
Miembro del jurado 2	
Nombres y apellidos	Jorge Elías Moscoso Sánchez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	07206008
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.3.6.Comunicaciones ópticas
Grupo de investigación	No Aplica
Agencia de financiamiento	No Aplica

Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: La Libertad Provincia: Trujillo Distrito: La Esperanza Latitud: 8°06'43"S Longitud: 79°01'44"O
Año o rango de años en que se realizó la investigación	Noviembre 2022 - Diciembre 2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería eléctrica, Ingeniería electrónica https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.01 Telecomunicaciones https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.02.05



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS
(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)
FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA Y ELÉCTRICA
Teléfono 619-7000 Anexo 4226
Calle Germán Amezaga 375 – Lima 1 – Perú



**ACTA DE SUSTENTACIÓN
TRABAJO DE SUFICIENCIA
PROFESIONAL
ACTA N°36/FIEE-CTGT/2025**

Los suscritos Miembros del Jurado, docentes permanentes de las Escuelas Profesionales de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Eléctrica, reunidos en la fecha 09 de octubre del 2025, como presidente de Jurado el **DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN**, integrado por el Miembro de Jurado el **DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO**, el Miembro de Jurado **DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ** y Miembro Asesor el **MG. ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO**.

Después de escuchar la Sustentación Presencial del Trabajo de Suficiencia Profesional del Bachiller **ALBERT LENNY CANTO HUAMÁN** con código 14190226 que para optar el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones sustentó el Trabajo de Suficiencia Profesional titulado **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ACCESO A INTERNET EN EL DISTRITO DE LA ESPERANZA, TRUJILLO**.

El jurado examinador procedió a formular las preguntas reglamentarias y, luego de una deliberación en privado, decidió otorgarle el calificativo de 18 (Dieciocho).

Ciudad Universitaria, 09 de octubre del 2025

DR. CELSO YSIDRO GERÓNIMO HUAMÁN
Presidente Jurado

DR. WILLIAMS FERNANDO ACOSTA SOLORZANO
Miembro Jurado

DR. JORGE ELÍAS MOSCOSO SÁNCHEZ
Miembro Jurado

MG. ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO
Miembro Asesor



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE
SAN MARCOS
Universidad del Perú, Decana de América

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo , **ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO** en mi condición de asesor acreditado con el Dictamen N°11/FIEE-CTGT/2025 de Trabajo de Suficiencia Profesional **DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA FTTH PARA MEJORAR LA CALIDAD DE ACCESO A INTERNET EN EL DISTRITO DE LA ESPERANZA, TRUJILLO.**, presentado por el bachiller ALBERT LENNY CANTO HUAMÁN, para optar al título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones. CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante la plataforma PIDS, el documento evaluado cuenta con el 14% de similitud, nivel PERMITIDO para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio institucional.

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención del título de Ingeniero de Telecomunicaciones.

Lima, 09 de Octubre del 2025

Firma del Asesor

DNI: 09752919

Nombres y apellidos del asesor:

ANA MILAGROS CORONEL CHAMORRO

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico a mis padres por su infinito amor, por asumir responsablemente su labor de padres y por haber impregnado en mí el deseo de ser mejor cada día.

AGRADECIMIENTOS

A mis colegas de trabajo, por su colaboración en el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Nacional Mayor de San Marcos por brindarme la oportunidad de acceder a la educación superior y convertirme en un profesional. También, agradezco a mi asesora cuyos conocimientos y experiencia fueron fundamentales para guiar la culminación de este proyecto.

A mis amigos, aunque no pueda mencionar a todos debido a la limitación de estos párrafos, valoro profundamente su respaldo, comprensión y el tiempo compartido en las aulas de la universidad.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo implementar una red de fibra óptica FTTH en el distrito de La Esperanza, Trujillo, La Libertad, para satisfacer las necesidades de acceso a internet y el consumo de ancho de banda de los habitantes de dicho lugar, debido a que los servicios con ADSL sobre par trenzado o HFC sobre cable coaxial que tenían era muy limitado en calidad y ancho de banda.

La implementación de la red FTTH se realiza en 3 etapas: diseño, despliegue y certificación. En la etapa de diseño se evalúa la existencia de facilidades técnicas y se diseña la red de acuerdo con los criterios establecidos, buscando dar cobertura como mínimo a las zonas que contaban con ADSL y HFC. En la etapa de despliegue, se realiza la planificación, el tendido de la fibra, la instalación de equipos, las pruebas de potencia, reflectométricas y de conexión en casa del cliente. Finalmente se realiza la etapa de certificación, en la que se realiza la verificación del despliegue, validación de los resultados de las pruebas y cierre del proyecto.

Con la implementación de esta red FTTH se logra mejorar la calidad de la conexión y obtener velocidades más elevadas.

Finalmente, se describe las conclusiones y recomendaciones resultantes de la implementación de la red FTTH.

Palabras clave: FTTH, acceso, OLT, ONT, GPON.

ABSTRACT

The objective of this project is to implement a Fiber To The Home (FTTH) optical fiber network in the district of La Esperanza, Trujillo, La Libertad, in order to meet the residents' growing demand for internet access and bandwidth consumption. This need arises due to the limitations in quality and bandwidth of the previously available services, which relied on ADSL over twisted pair or HFC over coaxial cable.

The FTTH network implementation is carried out in three main stages: design, deployment, and certification. During the design phase, the availability of technical infrastructure is assessed, and the network is planned based on established design criteria, aiming to provide coverage at a minimum to the areas previously served by ADSL and HFC. In the deployment phase, the activities include planning, fiber cable installation, equipment setup, power level testing, OTDR measurements, and in-home connection verification. Finally, in the certification stage, the deployment is audited, test results are validated, and the project is formally closed.

With the implementation of this FTTH network, a significant improvement in connection quality is achieved, along with access to higher internet speeds.

Lastly, the conclusions and recommendations resulting from the FTTH network implementation are presented.

Keywords: FTTH, access, OLT, ONT, GPON

INDICE GENERAL

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
INDICE GENERAL	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	xi
CAPITULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD	3
2.1. Institución donde se desarrolló la actividad	3
2.2. Periodo de duración de la actividad.....	3
2.3. Finalidad y objetivos de la entidad.....	3
2.3.1 Finalidad	3
2.3.2 Objetivos.....	4
2.4. Razón Social	4
2.5. Dirección Postal.....	4
2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo	4
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	5
3.1. Organización de la Actividad	5
3.2. Finalidad y Objetivos de la Actividad	5
3.2.1. Finalidad.....	6
3.2.2. Objetivos	6
3.3. Problemática.....	6
3.3.1. Problema General	6
3.3.2. Problemas Específicos	7
3.3.3. Justificación e importancia de la actividad.....	7
3.4. Metodología.....	10
3.4.1. Bases teóricas.....	10
3.4.2. Marco conceptual	13
3.4.2.1. Fundamentos de la Fibra Óptica	13
3.4.2.2. Ventanas de operación de la Fibra Óptica	15
3.4.2.3. Tecnologías de Red FTTx (Fibra Hasta el Escenario X)	16

3.4.2.4.	Redes PON (Passive Optical Network) – Red Óptica Pasiva..	20
3.4.2.5.	Arquitectura de una Red GPON	22
3.5.	Procedimiento.....	28
3.5.1.	Etapa de diseño.....	28
3.5.2.	Etapa de despliegue.....	49
3.5.3.	Etapa de certificación	60
3.6.	Resultado de la actividad.....	63
CAPITULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS.....		67
4.1.	Descripción de la Implementación	67
4.2.	Evaluación Económica	68
4.2.1	Cálculo del VAN	68
4.2.2	Cálculo del TIR.....	71
CAPITULO V: CONCLUSIONES		73
CAPITULO VI: RECOMENDACIONES		74
CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA		75
CAPITULO VIII: ANEXOS		79

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Organigrama de la Dirección de Tecnología e Ingeniería de PangeaCo.	5
Figura 2	Porcentaje de conexiones con FTTH en La Esperanza en el 2022.	8
Figura 3	Reducción de costo de conexión a internet por Mbps	9
Figura 4	Reflexión de la luz.	14
Figura 5	Ley de refracción.	15
Figura 6	Ventanas de operación de la Fibra Óptica.	16
Figura 7	Tecnologías FTTx.	17
Figura 8	Fibra hasta el Nodo.	17
Figura 9	Fibra hasta la acera.	18
Figura 10	Fibra hasta el edificio.	19
Figura 11	Fibra hasta el hogar.	19
Figura 12	Red Óptica Pasiva	20
Figura 13	Arquitectura de una Red GPON.	22
Figura 14	OLT en Nodo – Red de Acceso.	24
Figura 15	ODF en Nodo – Red de Acceso.	24
Figura 16	Modelos de Caja de Empalme.	25
Figura 17	Splitter tipo PLC de 1x8.	25
Figura 18	Modelos de CTO.	26
Figura 19	Modelo de ONT.	27
Figura 20	Metodología Aplicada en el diseño.	29
Figura 21	Vista del área del Distrito La Esperanza	31
Figura 22	División en parcelas del Distrito La Esperanza.	33
Figura 23	Modelo de diseño a seguir para una red FTTH.	34
Figura 24	Topología de red FTTH usando 2 splitter de 1:8.	35
Figura 25	Ubicación del nodo principal en el Distrito La Esperanza.	36

Figura 26	Georreferenciación de clúster y Red de Acceso en La Esperanza.	37
Figura 27	Velocidad de internet fijo de Perú a diciembre de 2024 según Ookla.	40
Figura 28	Georreferenciación recorrida de red FTTH en la Esperanza.	42
Figura 29	OLT ZTE C600.	43
Figura 30	ODF COMNSCOPE ULTRA ALTA DENSIDAD.	44
Figura 31	FO FIBERHOME PK.	45
Figura 32	MUFA MONDRAGON ELECTROSON.	46
Figura 33	DIVICAU ELECTROSON.	46
Figura 34	CTO ELECTROSON.	47
Figura 35	Infraestructura de postes observados durante el diseño de la red.	49
Figura 36	Red FTTH con los cableados y elementos pasivos instalados en La Esperanza.	51
Figura 37	Distancia mínima de seguridad a considerar en tendido de red FTTH.	52
Figura 38	Modelo de instalación de pasivos a utilizar en una red FTTH.	53
Figura 39	CTOs fuera del rango permitido de potencia.	53
Figura 40	Cajas de empalme no acondicionadas de forma correcta.	54
Figura 41	CTOs sin potencia óptica.	54
Figura 42	CTO no actualizado en el Inventario según su posición final.	55
Figura 43	Pruebas de potencia en red FTTH de La Esperanza.	56
Figura 44	Muestra de pruebas de potencia realizada en la red FTTH de la Esperanza.	57
Figura 45	Modelo de resultado de traza de prueba reflectométrica vendor EXFO.	58
Figura 46	Modelo de resultados y perfiles en prueba reflectométrica con vendor EXFO.	59
Figura 47	Prueba de Altas en la red FTTH de La Esperanza.	60
Figura 48	Inventario de la red FTTH de La Esperanza.	63
Figura 49	Diseño inicial tramo de la calle Atahualpa cuadra 3.	64
Figura 50	Contingencia social por la población.	64

Figura 51	Diseño replanteado con cambio de ruta y reubicación de CTOs.	
		65
Figura 52	Esquema de la red FTTH de La Esperanza.	65
Figura 53	Datasheet OLT ZTE C600.	79
Figura 54	Comparativo de uso de bandejas en ODF COMMScope.	80
Figura 55	Test de velocidad de alta en casa cliente perfil 1.	80
Figura 56	Test de velocidad de alta en casa cliente perfil 2.	81

LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Cuadro comparativo de tecnologías GPON y EPON.....	21
Tabla 2	Cronograma del proyecto.	28
Tabla 3	División sectorizada en el distrito de La Esperanza.....	32
Tabla 4	<i>Cantidad de UIPs del sector urbano de La Esperanza.</i>	32
Tabla 5	Relación de UIP por cada clúster y sector en La Esperanza.....	38
Tabla 6	Presupuesto óptico red FTTH en La Esperanza.....	40
Tabla 7	Capacidad de servicios para un usuario residencial.....	41
Tabla 8	Elementos activos y pasivos para la red FTTH La Esperanza.	48
Tabla 9	Cronograma de despliegue de red FTTH para cada tramo.	50
Tabla 10	Presupuesto óptico el despliegue de red FTTH.....	57
Tabla 11	Cronograma de certificación de red FTTH para cada tramo.....	61
Tabla 12	Check list de las verificaciones realizadas.....	61
Tabla 13	Calidad de acceso con red FTTH en el distrito de La Esperanza.	66
Tabla 14	Ingresos por ventas a clientes en el primer año.	69
Tabla 15	Ingresos por ventas a clientes por 5 años.	69
Tabla 16	Costo total de la red en el distrito de la Esperanza – Trujillo.	70

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el acceso a internet de alta velocidad se ha convertido en un pilar esencial para el desarrollo económico y social de los países. Según el informe "State of Broadband 2024" de la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones), (UNESCO, 2024), alrededor del 67% de la población mundial, es decir, 5,400 millones de personas, estaban conectadas a internet, lo que implica que alrededor de 2,600 millones de personas aún carecían de acceso a la red.

En cuanto al despliegue de redes de fibra óptica hasta el hogar (FTTH), Corea del Sur y Japón lideran a nivel mundial, con la fibra óptica representando más del 80% de las conexiones fijas de banda ancha en estos países.

En Europa, España destaca significativamente, situándose entre los tres primeros países de la OCDE en adopción de fibra óptica, con una tasa de penetración del 81%.

A nivel nacional, en Perú, el acceso a internet también ha mostrado un crecimiento considerable en los últimos años. Este crecimiento podemos observar Según el "Boletín Estadístico del Sector Telecomunicaciones – Tercer Trimestre 2024" publicado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC, 2024), la adopción de la fibra óptica en el Perú ha experimentado un crecimiento notable: Al inicio de 2021, solo el 13.18% de los hogares peruanos contaban con una conexión de internet a través de fibra óptica. Para el tercer trimestre de 2024, más del 70% de las conexiones de internet fijo utilizaban esta tecnología, lo que representa un incremento significativo en pocos años. Este avance ha mejorado la calidad y velocidad de las conexiones en diversas regiones del país. Sin embargo, persisten disparidades en la penetración del servicio. En Lima Metropolitana y Callao, las conexiones se incrementaron en un 10.08% respecto a 2023, alcanzando una cobertura superior al 70%. En

contraste, en áreas semiurbanas y rurales, como el distrito de La Esperanza en Trujillo, las tasas de penetración y la calidad del servicio siguen siendo significativamente menores, evidenciando la necesidad de continuar con iniciativas que promuevan la expansión de la fibra óptica en estas zonas.

De manera local, en el distrito de La Esperanza, la situación refleja las carencias de infraestructura observadas a nivel nacional. Según el Censo de Población y Vivienda del 2017 (INEI, 2018), el distrito tiene una población de aproximadamente 180,000 habitantes, y se encuentra en un proceso de expansión urbana. Sin embargo, al inicio del desarrollo del presente trabajo, muchos hogares y empresas en La Esperanza dependen de tecnologías de internet tradicionales (ADSL, HFC y redes inalámbricas) con velocidades promedio inferiores a 10 Mbps, lo cual es insuficiente para las necesidades de uso de internet, especialmente en el contexto de la pandemia y el año 2023 periodo donde se desarrolla el presente trabajo. Es a partir de dicho periodo donde la educación a distancia, el teletrabajo y el comercio electrónico han aumentado la demanda de conexiones estables y de alta velocidad, por lo cual esta situación genera una clara brecha digital con respecto a otras zonas urbanas de la ciudad de Trujillo, donde se ha comenzado a desplegar fibra óptica desde años anteriores por diversos proveedores de servicio de internet (ISP) pero no se había expandido a otras zonas de la ciudad.

El presente trabajo inicia contextualizando la carencia de una red de fibra óptica FTTH en el distrito de La Esperanza, luego realiza un análisis referente a las limitaciones en el acceso a internet de calidad, que afecta negativamente a la población y las actividades económicas locales.

Ante este escenario, se continua con el desarrollo del proceso de diseñar una red de fibra óptica que permita mejorar significativamente el acceso a internet en el distrito, garantizando una mayor cobertura, velocidades superiores, y un servicio estable que responda a las demandas actuales y futuras de los habitantes y empresas. Luego se detalla el desarrollo de la implementación de la red FTTH en La Esperanza considerando diferentes subetapas propias del proceso de despliegue, pasando por las pruebas, para finalmente culminar con el análisis del sustento económico de la viabilidad del presente trabajo y las recomendaciones y conclusiones obtenidas.

CAPITULO II: INFORMACIÓN DEL LUGAR DONDE SE DESARROLLÓ LA ACTIVIDAD

2.1. Institución donde se desarrolló la actividad

La institución en la que se desarrolla la actividad es la empresa PangeaCo, empresa líder en telecomunicaciones que opera una red neutra de fibra óptica mediante tecnología FTTH de última generación construida con los más altos estándares técnicos de la industria.

2.2. Periodo de duración de la actividad.

La actividad se desarrolla durante del periodo de noviembre del 2022 a diciembre del 2023.

2.3. Finalidad y objetivos de la entidad

2.3.1 Finalidad

PangeaCo es una empresa filial de Telefónica del Perú creada en agosto del 2020 y obtuvo la concesión para la prestación de servicios públicos de telecomunicaciones por parte del MTC (Ministerio de Transportes y Comunicaciones) en noviembre del 2020.

PangeaCo está construyendo la red de ultra banda ancha más extensa del Perú y aspira a tener la mayor cantidad de usuarios. Ofrece un servicio de red neutra para que todos los ISP (Proveedores de Servicio de Internet) y operadores de

telecomunicaciones la puedan usar ofreciendo sus propias conexiones a los clientes finales.

2.3.2 Objetivos

Su propósito es contribuir al progreso y digitalización del país, disminuyendo la brecha digital, desplegando fibra óptica a través de la geografía del Perú, logrando beneficiar a las empresas, familias y consumidores de todo el país.

2.4. Razón Social

PANGEACO S.A.C

2.5. Dirección Postal

Av. Javier Prado Este 444, Oficina 1401, San Isidro, Lima

2.6. Nombre y correo electrónico del profesional a cargo

Profesional: Henry Peter Meza Yalta

Cargo: Jefe de Despliegue PEXT

Email: henry.meza@pangeaco.pe

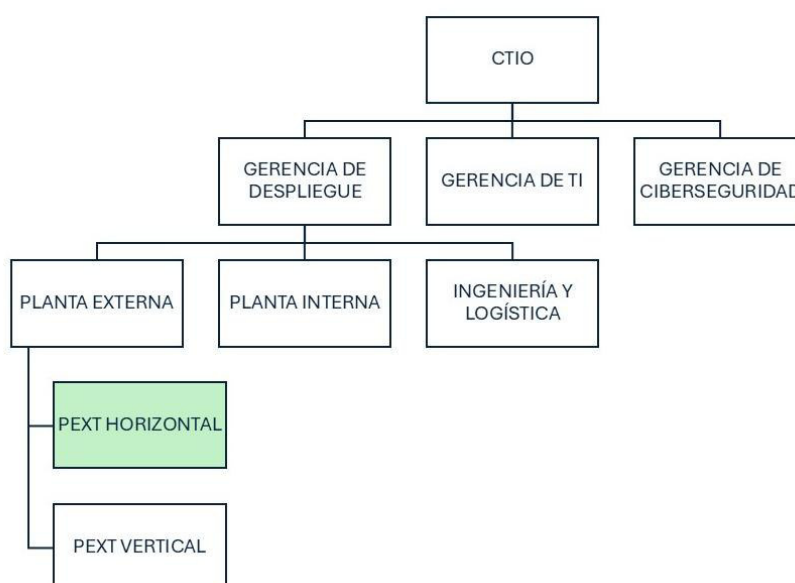
CAPITULO III: DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD

3.1. Organización de la Actividad

La actividad se desarrolla en el área planta externa horizontal (PEXT HORIZONTAL), tal como se muestra en la figura 1.

Figura 1

Organigrama de la Dirección de Tecnología e Ingeniería de PangeaCo.



Nota. La figura muestra el organigrama de la Dirección de Tecnología e Ingeniería de PangeaCo en el año 2022. Fuente: Elaboración propia (2022).

3.2. Finalidad y Objetivos de la Actividad

Se busca implementar un diseño de redes de fibra óptica usando tecnología FTTH para mejorar la calidad del acceso a internet en la zona de La Esperanza de Trujillo. Para lo cual se lleva a cabo una revisión detallada de la

infraestructura existente en el área, para identificar las áreas con limitaciones de conectividad, y en paralelo se revisan reportes de encuestas y consultas comunitarias recopiladas por diferentes instituciones, lo que nos brinda datos más exactos y relevantes sobre las necesidades y expectativas específicas de la población de esta zona con respecto al acceso a internet.

3.2.1. Finalidad

Mejorar la calidad de acceso a internet en el distrito de La Esperanza, Provincia de Trujillo, Región la Libertad, mediante la implementación de una red de fibra óptica FTTH.

3.2.2. Objetivos

- Evaluar la viabilidad de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad.
- Diseñar una red moderna y escalable que ofrezca mayor cobertura sobre una misma red FTTH para mejorar la calidad de acceso a internet en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad.
- Implementar la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad.
- Comprobar la mejora en la calidad de acceso a internet luego de la implementación de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad.

3.3. Problemática

3.3.1. Problema General

¿De qué manera la implementación de una red de fibra óptica FTTH mejora la calidad de acceso a internet en el distrito de La Esperanza provincia de Trujillo, Región La Libertad?

3.3.2. Problemas Específicos

- ¿Cómo evaluar la viabilidad de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad?
- ¿Cómo se realiza el diseño de una red moderna y escalable que ofrezca mayor cobertura sobre una misma red FTTH para mejorar la calidad de acceso a internet en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad?
- ¿Cómo realizar la implementación la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad?
- ¿Se logra la mejorar la calidad del acceso a internet luego de la implementación de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad?

3.3.3. *Justificación e importancia de la actividad*

Justificación por conveniencia

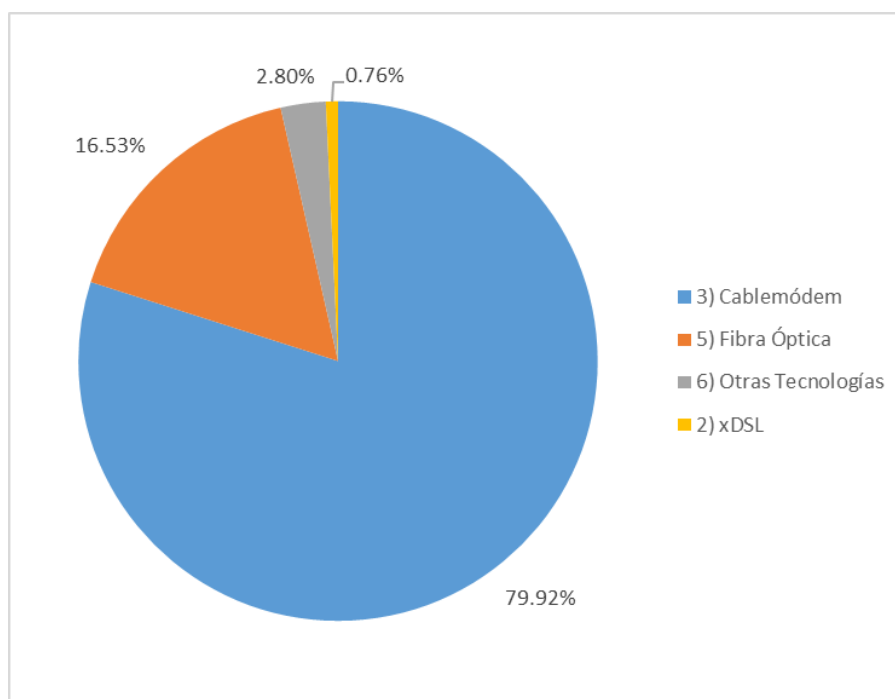
Una red FTTH en La Esperanza puede brindar acceso a banda ancha a la población y mejorar la calidad del servicio para satisfacer las necesidades actuales principalmente en educación, salud, trabajo y comunicación.

Justificación social

Antes de la implementación del proyecto (al cierre del 4Q-2023) las conexiones a internet en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, departamento La Libertad, eran en su mayoría a través de la tecnología HFC (Híbrido Coaxial y Cobre), como se puede observar en la figura 2. Esta tecnología tiene limitaciones para ofrecer un buen servicio de conectividad en banda ancha, por lo cual una red 100% de fibra óptica permite mejorar la conectividad en la zona y contribuye a reducir la brecha digital lo cual es una prioridad para la UNESCO actualmente.

Figura 2

Porcentaje de conexiones con FTTH en La Esperanza en el 2022.



Nota. La figura muestra Porcentaje de conexiones con FTTH y otras tecnologías en La Esperanza en el año 2022. Fuente: (OSIPTEL, 2025).

Justificación práctica

En un mundo globalizado el acceso a internet va más allá de conectar a las personas mediante plataformas digitales, busca su inclusión mediante programas digitales gubernamentales, públicos y privados, el acceso a cualquier servicio digital, como la banca, la atención médica, el aprendizaje a distancia o híbrido, trabajo remoto.

Justificación teórica

El enfoque utilizado para instalar la red FTTH mediante GPON en el distrito de La Esperanza es escalable, es decir que puede soportar en el futuro grandes capacidades de tráfico de datos usando el mismo medio físico. Por otro lado, a nivel teórico esta red puede llegar a alcanzar distancias de hasta 20Km desde el punto activo lo cual permite un adecuado dimensionamiento de red durante la etapa de planificación y diseño.

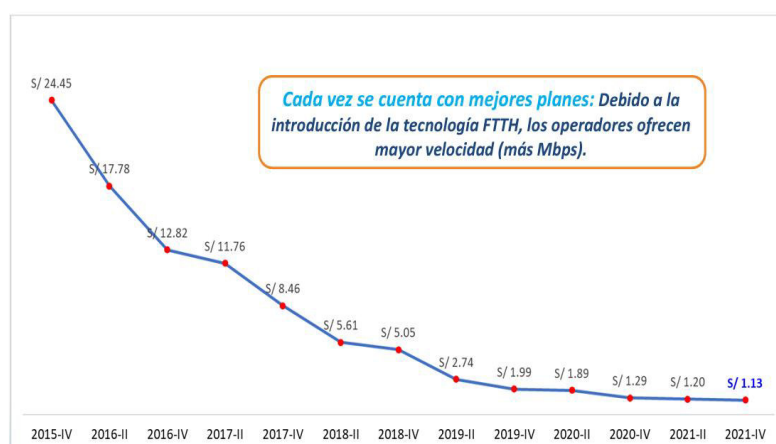
Justificación económica

El despliegue de la solución FTTH a través de la tecnología GPON promueve la reducción del costo de Mbps en comparación con otras tecnologías, tal como se puede observar en la figura 3, dada su característica 100% pasiva a nivel de la planta externa, su capacidad para soportar tráfico de banda ancha superior a 1Gbps y el uso de un solo punto activo en los nodos, conlleva a ser una red rentable a mediano plazo.

Esta característica reduce enormemente costos asociados a alimentación de energía en trobas, fuentes de poder, baterías y amplificadores que se usaban en tecnologías precedentes para brindar el servicio de internet, asimismo reduce costos asociados a CAPEX y OPEX durante el proceso de despliegue, operación y mantenimiento de la red.

Figura 3

Reducción de costo de conexión a internet por Mbps



Nota. La figura muestra la reducción de costo de conexión a internet por Mbps desde el 2015 hasta el 2021. Fuente: (OSIPTEL, 2025).

Justificación técnica

Dada la característica de escalabilidad de la fibra óptica, las redes FTTH mediante GPON tienen la capacidad de brindar varios servicios en paralelo a través del mismo medio físico y solo requieren realizarse adecuaciones en la

red de acceso. Usando diferentes longitudes de onda puede brindar distintos servicios como VOIP, DATA e IPTV. Por otro lado, las redes basadas en GPON pueden cubrir grandes áreas de cobertura geográficas usando un mismo punto activo y el uso de dispositivos pasivos denominados splitter de primer y segundo nivel, logrando derivar hacia distintos ramales y expandir la red a una mayor distancia.

Justificación metodológica

Esta investigación se basa en la experiencia personal de implementación de la red FTTH mediante GPON en el distrito de La Esperanza. Esta experiencia incluye la validación del diseño de la red, la implementación y las pruebas de potencia, reflectométricas y de conexión en casa del cliente.

3.4. Metodología

La implementación de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, departamento La Libertad se realiza en 3 etapas: diseño, despliegue y pruebas.

En la etapa de diseño se realiza un estudio sistemático de la literatura, evaluación de la información, evaluación de la existencia de facilidades técnicas para finalmente definir una propuesta de diseño de la red de acuerdo con los criterios establecidos, buscando dar cobertura como mínimo a las zonas que contaban con ADSL y HFC.

En la etapa de despliegue, se realiza la planificación, luego la ejecución del tendido de la fibra y la instalación de los equipos pasivos.

Y en la etapa de pruebas, se realiza las pruebas de potencia, reflectométricas y de conexión en casa del cliente.

3.4.1. Bases teóricas

(Rojas, 2022) Diseñó una red de fibra óptica al hogar (FTTH) para mejorar la calidad del internet en un centro poblado rural. Dentro de su análisis el autor

recomienda calcular la demanda en el sector más urbano de la ciudad y de esa manera determinar de manera más eficiente el número de usuarios que pueden ser cubiertos por el proyecto de red FTTH, lo cual conlleva a calcular el presupuesto óptico más adecuado. También recomienda que el presupuesto óptico sea calculado a nivel teórico para definir si la señal con los dispositivos ópticos indicados en el presupuesto óptico puede alcanzar la distancia necesaria del área de cobertura y para determinar la capacidad del servicio a proporcionar. De lo mencionado por el autor se concluye que este análisis es necesario y ayudará a tener un adecuado dimensionamiento de red, que no solo busca ser asequible al consumidor final, sino también confiable y escalable para el ISP.

(Chamberg, 2021) en su trabajo de investigación titulado “Sistema de red FTTH utilizando la tecnología GPON para mejorar la calidad de servicio de internet en los clientes con red EOC de la empresa Cablered Perú 2021” se basa en tecnología GPON (Red Óptica Pasiva Gigabit) como estándar internacional para el desarrollo de una red FTTH. También recomienda que para realizar un adecuado diseño de una red FTTH debemos considerar la Metodología Top-Down, método que considera 4 fases fundamentales para tener en cuenta a nivel de diseño; como son:

- Observar inicialmente un análisis de requerimientos de la red. Factor crucial que deberíamos tomar en cuenta y punto de partida para considerar el dimensionamiento de red requerido.
- Un diseño lógico de la red. Crucial para determinar las capacidades de red y protocolos lógicos para tener una adecuada interconexión a internet.
- Un diseño físico de la red. Fase especial donde se evalúa los gastos de CAPEX relacionados al despliegue de la red diseñada.
- Pruebas y optimizaciones de la red diseñada. Fase necesaria que contempla gastos relacionados a CAPEX y OPEX que mejora la vida útil de la red.

(Vallecillo, 2020) en su trabajo “Diseño de una red FTTH” diseña una red FTTH que integra nuevas tecnologías de comunicación como IoT, loE y 4G/LTE mediante fibra óptica utilizando distintos métodos de investigación. Se

desprende del trabajo presentado por el autor que podemos crear, mediante una red FTTH, una red que tenga la capacidad de integrar varias tecnologías y protocolos de comunicación, destacando de esta manera la característica de escalabilidad de una red FTTH y que mediante el desarrollo de este tipo de redes dentro de un área urbana o rural no solo se direcciona a tener conectividad fija sino puede servir de transporte para el desarrollo de redes empresariales y móviles.

(Mucha, 2024) en su trabajo de investigación “Despliegue de una red FTTH vertical bajo el estándar GPON para mejorar el servicio de banda ancha en el Condominio Los Parques del Agustino Los Robles – Lima” busca sintetizar una metodología en el proceso de despliegue de una red, mediante el cual un operador de telecomunicaciones busca opciones para ampliar la cobertura de su red FTTH aprovechando la alta demanda de clientes potenciales por servicios de banda ancha que existe en un sector no atendido por otros ISP del país, lo que involucra que se desarrolle un enfoque comercial B2C (Empresa a Consumidores) aplicable a escenarios verticales y horizontales. En este trabajo se busca la aplicación de la tecnología GPON, teniendo en cuenta para el despliegue de la red a la fibra óptica como columna vertebral de la red pasiva; asimismo se busca implementar una solución asequible al consumidor final y que brinde rentabilidad al operador dentro de un mediano plazo, buscando de esta manera incentivar la inversión privada en el desarrollo de las telecomunicaciones en el país y la reducción de la brecha digital.

También considera como pilares importantes en el despliegue de una red FTTH la necesidad de recurrir a la elaboración de expedientes técnicos y obtención de licencias de diferentes instituciones como empresas eléctricas y otras entidades públicas del estado. Para ello hace énfasis en las municipalidades, quienes contemplan consideraciones diferentes no solo a nivel de expedientes sino también a nivel de tasas económicas y la no homologación de un TUPA (Texto Único de Procedimientos Administrativos) único para las distintas municipalidades a nivel nacional conllevando a la existencia de trámites engorrosos y no ágiles, aun cuando se tiene la existencia de un FUIT (Formulario Único de Instalación de Infraestructura) que promueve el MTC el cual debería servir como procedimiento único a nivel nacional. Sin embargo,

las municipalidades bajo la caracterización de ser autónomos no están homologados a este procedimiento que lamentablemente conlleva a tener un impacto no tan colaborativo en la dinamización del desarrollo de nuevas tecnologías que busquen brindar una mejor experiencia de conectividad en banda ancha para los usuarios y la reducción de la brecha digital a nivel nacional.

(Choque, 2024) en su trabajo de investigación “Estudio y propuesta de diseño de una red FTTH en el distrito de Huayllabamba-Urubamba” expone que para desarrollar un adecuado análisis y diseño de una red de fibra hasta el hogar en el distrito de Huayllabamba-Urubamba se debe utilizar una metodología Top Down. Para entender esta metodología debemos considerar cual es el propósito de diseñar una red FTTH basada en GPON en la búsqueda de mejorar los servicios de comunicación en un área suburbana como lo es Huayllabamba. El autor refiere como más conveniente el uso de red basada en GPON a diferencia de una red EPON, dada los márgenes de capacidad que puede brindarse en la primera tecnología en relación con la segunda.

También recomienda que el diseño de una red FTTH debe ser una solución viable tanto técnica como económicamente, para garantizar que los proyectos de despliegue de red por los ISP no solo sean socialmente rentables sino al mismo tiempo tengan un fin lucrativo, lo que conlleva a dinamizar la economía nacional en el desarrollo del crecimiento económico.

3.4.2. Marco conceptual

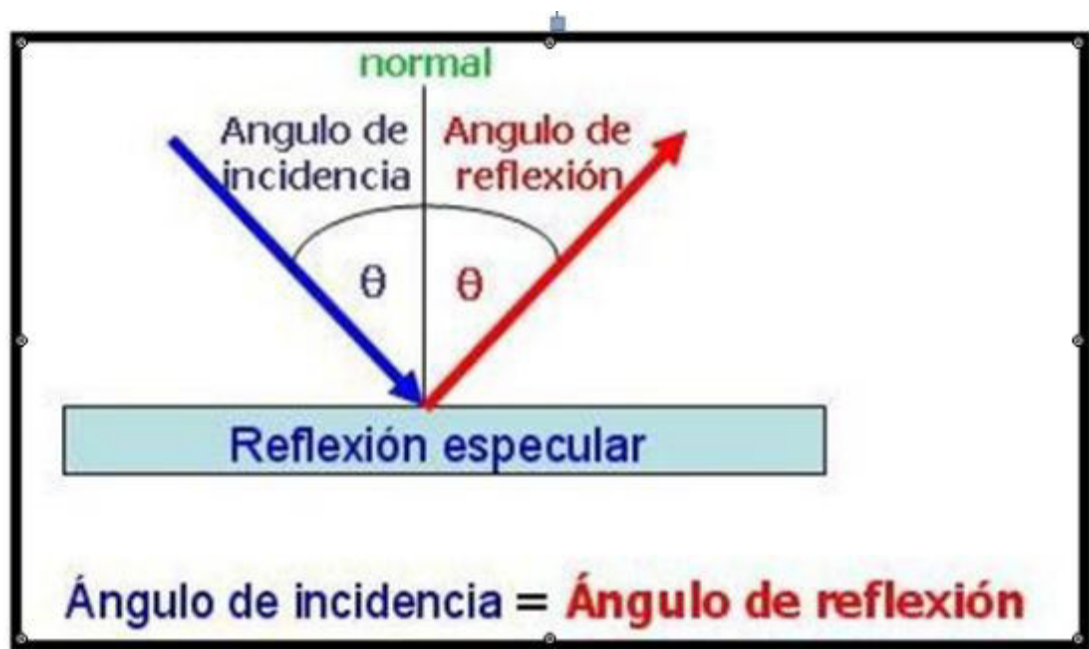
3.4.2.1. Fundamentos de la Fibra Óptica

(Monsberger, 2021) menciona que el funcionamiento de las fibras ópticas se basa en la ley de reflexión y refracción de la luz. Para ello hay que tener en cuenta que cuando un haz de luz incide en las superficies separadas de dos medios transparentes diferentes, parte de la luz se refleja y permanece en el primer medio, mientras que parte de la luz se refracta y penetra en el medio. Estas leyes son diferentes y se explican a continuación:

- **Ley de Reflexión:** Establece que cada rayo que incide sobre la superficie reflectante se reflejará en un ángulo igual al ángulo de incidencia y de manera que el rayo incidente y el rayo reflejado y la línea perpendicular a las superficies reflectantes en los puntos de incidencia son iguales al ángulo de incidencia (Tennyson, 2001). Tal como se muestra en la figura 4.

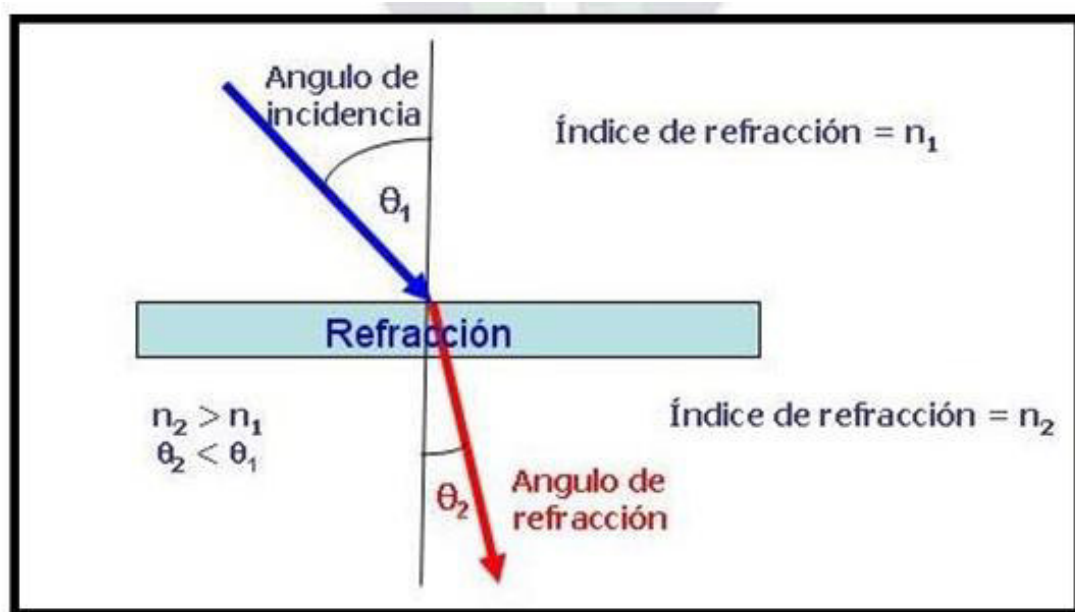
Figura 4

Reflexión de la luz.



Nota. La figura muestra Reflexión de la luz en un punto de incidencia Fuente: (Lifeder, 2021).

- **Ley de refracción:** Señala que los rayos de luz viajan desde una sustancia o medio con un índice de refracción n_1 a otra sustancia o medio con un índice de refracción n_2 . Si $n_2 > n_1$, entonces $\sin \theta_2 < \sin \theta_1$, entonces cuanto menor es el seno, menor es el ángulo. Por lo tanto, el ángulo θ_2 es menor que el ángulo θ_1 así muestra el siguiente autor del cual se ha considerado su teoría (Wang, 2011). Tal como se muestra en la figura 5.

Figura 5*Ley de refracción.*

Nota. La figura muestra Ley de refracción con los ángulos de incidencia y refracción. Fuente: (Significados, 2021).

3.4.2.2. Ventanas de operación de la Fibra Óptica

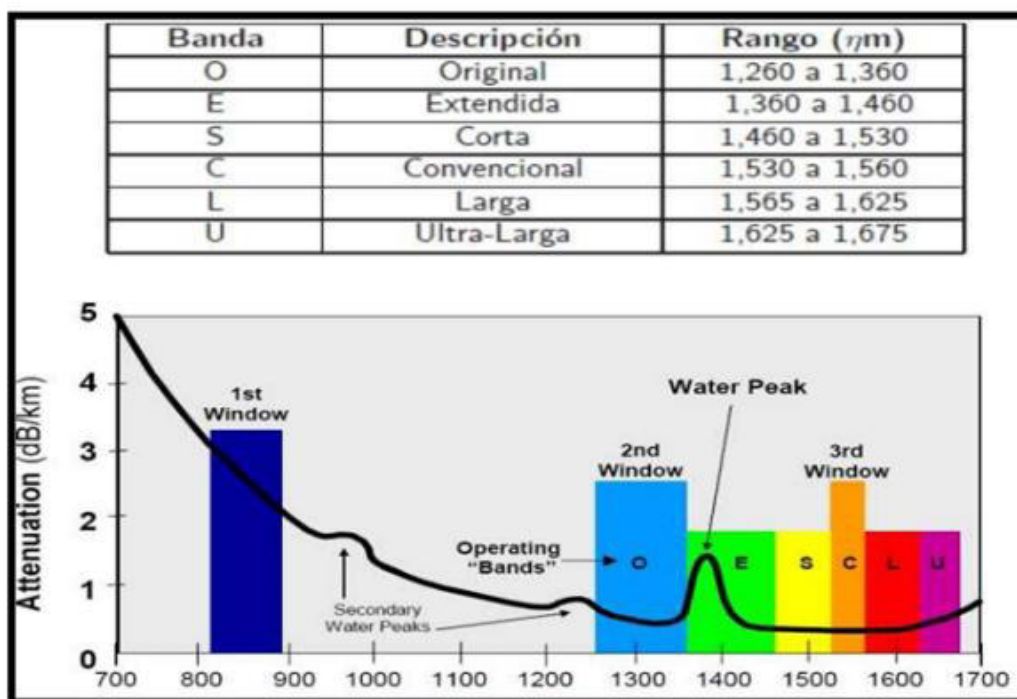
Se encuentran en longitudes de onda con atenuación mínima, donde las siguientes características son más destacadas:

En el desarrollo del presente trabajo nos concentraremos en una solución basada en GPON por lo cual las ventanas que usaremos será la banda O y la banda S en soluciones de voz y datos. Para soluciones que aparte de brindar servicios de voz y datos también ofrecen servicios de IPTV es necesario sumar el uso de la banda C (Torres, 2011). Tal como se muestra y se aprecia en la figura 6.

Debemos tener en cuenta que actualmente se encuentran soluciones tecnológicas de mayor capacidad que requieren trabajar en otras ventanas, debido a ello, una ventaja importante de las redes de fibra óptica es que pueden adaptarse en el futuro a los cambios y no requieren de grandes variaciones en la arquitectura e infraestructura existente en la red pasiva más por el contrario pueden continuar siendo robustas y escalables considerando solo adecuaciones en la red de acceso.

Figura 6

Ventanas de operación de la Fibra Óptica.



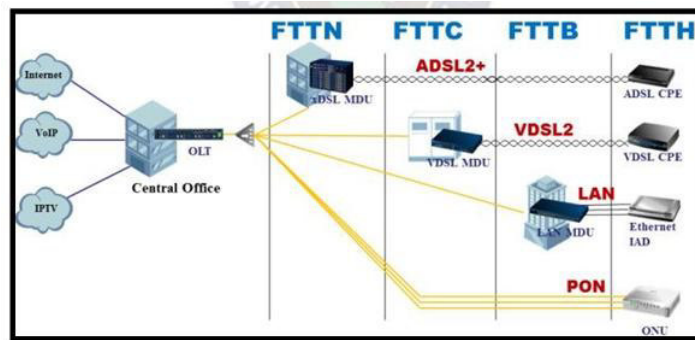
Nota. La figura muestra las diferentes Ventanas de operación de la Fibra Óptica. Fuente: (Prored, 2018).

3.4.2.3. Tecnologías de Red FTTx (Fibra Hasta el Escenario X)

La tecnología FTTx como se muestra en la figura 7 se caracteriza por tener diferentes variantes, es decir agrupa varias tecnologías de acceso según la disponibilidad de fibra óptica hacia el usuario. La pertenencia a esta familia se basa básicamente en la cercanía conseguida. En comparación con la tecnología FTTx, la tecnología de acceso a fibra óptica tiene varias ventajas y puede proporcionar mayores capacidades de ancho de banda y una gama más amplia de servicios (voz, datos y video) a un costo menor de cara a otras tecnologías más costosas como por ejemplo el cobre o el HFC que predomina aún en la zona de La Esperanza, provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, porque una cierta cantidad de usuarios finales pueden compartir una única fibra óptica (Loayza, 2019).

Figura 7

Tecnologías FTTx.



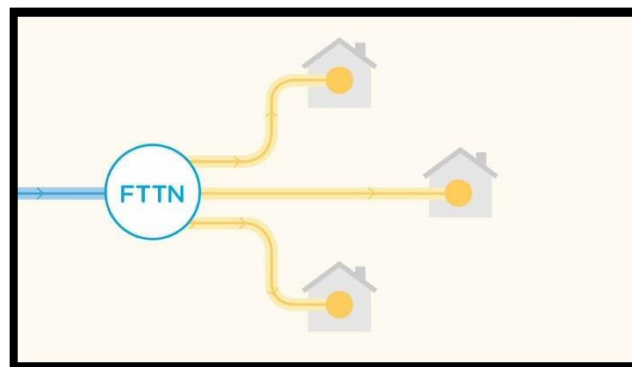
Nota. La figura muestra las diferentes Tecnologías FTTx. Fuente: (Forum, 2010).

Se presentan a continuación, las tecnologías ubicadas dentro de FTTx:

- **FTTN (Fiber to the Node) – Fibra hasta el Nodo:** La fibra se encamina desde la oficina principal hacia puntos alejados de los usuarios. El camino de acceso entre el punto intermedio y el usuario no es fibra óptica, sino otros medios de transmisión como el cobre. Esto incluye situaciones en las que la ruta de fibra termina en un punto de distribución llamado "intermedio" en una red de acceso local que presta servicio a un grupo de hogares y edificios, tal como se muestra en la figura 8.

Figura 8

Fibra hasta el Nodo.

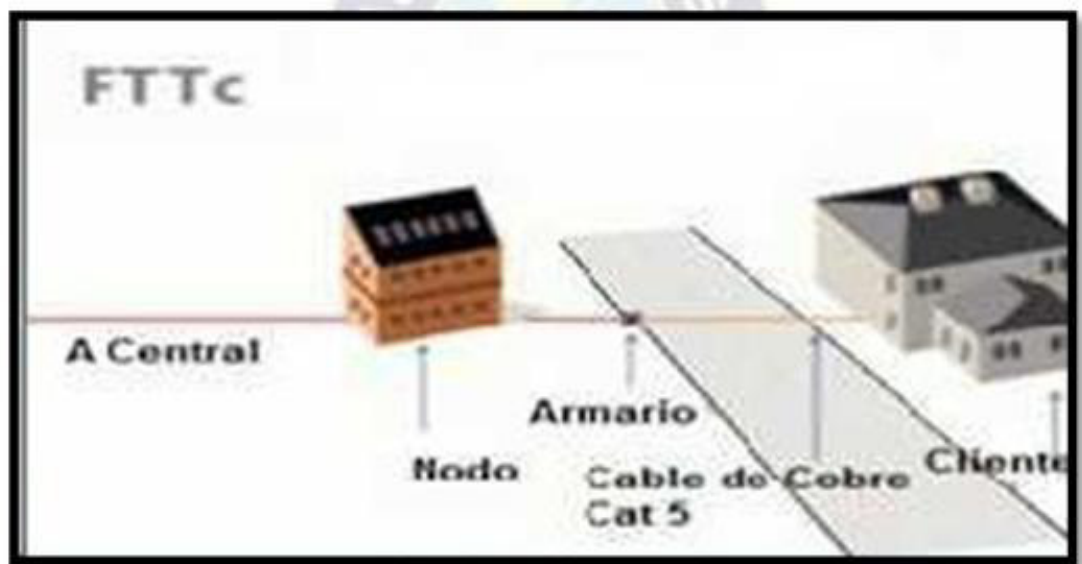


Nota. La figura muestra la red FTTN, fibra hasta el nodo. Fuente: (Valero, 2016).

- **FTTC (Fiber to the Cabinet) – Fibra hasta la acera:** Se refiere a las instalaciones y usos de cables de fibra óptica directamente al hogar o cerca de la acera en cualquier entorno comercial. También ayuda a eliminar todas las líneas telefónicas y reemplazar con líneas de fibra óptica. El término "fibra hasta la acera" indica que las fibras ópticas ya se utilizan para la mayor parte del uso de telefonía e Internet, tal como se muestra en la figura 9.

Figura 9

Fibra hasta la acera.

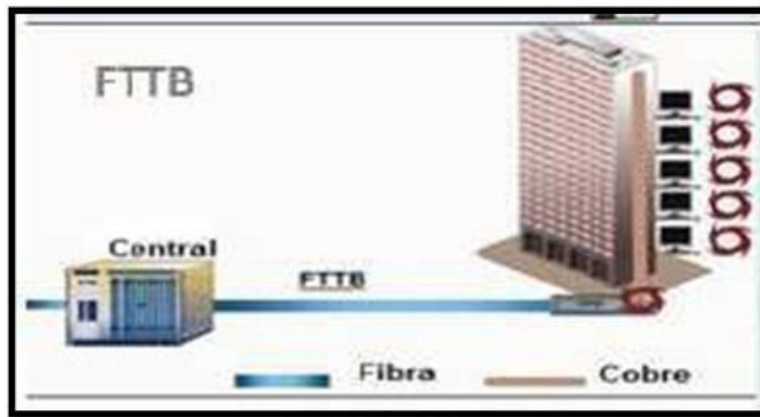


Nota. La figura muestra la red FTTC, fibra hasta la acera. Fuente: (Valero, 2016).

- **FTTB (Fiber to the Building) – Fibra hasta la acometida del edificio:** La fibra generalmente termina en o cerca de un punto de distribución en el edificio del usuario. También admite una variedad de aplicaciones, incluidas su aplicación en tiempo real, aplicación web, telemedicina y video. Se caracteriza porque la red finaliza en la entrada del edificio, ya sea comercial o residencial. Desde este punto final, el acceso interno al usuario normalmente se proporciona mediante una red de cableados estructurados, tal como se muestra en la figura 10.

Figura 10

Fibra hasta el edificio.

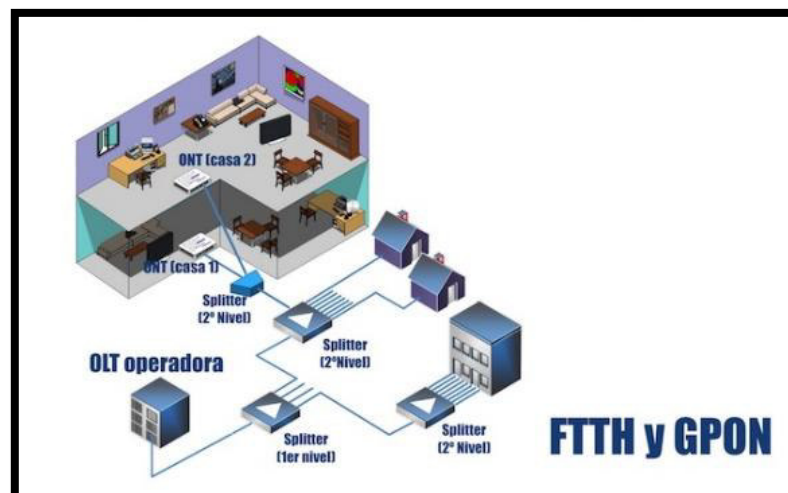


Nota. La figura muestra la red FTTB, fibra hasta el edificio. Fuente: (Valero, 2016).

- **FTTH (Fiber to the Home) – Fibra hasta el Hogar:** Puede llegar hasta el domicilio o la oficina del usuario. El objetivo de esta tecnología es llevar las fibras ópticas directamente a los hogares siempre que sea posible y, si eso no es posible, al menos a los edificios, tal como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Fibra hasta el hogar.



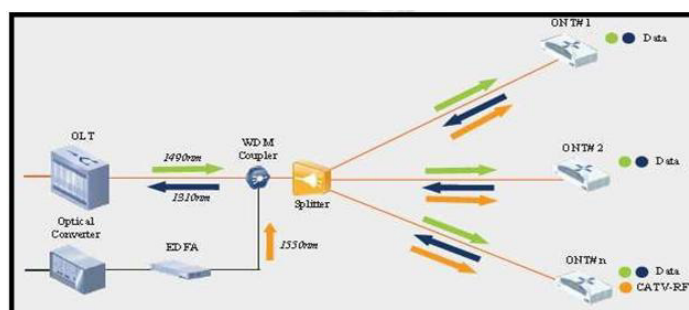
Nota. La figura muestra la red FTTH, fibra hasta el hogar. Fuente: (Valero, 2016)

3.4.2.4. Redes PON (Passive Optical Network) – Red Óptica Pasiva

Son redes que permiten a los usuarios lograr mayores anchos de banda y mejores servicios a través del acceso de fibra óptica, tal como se muestra en la figura 12. Además, estas redes permiten sustituir componentes activos de la red por componentes pasivos, lo que supone una importante reducción de los costes de la red y ahorro de energía.

Figura 12

Red Óptica Pasiva



Nota. La figura muestra la Red Óptica Pasiva. Fuente: (Forum, 2010)

Por lo tanto, las organizaciones de telecomunicaciones como ITU-T, IEEE, proveedores de servicios y otras organizaciones siempre están conscientes de estas necesidades y por ello buscan innovar y crear nuevos y mejores métodos de diseño de redes para satisfacer las necesidades de los usuarios y las regiones, como lo menciona (Montes, 2023).

Las redes pasivas de fibra óptica de uso general, incluida la última milla, están ganando importancia debido a la masificación de la fibra óptica y al vertiginoso aumento de la demanda de datos en las zonas residenciales. Una red con tecnología PON es una red de fibra óptica completamente pasiva, sin repetidores ni alimentadores intermedios en la red, solo divisores, conectores y atenuadores, que proporciona una transmisión altamente segura y sin errores, con una alta potencia de transmisión. Existen algunas variaciones de redes PON: APON, BPON, GPON, EPON y GEPON. En la tabla 1 se puede apreciar una comparación de las características entre las tecnologías GPON y EPON.

Tabla 1*Cuadro comparativo de tecnologías GPON y EPON.*

	GPON (UIT-T G.984)	EPON (IEEE 802.3ah)
Tasa de bajada	2500Mbps	1250Mbps
Tasa de subida	1250Mbps	1250Mbps
Relación	1:128	1:64
Eficiencia de enlace descendente	~ 92%; Código de codificación NRZ (sin codificación), gastos generales (8%)	~72%; codificación 8B/10B (20%), sobrecarga y preámbulo (8%)
Eficiencia de enlace ascendente	~ 89%, código de codificación NRZ (sin codificación), gastos generales (11%)	~ 68%, codificación 8B/10B (20%), gastos generales (12%)
Ancho de banda de enlace descendente real	2300 Mbit/s	900 Mbit/s
Ancho de banda ascendente real	1110Mbps	850Mbps
Ancho de banda de enlace descendente real por usuario	72 Mbit/s (1:32), 36 Mbit/s (1:64)	28 Mbit/s (1:32)
OAM&P	Este parámetro es obligatorio para OMCI. Realiza FCAPS (falla, configuración, carga, rendimiento y seguridad) y gestión para las ONT.	OAM admite fallas ONT indicación, loopback y enlace vigilancia.
Protección de red	Conmutación de protección de fibra troncal de 50 ms	No especificado, pero en realidad apoya la protección.

Transmisión TDM y Sincronización de reloj	Modo TDM nativo integrado para garantizar la calidad del servicio TDM. La emulación de circuitos es opcional.	Emulación de circuito (UIT-T Y.1413, MEF o IETF)
Detección de línea de fibra óptica	MCO G.984.2	Ninguna

Nota. La tabla muestra el cuadro comparativo de tecnologías GPON y EPON respaldadas por la UIT y la IEEE. FUENTE: (GSITIC, 2018).

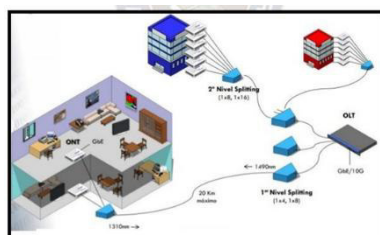
Para el desarrollo del presente trabajo, se ha seleccionado la tecnología basada en GPON como estándar para el diseño de la red FTTH en el distrito de La Esperanza. Este mismo estándar es adoptado por el operador PangeaCo dentro de su normativa de construcción de redes FTTH. A continuación, se presentan más detalles sobre este estándar.

3.4.2.5. Arquitectura de una Red GPON

La red GPON es un sistema punto a multipunto que utiliza fibra óptica y divisores pasivos para proporcionar servicios de voz, datos y video desde un terminal óptico central (OLT) hasta terminales ópticos en los hogares (ONT), permitiendo una distribución eficiente y de alta capacidad, tal como se muestra en la figura 13 (CISCO, 2023).

Figura 13

Arquitectura de una Red GPON.



Nota. La figura muestra la arquitectura de una red GPON, punto a multipunto. Fuente: (CISCO, 2023).

Para conectar la OLT a la ONT y entregar los datos, se utiliza un cable de fibra óptica para transmitir la longitud de onda. Al dividir la señal óptica en su entrada en múltiples salidas utilizando un pequeño divisor pasivo, y con ello el tráfico descendente de la OLT se puede distribuir hasta el cliente. Esta es una arquitectura punto a multipunto.

Los datos ascendentes de la ONT a la OLT se distribuyen en diferentes longitudes de onda para evitar conflictos en la transmisión descendente, y son agregados por la misma unidad divisora pasiva que realiza la función de combinar el tráfico en la otra dirección. Esto permite que el tráfico se recopile desde la OLT utilizando las mismas fibras que envían el tráfico descendente. Para el tráfico descendente, aunque cada ONT sólo puede gestionar el tráfico que coincida o al que el operador tenga acceso, la radiodifusión óptica se sigue realizando gracias a la tecnología de seguridad AES. Para el tráfico ascendente, el protocolo basado en TDMA proporciona una transmisión sin colisiones de ONT a OLT. Además, transmite con TDMA sólo cuando es necesario, por lo que no sufre las ineficiencias de la tecnología TDM, cuyo tiempo de transmisión es fijo y no tiene nada que ver con la disponibilidad de datos (CISCO, 2023).

A continuación, algunos conceptos a tener en cuenta al desarrollar redes FTTH:

- **OLT (Terminación de Línea Óptica):** Es el elemento activo que extiende la red de fibra óptica a los usuarios. Es un equipo principal dentro de una red de telecomunicaciones FTTH (Fiber To The Home) o GPON (Gigabit Passive Optical Network). El OLT se encuentra en la central del proveedor de servicios de Internet y se encarga de gestionar y controlar la comunicación con múltiples usuarios a través de la fibra óptica. Suelen presentarse en diferentes modelos, generalmente los ISP de mayor presencia en el mercado utilizan los modelos chasis con tarjetas independientes y los ISP rurales utilizan modelos más compactos. Generalmente se encuentra dentro de la red de acceso. En la figura 14 se muestra un modelo de ODF

Figura 14

OLT en Nodo – Red de Acceso.

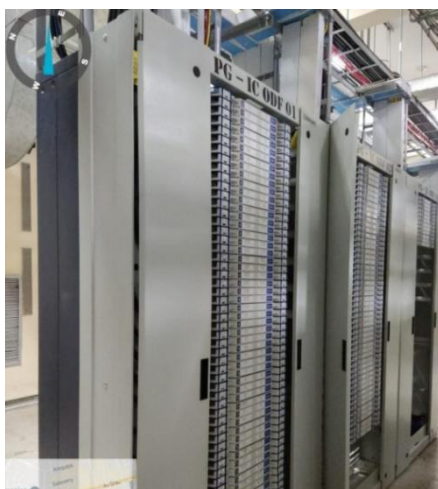


Nota. La figura muestra una OLT en el nodo de La Esperanza en Trujillo, 2023. Fuente: Elaboración propia, 2023.

- **ODF (Distribuidor de Fibra Óptica):** Dispositivo utilizado por los ISP en sus redes de fibra óptica para gestionar y distribuir las conexiones de fibras ópticas internas, los cuales interconectan la red óptica pasiva y la red activa. Generalmente se encuentran dentro de la red de acceso. En la figura 15 se muestra un modelo de ODF.

Figura 15

ODF en Nodo – Red de Acceso.



Nota. La figura muestra un ODF en el nodo de La Esperanza en Trujillo, 2023. Fuente: Elaboración propia, 2023.

- **CTO (Caja Terminal Óptica):** Es un dispositivo cuya función es proteger y conectar los cables de fibra óptica. Las CTOs pueden ser exteriores o interiores y se utilizan para distribuir la señal de fibra óptica a los usuarios finales. Estos dispositivos se aplican en para FTTH convencional y FTTH preconectorizado. En la figura 18 se muestra los modelos de CTO.

Figura 18

Modelos de CTO.



Nota. Se muestra modelos de caja terminal óptica que se usan para distribuir la señal al usuario final. Fuente: Elaboración propia, 2023.

- **ONT (Terminación de Red Óptica):** La ONT es un elemento de red activo que se instala dentro del ambiente donde se encuentra ubicado el abonado y se conecta mediante un cable de fibra óptica hacia la red FTTH. Su función es recibir las señales ópticas y convertirlas en señales eléctricas o electromagnéticas para ser utilizados por los distintos dispositivos del usuario. En la figura 19 se muestra un modelo de ONT.

Figura 19

Modelo de ONT.



Nota. Se muestra un modelo de ONT que se usa dentro del abonado.
Fuente: Elaboración propia, 2023.

- **Datos geográficos y demográficos del distrito de La Esperanza:** se presentan datos más relevantes del distrito de La Esperanza, ubicado en la provincia de Trujillo, departamento de La Libertad, Perú (INEI, 2018).
 - **Área total:** abarca una superficie aproximada de 18,64 km².
 - **Ubicación:** Se sitúa en la región norte del Perú, formando parte de la provincia de Trujillo en el departamento de La Libertad.

- **Altitud:** La altitud promedio es de aproxi.100 MSNM
- **Población:** Es de aproximadamente 189,206 habitantes.
- **Acceso a Internet:** Según el Censo Nacional de 2017, en el departamento de La Libertad, aproximadamente el 36.4% de las viviendas contaban con acceso a Internet.

3.5. Procedimiento

Se realiza en 3 etapas: diseño, despliegue y pruebas. Así mismo se define el cronograma para el proyecto siendo el que se muestra en la tabla 2.

Tabla 2

Cronograma del proyecto.

Actividad	Cable	MES													
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1. Diseño de red	P1 - P10	■	■												
2a. Despliegue de red	P1/P2/P3/P4			■	■	■	■								
3a. Pruebas						■									
2b. Despliegue de red	P5/P6/P7						■	■	■	■					
3b. Pruebas										■					
2c. Despliegue de red	P8/P9/P10										■	■	■	■	
2c. Pruebas														■	■

Nota. Se muestra el cronograma del proyecto el cual se realizó en 3 grupos o tramos (a, b y c). Fuente: Elaboración propia, 2023.

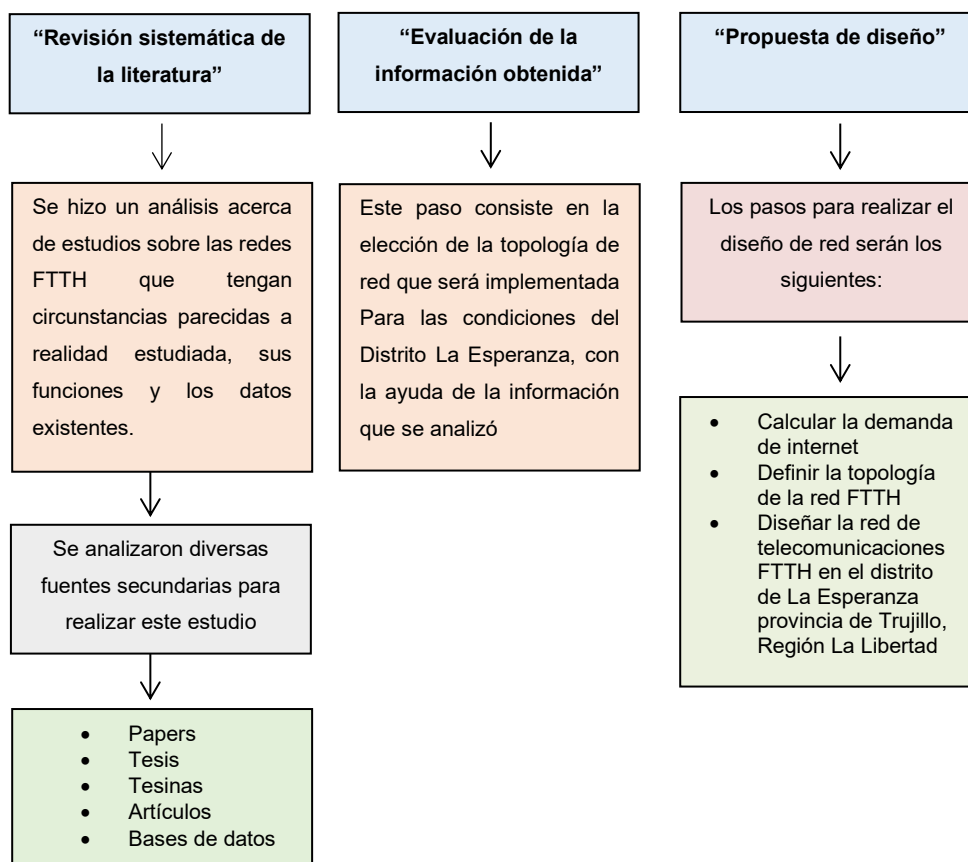
Las etapas de despliegue de red y pruebas se realizaron en 3 tramos (a, b y c). En el tramo “a” se hizo el despliegue y pruebas de 4 cables (P1/P2/P3/P4), en el tramo “b” de 3 cables (P5/P6/P7) y en el tramo “c” 3 cables (P8/P9/P10), completando así los 10 cables de acuerdo con el diseño.

3.5.1. Etapa de diseño

En esta etapa se realiza el estudio sistemático de la literatura, la evaluación de la información y la propuesta de diseño, como se observa en la figura 20.

Figura 20

Metodología Aplicada en el diseño.



Nota. Se muestra la metodología aplicada en el diseño donde se realiza la evaluación de información y propuesta de diseño. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Revisión sistemática de la literatura

Se procede a la búsqueda de información sobre el desarrollo de redes FTTH basadas en GPON en distintos repositorios académicos, en los cuales se puede identificar proyectos de diversos alcances técnicos y económicos que usan este tipo de solución aplicados a diferentes escenarios que permiten el desarrollo de redes FTTH en el país, los mismos que se encuentran indicados en el acápite "3.6 Bases teóricas", y también los conceptos útiles que sirven para el desarrollo de proyecto, indicados en "3.7 Marco conceptual".

Asimismo, se busca información de datos estadísticos, encuestas y estudios realizados relacionados al área geográfica, población objetivo, capacidad

adquisitiva, necesidad de servicios, y penetración de internet por parte de otros ISP en el distrito de la Esperanza, lo cual permitirá realizar las evaluaciones técnicas y económicas necesarias que responden a la finalidad y objetivos planteados al inicio del presente trabajo, los cuales también están indicados en “3.7 Marco conceptual”.

Evaluación de la información obtenida

Los datos obtenidos en la evaluación de la literatura permiten elaborar las topologías propuestas para la red FTTH como parte del diseño, así como también obtener las áreas potenciales a coberturar y la rentabilidad a un mediano plazo.

Propuesta de diseño

Luego de revisar la información de las bases teóricas y marco conceptual, se identificó que el diseño de la red para el distrito de La Esperanza debe realizarse a través de los siguientes pasos:

- Dimensionamiento de abonados
- Elección de Topología
- Diseño de la red FTTH

a) Dimensionamiento de abonados

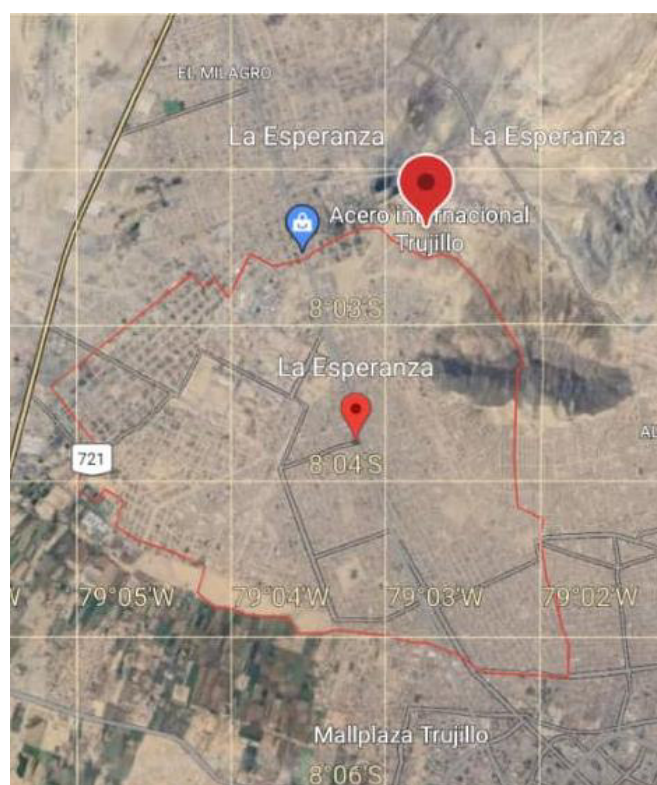
El distrito de La Esperanza es el uno de los 11 distritos de la Provincia de Trujillo, situada en el departamento de La Libertad, que pertenece a la región La Libertad en el Perú. De acuerdo con fuentes geográficas, el distrito de La Esperanza posee una extensión superficial de 18.64 Km², siendo uno de los distritos más poblados y con mayor índice de zonas suburbanas de la provincia de Trujillo. El distrito de La Esperanza, actualmente se halla dividido en 10 sectores y 14 asentamientos humanos.

El presente trabajo se desarrolla en los 10 sectores debido a que se identifica como el área geográfica y demográfica de mayor potencial para desarrollar redes de gran escala, así como por la existencia de

infraestructura alimentadora, distribuidora y nodos, que a mediano plazo se pueda rentabilizar, teniendo en cuenta la finalidad económica y social que tiene PangeaCO al ser una empresa privada. La cobertura en estos 10 sectores permite tener más de 70% de penetración en la zona de La Esperanza. En la figura 21 se muestra la vista aérea del distrito de La Esperanza.

Figura 21

Vista del área del Distrito La Esperanza



Nota. La figura muestra el área del Distrito La Esperanza donde se dimensionará el despliegue en 10 sectores. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Continuando el dimensionamiento de red, se procede a identificar las cantidades de UIPs (Unidad Inmobiliaria Pasadas) dentro de estos 10 sectores que contempla la zona más urbana del distrito de La Esperanza. Para esto se realiza un trabajo de censado y análisis a nivel del catastro urbano, identificándose 37 058 UIPs, y a nivel de sectores se divide como se muestra en la tabla 3 y 4.

Tabla 3*División sectorizada en el distrito de La Esperanza.*

Sectores	Asentamientos Humanos
1. Central	1. Primavera
2. Santa Verónica	2. Ramiro Prialé
3. Jerusalén	3. María Elena Moyano
4. Pueblo Libre	4. Los Pinos
5. San Martín	5. la Palmeras
6. Fraternidad	6. Pueblo del Sol
7. Indoamérica	7. Primavera I
8. Wichanzao	8. Primavera II
9. Manuel Arévalo II y III	9. El Triunfo
10. Parque Industrial	10. Indoamérica
	11. Manuel Soane
	12. Virgen de la Puerta
	13. Simón Bolívar
	14. Nuevo Horizonte
	15. Fraternidad
	16. Alan García Pérez

Nota. La tabla muestra División en 10 sectores del distrito de La Esperanza.
Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 4*Cantidad de UIPs del sector urbano de La Esperanza.*

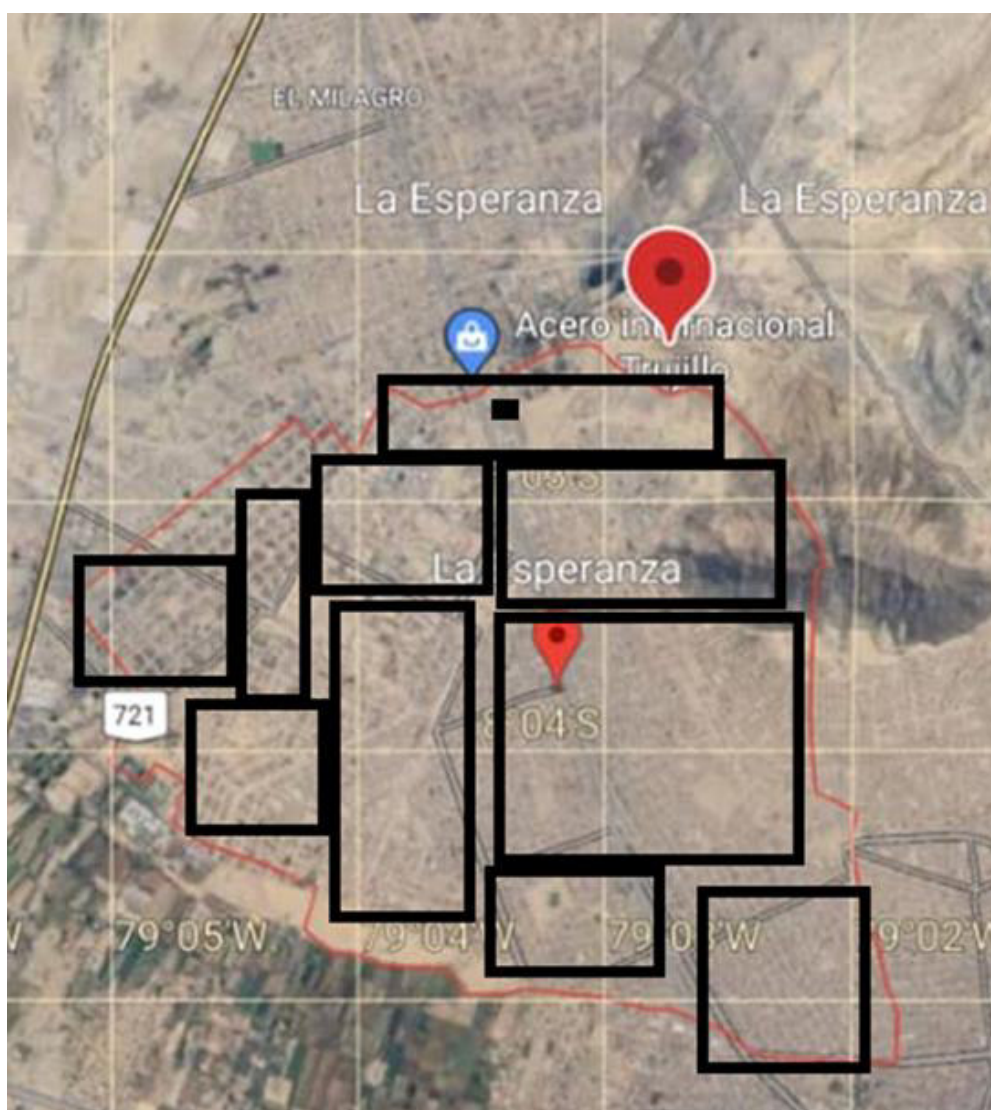
Sector	Cantidad de UIP
1. Central	1987
2. Santa Verónica	3387
3. Jerusalén	6396
4. Pueblo Libre	2929
5. San Martín	2482
6. Fraternidad	2727
7. Indoamérica	2102
8. Wichanzao	3907
9. Manuel Arévalo II y III	4309
10. Parque Industrial.	6832
UIP Totales	37058

Nota. La tabla muestra División en 10 sectores con cantidad de UIPs del distrito de La Esperanza. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Luego del análisis y definición del tamaño de la población a cubrir, se procede a elaborar, en base a las imágenes satelitales la zona de interés proporcionadas por el aplicativo Google Earth, la parcelación de las áreas, para continuar con la codificación de cada uno de los clústeres que identifican a los 10 sectores de mayor potencial para el diseño de la red como se ve en la figura 22.

Figura 22

División en parcelas del Distrito La Esperanza.



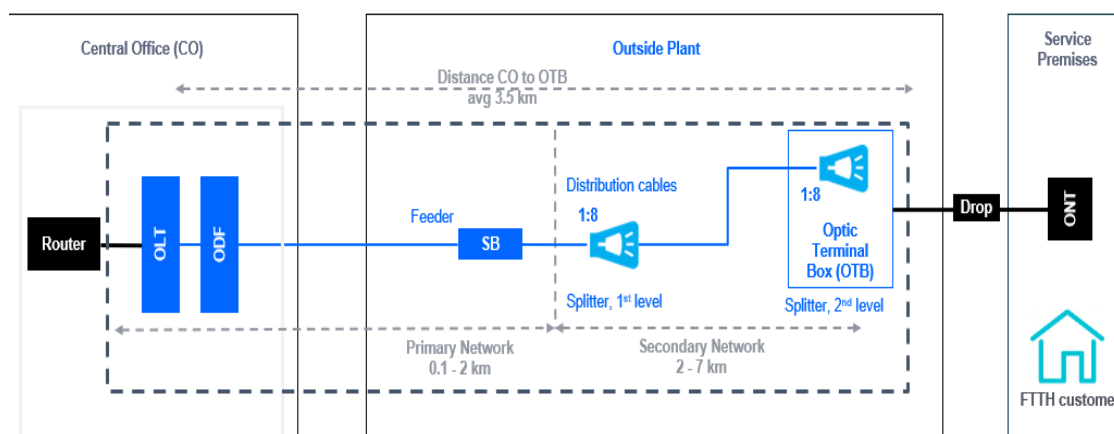
Nota. La figura muestra División en 10 parcelas el distrito de La Esperanza para la separación por clúster. Fuente: Elaboración propia, 2023.

puede soportar la red FTTH que se diseña. PangeaCO tiene una política de alcance de sus diseños de red FTTH, que indica como distancia geográfica máxima entre 8 Km a 8.5 Km desde el nodo hacia el abonado.

Otro factor importante que se toma en consideración son los niveles de splitter que considera PangeaCO en el despliegue de sus redes FTTH, los cuales se definen en la proporción de 1:64, considerando de esta manera 2 splitter de 1:8, como se puede observar en la figura 24.

Figura 24

Topología de red FTTH usando 2 splitter de 1:8.

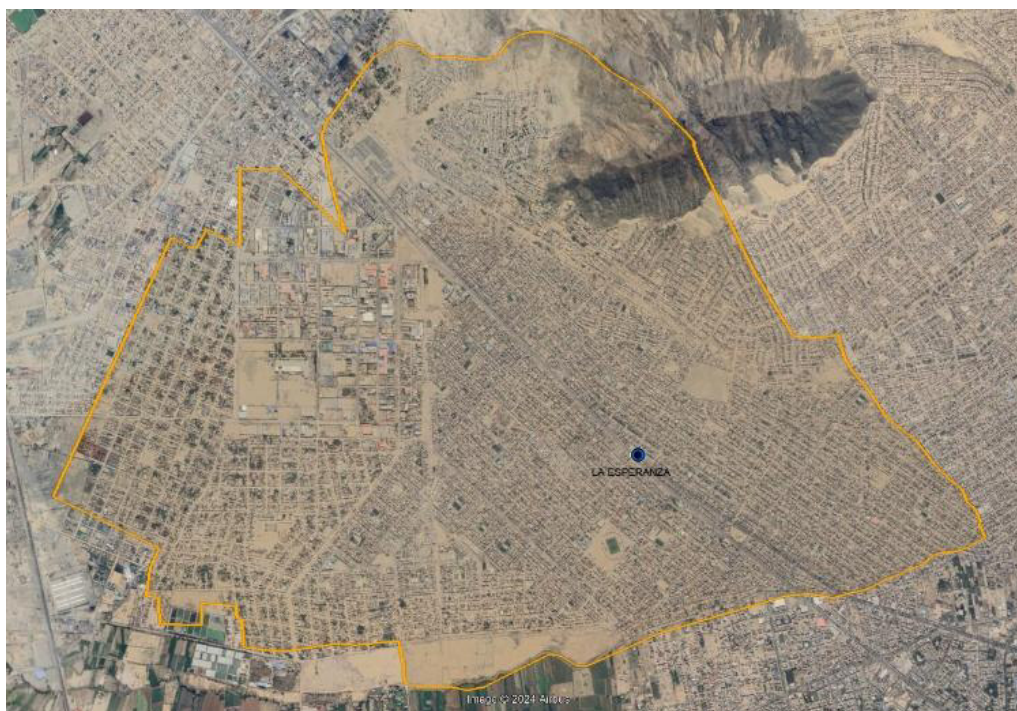


Nota. La figura muestra la topología de red FTTH usando 2 splitter de 1:8 con una proporción de 1:64. Fuente: (PangeaCo, 2022)

De acuerdo con estos criterios de PangeaCo, la ubicación del nodo debe ser cercana a una de las vías de acceso principal y estar alrededor de la parte central del distrito de La Esperanza, como se puede observar en la figura 25, siendo este un punto neutral desde el cual se puede llegar fácilmente a cada extremo del distrito y sin sobrepasar el promedio de distancia geográfica que tiene PangeaCO en el diseño de sus redes FTTH. Esta es una ubicación estratégica que esta lo más cercano al usuario sin comprometer el presupuesto óptico.

Figura 25

Ubicación del nodo principal en el Distrito La Esperanza.



Nota. La figura muestra la ubicación del nodo principal en el Distrito La Esperanza el cual tiene acceso a las vías principales de acceso. Fuente: Elaboración propia, 2023.

c) Diseño de la red FTTH

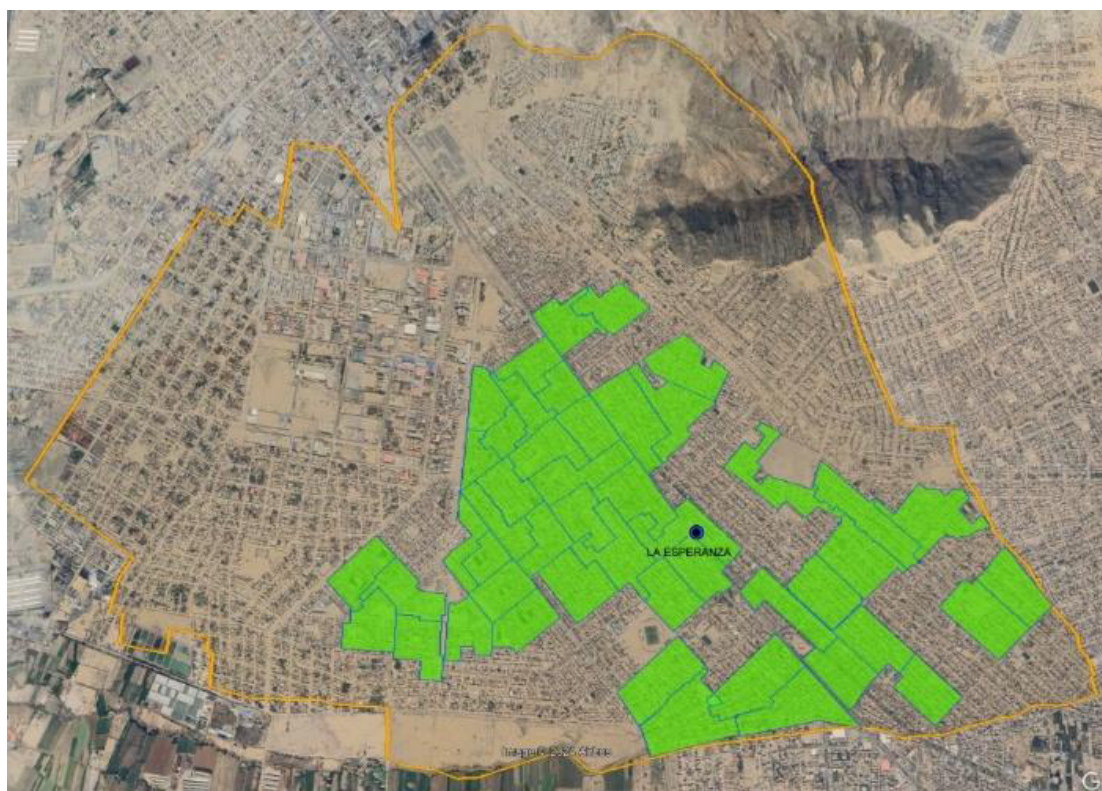
Posterior a la identificación de la ubicación geográfica del nodo se procede a diseñar la red FTTH tomando en consideración el número de UIPs hallados en la etapa de dimensionamiento de abonados, los 10 cables alimentadores que definen los clústeres de cada uno de los sectores que se indican en la tabla 5, los 2 niveles de splitter que se considera para cada sector y la distancia geográfica máxima de recorrido de cableado en el margen de 8Km a 8.5KM. Otro factor importante que se define durante esta etapa es el dimensionamiento de la red FTTH que se está diseñando, para lo cual es muy importante tomar en consideración las recomendaciones brindadas en los trabajos realizados por otros autores y también las políticas que PangeaCO como ISP define para el diseño de sus redes.

Para el caso de esta red FTTH el diseño está planificado con 10 cables alimentadores cada uno con 256 hilos, dando un total de 2560 hilos habilitados como capacidad total. La demanda actual para atender es de 56 clúster como se muestra en la figura 26, y cada clúster se atiende con 10 hilos, haciendo un total 560 hilos habilitados para atender esta demanda. Resultando 2000 hilos ($2560 - 560$) habilitados disponibles para atender la demanda futura, es decir el 78% de lo planificado.

A continuación, se procede al cálculo del presupuesto óptico tomando en consideración los niveles extremos, a fin de tener un presupuesto óptico más real y el cual define que a nivel teórico el diseño de nuestra red es viable, como se puede observar en la tabla 6. Con este presupuesto óptico nos aseguramos de no sobrepasar los 28dB de pérdida óptica del estándar GPON.

Figura 26

Georreferenciación de clúster y Red de Acceso en La Esperanza.



Nota. La figura muestra la Georreferenciación de clúster y Red de Acceso en La Esperanza con una disponibilidad del 78% de la planta. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 5*Relación de UIP por cada clúster y sector en La Esperanza.*

NODO_CABLE	DPTO	PROVINCIA	CLÚSTER	UIP
LA ESPERANZA_P01	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG300	402
LA ESPERANZA_P01	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG301	474
LA ESPERANZA_P01	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG302	618
LA ESPERANZA_P01	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG303	493
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG304	488
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG305	539
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG306	529
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG307	698
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG308	486
LA ESPERANZA_P02	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG309	647
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG310	672
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG311	931
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG312	1021
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG313	976
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG314	971
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG315	459
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG316	830
LA ESPERANZA_P03	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG317	536
LA ESPERANZA_P04	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG318	575
LA ESPERANZA_P04	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG319	583
LA ESPERANZA_P04	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG320	613
LA ESPERANZA_P04	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG321	531
LA ESPERANZA_P04	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG322	627
LA ESPERANZA_P05	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG323	606
LA ESPERANZA_P05	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG324	615
LA ESPERANZA_P05	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG325	587
LA ESPERANZA_P05	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG326	674
LA ESPERANZA_P06	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG327	461
LA ESPERANZA_P06	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG328	527

LA ESPERANZA_P06	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG329	567
LA ESPERANZA_P06	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG330	573
LA ESPERANZA_P06	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG331	599
LA ESPERANZA_P07	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG332	570
LA ESPERANZA_P07	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG333	545
LA ESPERANZA_P07	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG334	564
LA ESPERANZA_P07	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG335	423
LA ESPERANZA_P08	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG336	733
LA ESPERANZA_P08	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG337	797
LA ESPERANZA_P08	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG338	784
LA ESPERANZA_P08	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG339	750
LA ESPERANZA_P08	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG340	843
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG341	581
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG342	531
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG343	642
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG344	510
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG345	852
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG346	697
LA ESPERANZA_P09	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG347	496
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG348	742
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG349	777
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG350	651
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG351	703
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG352	988
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG353	959
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG354	1024
LA ESPERANZA_P10	LA LIBERTAD	TRUJILLO	TPG355	988
TOTAL				37,058

Nota. La tabla muestra la Relación de UIP por cada clúster y sector en La Esperanza dando un total de 55 clústeres con 37k UIPs. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 6*Presupuesto óptico red FTTH en La Esperanza*

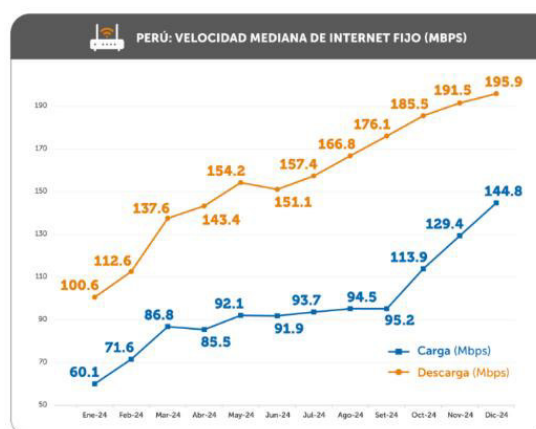
Elemento	Cantidad	Pérdida unitaria (dB)	Pérdida total (dB)
Fibra óptica (8 km, 0.1 dB/km)	8	0.1	0.8
Empalmes por fusión (mufa/DVC) ITU 751	8	0.1	0.8
Splitter óptico 1:8 (primario)	1	10.5	10.5
Splitter óptico 1:8 (secundario)	1	10.5	10.5
conectores ITU 671	2	0.3	0.6
Total de pérdida	-	-	23.2 dB
Potencia Tx (dBm) C+ <3dBm; 7dBm>	-	-	<3dBm; 7dBm> <-15dBm; -20dBm>

Nota. La tabla muestra la Presupuesto óptico red FTTH en La Esperanza, involucrando la transmisión y pérdidas. Fuente: Elaboración propia,2023.

Para ajustar el tráfico de datos que soporta la red se debe tener en cuenta la capacidad utilizada por cada servicio o aplicación, tanto de Upstream (carga de datos) como de Downstream (descarga de datos) para suministrar un adecuado servicio y experiencia al usuario. En la figura 27 se muestra la velocidad de internet fijo en Perú al cierre del 2024.

Figura 27

Velocidad de internet fijo de Perú a diciembre de 2024 según Ookla.



Nota. La figura muestra la Velocidad de internet fijo de Perú a diciembre de 2024 según Ookla, notando su incremento. Fuente: (DPRC-OSIPTEL, 2024).

Teniendo en cuenta la cantidad de UIPs se procede a dimensionar la capacidad de red mínima necesaria para cada usuario residencial a fin de garantizar una conectividad en banda ancha. Para este análisis se tienen en cuenta los servicios y aplicaciones comúnmente utilizados por los usuarios residenciales dentro de una ciudad, teniendo en cuenta que se busca garantizar y brindar la experiencia de un servicio de banda ancha y en relación con lo mencionado por OSIPTEL (Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones) como capacidades necesarias que se deben considerar y que se ofertan en el mercado de internet fijo nacional a inicios del 2023 se elaboró el siguiente cuadro de capacidades indicado en la tabla 7.

Tabla 7

Capacidad de servicios para un usuario residencial.

Servicio	Downstream	Upstream
"Internet"	"78 Mbps"	"39 Mbps"
"VoIP"	"2 Mbps"	"1 Mbps"
"Video"	"20 Mbps"	"10 Mbps"
Total	"100 Mbps"	"50 Mbps"

Nota. La tabla muestra la Capacidad de servicios para un usuario residencial promedio a inicio del 2023. Fuente: (DPRC-OSIPTEL, 2024)

Luego se procede a definir el índice de penetración, factor que el operador PangeaCO usa como de 90%. Este factor es importante para el dimensionado de la red FTTH, considerando la totalidad de clientes potenciales y el número de clientes que pueden usar el servicio de la red.

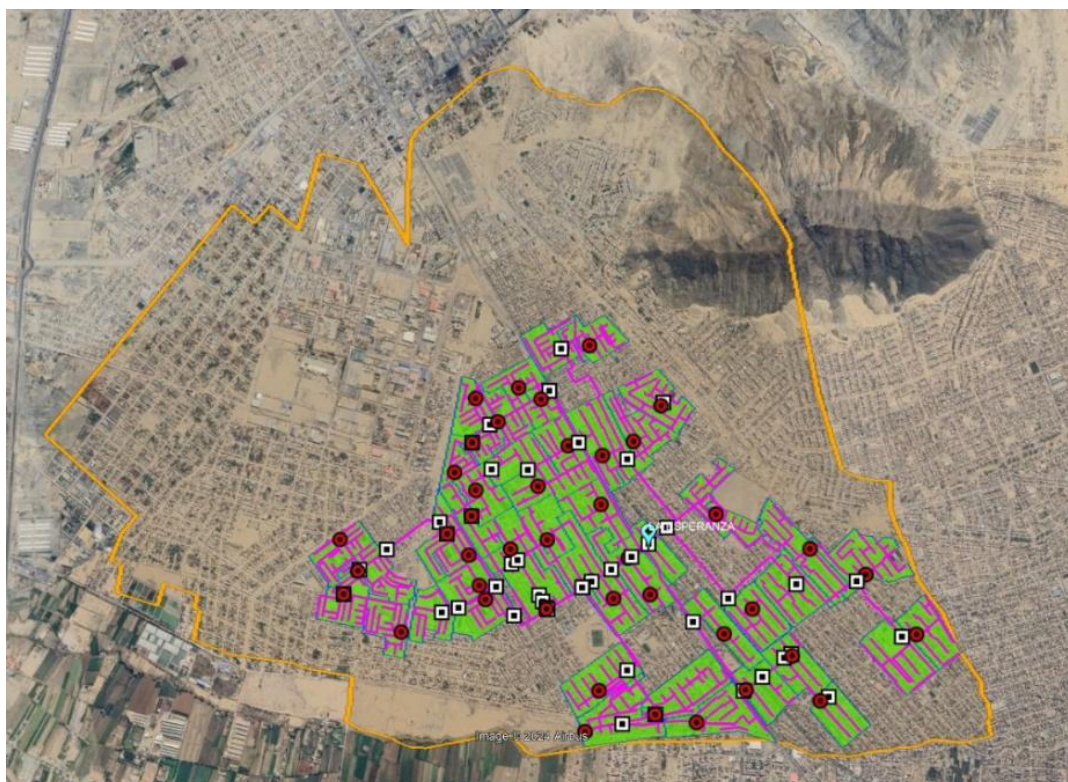
El factor que indica este índice también nos ayuda a dimensionar la cantidad de dispositivos pasivos y activos necesarios para el sinceramiento de CAPEX en el diseño de la red FTTH que se diseña para el distrito de La Esperanza.

Finalmente se obtiene el diseño de la red FTTH que cubre todos los clústeres de cada sector, como se puede observar en la figura 28. Este diseño contempla los cluster, el recorrido del tendido de fibra alimentadora como distribuidora y

los puntos de ubicación de los ctos teniendo en cuenta que dentro de la infraestructura de la última milla están ubicadas lo más cercana posible al cliente para que las instalaciones sean rápidas, limpias y menos costosas.

Figura 28

Georreferenciación recorrida de red FTTH en la Esperanza.



Nota. La figura muestra la Georreferenciación recorrida de red FTTH en la Esperanza contemplando la red alimentadora, distribuidora y las ubicaciones. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para el siguiente proyecto se utilizó los siguientes elementos componentes activos y pasivos como:

- a) **OLT:** Se consideró del proveedor ZTE el modelo C600 (ver anexo 1), a continuación, se describe sus principales características, así como un ejemplo que se muestra en la figura 29:
 - Chasis de 19 pulgadas con soporte para múltiples slots (hasta 16 tarjetas de servicio).
 - Diseño flexible que permite la expansión según las necesidades de la red.

- Soporta GPON, XG-PON, XGS-PON, NG-PON2 y Ethernet.
- Proporciona servicios integrados como voz, datos, video (IPTV) y servicios empresariales.
- Soporta hasta 16,000 usuarios por chasis.
- Alta densidad de puertos (hasta 256 puertos GPON en configuración máxima).

Figura 29

OLT ZTE C600.



Nota. La figura muestra la OLT ZTE modelo C600 y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia, 2023.

- b) **ODF:** Del proveedor COMNSCOPE de ultra alta densidad (ver anexo 1), se describe sus principales características y se muestra en la figura 30:
- Tiene una capacidad de 9 paneles y cada panel puede alojar hasta 288 puertos LC dúplex, optimizando el espacio.
 - Diseñados para permitir movimientos, adiciones y cambios sin interrumpir los canales existentes.

- Diseñados para mantener el radio de curvatura adecuado y proporcionar rutas de cableado eficientes.

Figura 30

ODF COMNSCOPE ULTRA ALTA DENSIDAD.



Nota. La figura muestra un ODF COMNSCOPE DE ULTRA ALTA DENSIDAD y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia, 2023.

- c) **Cable de Fibra óptica:** Del proveedor FIBERHOME tipo PK (ver anexo 1) de 16, 32, 64, 128 y 256 hilos del cual se describe sus principales características y se muestra en la figura 31:
- Soporta aplicaciones de alta velocidad, típicamente hasta 10 Gbps y superiores, con bajas tasas de pérdida de **señal**.

- Utiliza fibras G.652D con baja atenuación y excelente compatibilidad para curvaturas ajustadas, ideal para interiores o instalaciones complejas.
- Cumple estándares internacionales ITU-T, IEC y GR-20

Figura 31

FO FIBERHOME PK.



Nota. La figura muestra carretes de 4km de FO FIBERHOME PK y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia,2023.

d) **Caja de empalme:** Del proveedor ELECTROSON tipo Mondragón, se describe sus principales características y se muestra en la figura 32:

- Cada bandeja puede alojar hasta 16 fusiones.
- Soporta hasta 10 cables ópticos de pequeña capacidad.
- Adecuado para redes de alimentación y transporte de alta capacidad.
- Permite abrir y cerrar la caja sin afectar los circuitos en funcionamiento.

Figura 32

MUFA MONDRAGON ELECTROSON.



Nota. La figura muestra una MUFA MONDRAGON ELECTROSON y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia,2023.

e) **DIVICAU:** Del proveedor ELECTROSON, se describe sus principales características y se muestra en la figura 33:

- Puede alojar hasta 10 divisores ópticos, lo que facilita la gestión de fibras y la configuración de empalmes.
- Diseñada para ser instalada en diversas ubicaciones, como paredes, cámaras, arquetas y postes.
- Ofrece una protección adecuada contra factores ambientales, asegurando la integridad de las conexiones ópticas.

Figura 33

DIVICAU ELECTROSON.



Nota. La figura muestra un DIVICAU ELECTROSON y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia,2023.

f) **CTO**: Del proveedor ELECTROSON, se describe sus principales características y se muestra en la figura 34:

- 8 salidas para acometidas ópticas preconectorizado tipo reforzado bayoneta.
- Espacio para alojar 1 divisor óptico tipo PLC preconectorizado.
- Clasificación IP68 contra polvo y agua, e IK08 contra impactos, Diseñada para una vida útil de hasta 20 años
- Apta para montaje en fachada, poste o mensajero.

Figura 34

CTO ELECTROSON.



Nota. La figura muestra un CTO ELECTROSON y se detalla sus principales características. Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, la tabla 8 se indica la cantidad de elementos activos y pasivos necesarios para la implementación de la red FTTH:

Tabla 8

Elementos activos y pasivos para la red FTTH La Esperanza.

Descripción	Cantidad	Unidad de medida
OLT	1	unidad
Tarjeta GPON	4	unidad
UPS	1	unidad
CTO	1319	unidad
Splitter 1:8 PLC	412	unidad
Splitter 1:8 SPC	3296	unidad
Cable de fibra 256 hilos G.652.D	15000	metros
Cable de fibra 128 hilos G.652.D	20000	metros
Cable de fibra 64 hilos G.652.D	40000	metros
Cable de fibra 32 hilos G.652.D	120000	metros
Cable de fibra 16 hilos G.652.D	6000	metros
ODF	2	unidad
Bandeja de Empalme	20	unidad
Patch cords SC	2560	unidad
Conectores SC	5200	unidad
Roseta óptica	1319	unidad
Mufa Mondragón	412	unidad
Divicau	55	Unidad

Nota. La tabla muestra los Elementos activos y pasivos con las cantidades para la red FTTH La Esperanza. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para tener eficiencia en costos se hace uso de compartición de infraestructura siguiente:

- Postes: de las empresas eléctricas (Hidroandina)
- Postes, cámaras, sifones y nodos de acceso: de otros operadores de telecomunicaciones (Telefónica del Perú).

Previo a la selección de los postes de compartición de infraestructura sobre los que se está diseñando la red, se realiza una inspección física a estos para verificar el adecuado estado para su uso. En la figura 35 se puede apreciar aquellos postes observados para su mantenimiento.

Figura 35

Infraestructura de postes observados durante el diseño de la red.



Nota. La figura muestra Infraestructura de postes observados durante el diseño de la red ocasionados por corrosión. Fuente: Elaboración propia, 2023.

3.5.2. Etapa de despliegue

En esta etapa se consideran diferentes hitos y actividades, siendo lo más significativos la planificación, la gestión de licencias, gestiones logísticas, construcción de la red y pruebas de la red, en la cual se desarrollan diferentes pruebas tanto a nivel de equipos activos y dispositivos pasivos con el objetivo de garantizar que la red desplegada es confiable y continua para brindar diferentes tipos de servicios y el uso de altas capacidades de tráfico de red.

a) Planificación

A continuación, en la tabla 9 se muestra las actividades y el tiempo que toma cada tramo (a, b, c) para el despliegue de la red FTTH.

En el tramo “a” se hizo el despliegue y pruebas de 4 cables (P1/P2/P3/P4) en 16 semanas, en el tramo “b” de 3 cables (P5/P6/P7) en 16 semanas y en el tramo “c” 3 cables (P8/P9/P10) en 16 semanas, completando así los 10 cables de acuerdo con el diseño, en 48 semanas.

Tabla 9

Cronograma de despliegue de red FTTH para cada tramo.

Hito	Actividad	SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Licencias	Armado de expedientes	■															
	Tramite con entidades		■	■	■	■											
Logística	Pedido de materiales		■														
	Traslado de materiales			■	■	■											
Construcción	Instalación ODF/OLT					■	■	■	■								
	Tendido FO alimentadora					■	■	■	■	■							
	Tendido FO Distribuidora						■	■	■	■	■	■	■	■			
	Instalación de Pasivos							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Pruebas	Pruebas de potencia															■	■
	Pruebas reflectométricas															■	■
	Pruebas de altas															■	■

Nota. La tabla muestra el Cronograma de despliegue de red FTTH para cada tramo ya sea “a”, “b” o “c”. Fuente: Elaboración propia, 2023.

b) Gestión de Licencias

Durante este proceso se elaboran los expedientes técnicos necesarios con las distintas entidades gubernamentales y concesionarias de servicios públicos (luz, agua, gas) a fin de evitar observaciones y paralizaciones durante el desarrollo del proyecto. Este proceso involucra ingreso de expedientes, pago de acotaciones por derecho de trámite, carta de autorización y pagos de tasas mensuales por uso de infraestructura (postes) de las empresas eléctricas.

Esta etapa duro 4 semanas para obtener las respuestas de las instituciones involucradas, motivo por el cual el despliegue de la red de telecomunicaciones demora mucho tiempo. Cabe indicar que para otros proyectos la demora puede ser aún más crítica en algunas provincias del interior del país, donde inclusive se puede demorar varios meses en obtener estas licencias.

c) Gestiones Logísticas

En esta etapa se identifica al proveedor de los materiales, equipos y pasivos para el despliegue de la red. Luego se realiza el requerimiento al proveedor seleccionado y este realiza la distribución hacia el almacén indicado por parte

del cliente. Este proceso en promedio conlleva 1 semana para Lima y entre 2 a 4 semanas a provincia debido al transporte que se debe realizar. También puede haber demoras debido a que se seleccionan varios proveedores para optimizar costos.

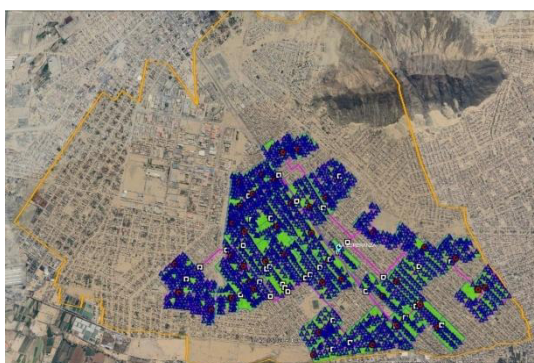
d) Construcción de la Red

En esta etapa se realizan actividades en 2 frentes:

- **Red de Acceso:** Se realizan adecuaciones en el nodo para un almacenamiento limpio y brindar una temperatura adecuada para el funcionamiento correcto de los equipos y dispositivos que se instalan en este ambiente: También se implementan las unidades de distribución de energía (PDU) para la iluminación, respaldo y puntos de toma de energía, el sistema de pozo a tierra (SPAT) para la protección de equipos, las adecuaciones de ductos, escalerillas y bandejas para los diferentes cables. Así mismo se realiza la instalación del Optical Distribution Frame (ODF) y de la Optical Line Terminal (OLT).
- **Red Óptica Pasiva:** En esta etapa se realiza el cableado, instalación de los elementos pasivos (Divicau, CTO, Splitter, Caja de Empalme, etc.), sujeción de herrajes y ferreterías para el transporte de la red. En la figura 36 se puede apreciar la red FTTH con los cableados y elementos pasivos instalados.

Figura 36

Red FTTH con los cableados y elementos pasivos instalados en La Esperanza.



Nota. La figura muestra la Red FTTH pasiva con los cableados y elementos pasivos instalados en La Esperanza. Fuente: Elaboración propia, 2023.

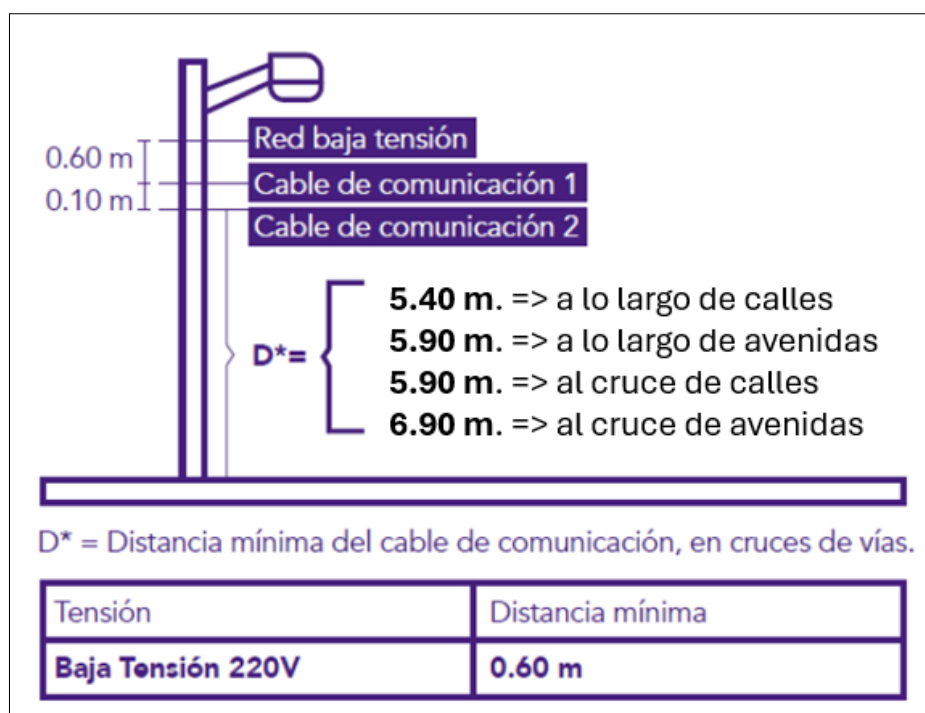
Supervisión de la construcción

Tiene por objeto identificar y realizar las actividades correctivas para alargar la vida útil de la red que se está construyendo y evitar observaciones de calidad en las pruebas. Se desarrolla con personal técnico calificado y experimentado que tiene en cuenta las diferentes normativas de construcción de redes de fibra óptica basados en GPON. En la figura 37 se muestra por ejemplo la Distancia mínima de seguridad a considerar en tendido de red FTTH en infraestructura compartida con las redes de energía eléctrica, y en la figura 38 se muestra el Modelo de instalación de pasivos a utilizar en una red FTTH

Así mismo se revisa la aplicación de buenas prácticas en seguridad y salud en el trabajo a fin de reducir los riesgos derivados de la exposición a trabajos en altura, en caliente y espacios confinados.

Figura 37

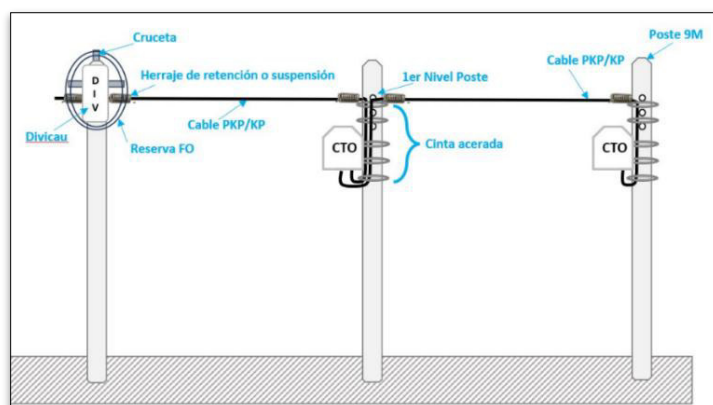
Distancia mínima de seguridad a considerar en tendido de red FTTH.



Nota. La figura muestra la Distancia mínima de seguridad a considerar en tendido de red FTTH en infraestructuras eléctricas. Fuente: (Luz del Sur, 2022).

Figura 38

Modelo de instalación de pasivos a utilizar en una red FTTH.



Nota. La figura muestra la instalación de pasivos a utilizar en una red FTTH en postes propios. Fuente: (PangeaCo, Normativa de Construcción, 2022).

Durante la supervisión se detectaron las siguientes observaciones más relevantes:

1. CTOs fuera del rango permitido de potencia como se muestra en la figura 39 ocasionado por atenuaciones, se revisa todo el tramo para obtener las medidas óptimas.

Figura 39

CTOs fuera del rango permitido de potencia.



Nota. La figura muestra CTOs fuera del rango permitido de potencia, se revisa todas las atenuaciones en los tramos. Fuente: Elaboración propia, 2023.

2. Cajas de empalme no acondicionadas de forma correcta como se muestra en la figura 40 ocasionado por manipulación de terceros, se derivó para su corrección.

Figura 40

Cajas de empalme no acondicionadas de forma correcta.



Nota. La figura muestra Cajas de empalme no acondicionadas de forma correcta, ocasionado por terceros. Fuente: Elaboración propia, 2023.

3. CTOs sin potencia óptica como se muestra en la figura 41, por un corte de fibra, se derivó para su atención.

Figura 41

CTOs sin potencia óptica.

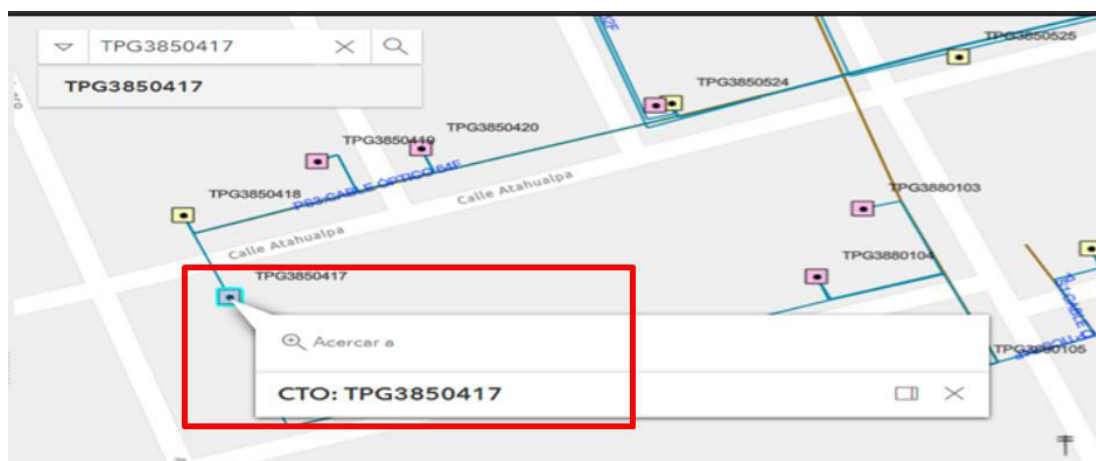


Nota. La figura muestra CTOs sin potencia óptica, ocasionado por un corte de fibra óptica en el tramo distribuidor. Fuente: Elaboración propia, 2023.

4. CTO no actualizado en el Inventario según su posición final como se observa en la figura 42, se derivó para su actualización

Figura 42

CTO no actualizado en el Inventario según su posición final.



Nota. La figura muestra un CTO no actualizado en el Inventario según su posición final, coordenadas erróneas. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Todas estas observaciones fueron subsanadas.

a) Pruebas

Las pruebas que se realiza son: pruebas de potencia, pruebas reflectométricas y las pruebas de conexión en casa del cliente.

Pruebas de potencia

Proceso en el cual se busca obtener que los resultados de la potencia de recepción estén dentro del margen de sensibilidad de los equipos de red activos. En esta prueba juega un rol importante conocer el presupuesto de enlace de fibra óptica en la red FTTH que se implementó. En una red GPON para el tráfico descendente de los servicios (Internet, VoIP, IPTV, etc.) son asignados una longitud de onda.

Las consideraciones a tener en cuenta son que la longitud de onda de 1490 nm se utiliza para el tráfico descendente, mientras que al tráfico ascendente es

asignado la longitud de onda de 1310 nm. Además, en escenarios donde se brinda el servicio de IPTV o CATV mediante el uso de EDFA se asigna la longitud de onda de 1550 nm.

En el presente trabajo el operador PangeaCO considera que las pruebas de potencia son óptimas cuando muestran valores en el margen de -16dBm a -20dBm para sus redes FTTH, tal como se muestran en la figura 43.

Figura 43

Pruebas de potencia en red FTTH de La Esperanza.

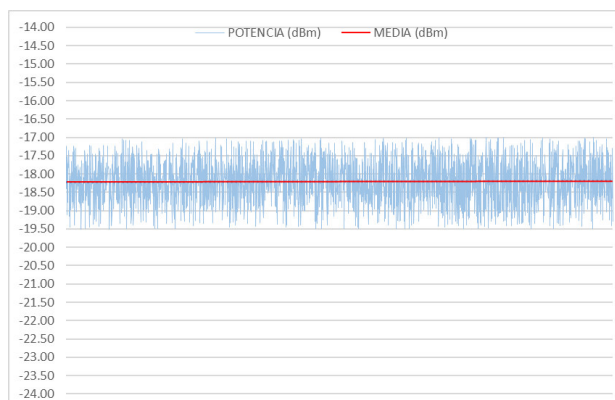


Nota. La figura muestra Pruebas de potencia en red FTTH de La Esperanza, de forma óptima. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Para el presente trabajo se desarrollaron 3,296 pruebas de potencias, las cuales salieron óptimas y estuvieron dentro del margen recomendable <-24dBm; -14dBm> que tiene el operador PangeaCo para la atención de sus clientes, estas pruebas estuvieron comprendidas entre -19.5 dBm y -17 dBm con una media de tendencia de -18.25dBm como se observa en la figura 44, lo cual es favorable para una red con 2 niveles de splitter y está por encima del presupuesto óptico (-19.185), indicado en la tabla 10 considerando las pérdidas teóricas.

Figura 44

Muestra de pruebas de potencia realizada en la red FTTH de la Esperanza.



Nota. La figura plasma la Muestra de pruebas de potencia realizada en la red FTTH de la Esperanza, estando dentro del margen recomendado en una red de dos niveles de splitter. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 10

Presupuesto óptico el despliegue de red FTTH

Elemento	Cantidad	Pérdida unitaria (dB)	Pérdida total (dB)
Fibra óptica (8 km, 0.1 dB/km)	8	0.1	0.8
Empalmes por fusión (mufa/DVC) ITU 751	8	0.1	0.8
Splitter óptico 1:8 (primario)	1	10.5	10.5
Splitter óptico 1:8 (secundario)	1	10.5	10.5
conectores ITU 671	2	0.3	0.6
Total de pérdida	-	-	23.2 dB
Potencia Tx (dBm) C+ <3dBm; 7dBm>	-	-	<3dBm; 7dBm>
			<-15dBm; -20dBm>

Nota. La tabla muestra el presupuesto óptico del despliegue de res FTTH en La Esperanza. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Pruebas reflectométricas

Proceso en el cual se busca garantizar la continuidad de la red FTTH y que las atenuaciones de la red basada en el estándar GPON se encuentre dentro de

los perfiles definidos por el operador, en este caso PangeaCO, los mismos que recopilan los datos teóricos de pérdidas expuestos en los datashet de cada uno material pasivo en la red y muestra los resultados en una tabla de eventos. Para la ejecución de esta prueba se utiliza un equipo de certificación de red denominado OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo) que soporte redes FTTH.

Figura 45

Modelo de resultado de traza de prueba reflectométrica vendor EXFO.



Nota. La figura muestra una traza de prueba reflectométrica del vendor EXFO con parámetros correctos. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Luego de revisar y validar el punto inicial en el informe que exporta el equipo OTDR, se procede a analizar la tabla de elementos donde se tiene la especificación de cada uno de los eventos identificados en la medición con sus parámetros de atenuación y reflectancia, adicional a esto se valida los umbrales personalizados en la medición, tal como se muestra en la figura 46.

Figura 46

Modelo de resultados y perfiles en prueba reflectométrica con vendor EXFO.

Informe de iOLM

Correcto

Tabla de elementos

Tipo	N.º	Pos./L. (km)	Pérdida (dB)	Refl. (dB)	At. (dB/km)	Pérdida acumul (dB)
			1625 nm	1625 nm	1625 nm	1625 nm
Conector		-0.0153	-0.222	-48.9		---
Sección		0.0153	---	---	---	---
Divisor 1:8	1	0.0000	10.052	-58.1		10.052
Sección		0.2146	0.043		---	10.095
Divisor 1:8	2	0.2146	9.810	---		19.905
Sección		3.4220	0.926		0.271	20.831
Conector	3	3.6366	---	-14.5		---

• Para caracterizar la pérdida e incluir el elemento en ORL y pérdida de tramo, se necesita una fibra de recepción.

Umbral de correcto/incorrecto del iOLM

	Longitud de onda (nm)	Atenuación de la sección de fibra (dB/km)	Pérdida de tramo (dB)		ORL máx. (dB)	Longitud de tramo (km)	
			Min.	Máx.		Min.	Máx.
Umbral de correcto/incorrecto personalizados	1625	---	0.000	25.000	15.00	0.0000	10.000

Umbral personalizado de correcto/incorrecto en los elementos

	Pérdida máx. (dB)	Reflectancia máx. (dB)
	1625 nm	1625 nm
Conector	0.300	-60.0
Divisor 1:8	10.500	-60.0

Parámetros y configuración de iOLM

Configuración de prueba:	FTTH movistar	IOR (1550 nm):	1.468325
Tamaño núcleo fibra:	9 µm	Retrodispersión (1550 nm):	-81.87 dB
Fibra de lanzamiento:	0.0150 km		
Fibra de recepción:	0.0000 km		

Nota. La figura muestra el perfil de una prueba reflectométrica del vendor EXFO con parámetros correctos. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Pruebas de conexión en casa del cliente

Proceso en el cual se busca la simulación de la atención de un alta nueva dentro de la red FTTH. Esta prueba complementa la prueba de potencia anteriormente realizada con la conexión de la ONT, el cual es conectado a cualquiera de los bornes de salida de las CTO, en donde se encuentra el splitter de segundo nivel 1:8. En línea con el soporte de un back office como área técnica, se realiza el provisionamiento de la ONT a fin de tener continuidad hacia el puerto PON de la OLT. Al culminar la provisión del servicio, la ONT debe garantizar que la red puede soportar los niveles de sensibilidad del modelo de la ONT con el cual se realiza la simulación del alta y que además esta alta tenga conectividad a internet tal como se muestra en la figura 47.

Figura 47

Prueba de Altas en la red FTTH de La Esperanza.



Nota. La figura muestra Prueba de Altas en la red FTTH de La Esperanza con una ONT validando la conectividad. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Así mismo se realizan pruebas de velocidad como se muestran en el anexo 2.

3.5.3. Etapa de certificación

En esta etapa se realiza la verificación del despliegue se haya realizado de acuerdo con el diseño establecido y en todo caso con las modificaciones aprobadas realizadas post diseño. Así mismo se valida que los resultados de las pruebas guarden relación con los parámetros de diseño, con las normativas técnicas, con las normativas de la empresa. De estar todo conforme se procede a la certificación para el cierre del proyecto y el pago a proveedores.

Las normativas técnicas estándares aplicables son ITU-T G.984, G.9807.1, GR-20, que garantizan la alta velocidad, estabilidad y calidad en las redes de fibra óptica tanto en la transmisión como en los componentes físicos.

En la tabla 11 se muestra el cronograma de certificación que se realiza por cada tramo (a, b, c). Empleándose las 2 últimas semanas de la etapa de despliegue

y pruebas, debido a que se tiene a todo el personal en campo y se realizan actividades en paralelo para hacer más eficiente el trabajo.

Tabla 11

Cronograma de certificación de red FTTH para cada tramo.

Hito	Actividad	SEMANAS															
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Certificación	Check list de verificación																
	Digitalización de la Red																

Nota. La tabla muestra el cronograma de certificación de red FTTH por cada tramo (a, b, c). Fuente: Elaboración propia, 2023.

Check list de verificación:

A continuación, la tabla 12 se muestra el check list de las verificaciones realizadas.

Tabla 12

Check list de las verificaciones realizadas.

INSPECCION - TRABAJOS PEXT FINALIZADOS	
DATOS DEL PROYECTO	
NODO_CABLE	
DIVICAU	
DISTRITO	
DEPARTAMENTO	
EECC	
ITEM PLAN	
FECHA	
TEMAS	DETALLE
UBICACIONES	• Verificar que la CTO tenga el mismo XY que en OSP, en caso no se encuentra cargado en OSP, revisar que la CTO se haya instalado según el plano replanteado.
ROTULACIÓN	• Validar que la CTO este rotulada de acuerdo con OSP, en caso no se encuentra cargado en OSP, revisar que la CTO se haya rotulado según el plano replanteado. • Verificar el etiquetado de la fibra a la entrada y salida de la caja de empalme/ divicau / hub box.
DIVICAU	• Validar que el DIVICAU o HUB BOX esten fijados al centro de la cruceta, la fibra acondicionada en la cruceta debe estar sujeta con cintillos.

CTO	• Verificar que la subida de la FO a la salida del canalizado cuente con sus canaletas y elementos de sujeción (Cintas bandit) • Verificar que la entrada de FO del CTO forme el seno y siga el recorrido de subida con sus elementos de sujeción (Cintas bandit) • Verificación en general de la normativa de construcción • Verificar el correcto etiquetado de la fibra a la entrada y salida de la CTO. • Validar con un equipo OPM (medidor de potencia optica), la recepcion de potencia en la CTO con relación a la distancia de construcción de la red con los siguientes rangos: Entre -13dBm a -21dBm (red fusionada)
MEDICIONES	- Entre -13dBm a -24dBm (red preconectorizado) • Para las CTO fusionadas y desbalanceadas, medir en el borne 8 del divisor. Para el caso de una CTO fusionada que cuente con 2 divisores, medir en el borne 8 (primer divisor) y borne 16 (segundo divisor) • Verficar que la CTO esté instalada en una ubicación que permita realizar la conexión de acometida para atender al usuario final
RED CLIENTE	• Verficar que se encuentren 2 CTO PANGEA como máximo en cada poste. • Validar si los postes usados son de propiedad de alguna concesionaria eléctrica
POSTE ELÉCTRICO	• Uso de elementos normados para postería eléctrica • Verificar que la fibra recorra a traves del mensajero en caso de usar postes eléctricos y quede a una distancia aproximada de 0.5 m, desde el poste hacia la CTO.

Nota. La tabla muestra Check list de las verificaciones realizadas en el proceso de certificación como primera actividad. Fuente: (PangeaCo, 2022).

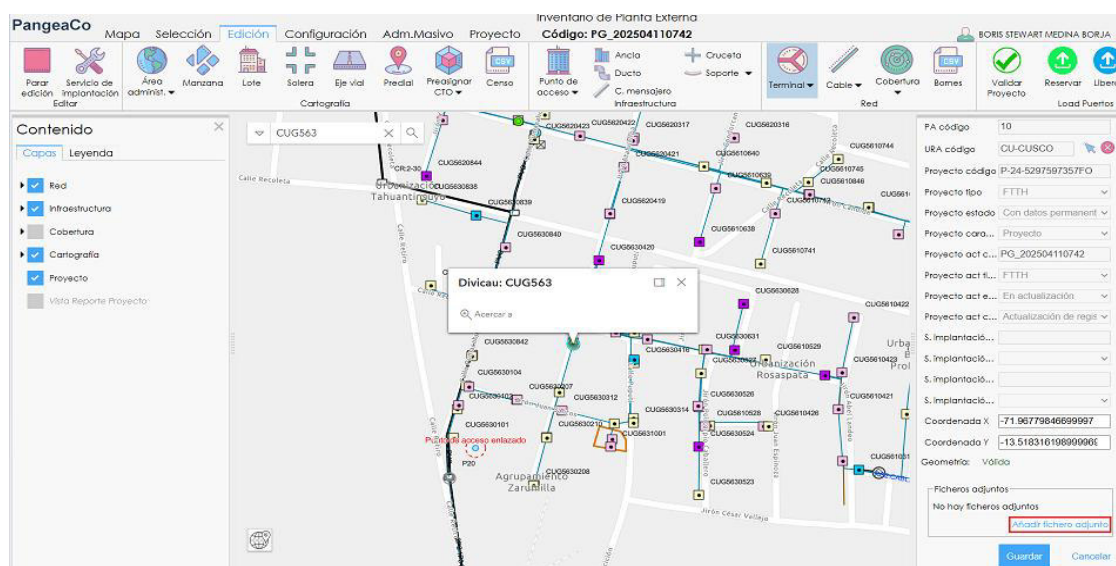
Digitalización e Inventario de Red:

Se documenta la información de la red tal como está quedando (plasmar lo construido físicamente a un formato digital). Para este proceso PangeaCO utiliza un sistema de inventario de red denominado OSP (software desarrollado por NNT Data para Pangeaco), basado en GIS (Geographic Information System). Este software tiene la capacidad de documentar la información desde la red activa considerando los puertos, tarjetas y conexiones físicas dentro del nodo hasta la red pasiva desde los hilos de fibra óptica, los divisores ópticos utilizados hasta el inventario de puertos en las CTOs que brinda el servicio a los abonados y la infraestructura propia o alquilada como cámaras, arquetas, pedestales y postes de telecomunicaciones de otros operadores, propios y de

empresas eléctricas. Asimismo, se documentan los planos, diagrama unifilar y cuadro de empalme por cada diseño de red realizado. Esto hace más eficiente la operación, mantenimiento y actualización de la red. A continuación, en la figura 48 se muestra una parte del inventario realizado por el software.

Figura 48

Inventario de la red FTTH de La Esperanza.



Nota. La figura muestra parte del inventario de la red FTTH de La Esperanza, donde se detalla todos los elementos. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Con el check list y el inventario se procede a la certificación y pago al proveedor que realizó la construcción.

En el caso de equipos y materiales se obtienen del almacén logístico, cuyo abastecimiento es de manera anual.

3.6. Resultado de la actividad

Al concluir el proyecto se tiene una red FTTH de alta velocidad, moderna y escalable, desplegado de acuerdo con el diseño inicial excepto el tramo de la calle Atahualpa cuadra 3, cuyo diseño inicial se muestra en la figura 49, ya que tuvo un quiebre por contingencia social como se muestra en la figura 50, por

falta de conocimientos de la población. Para salvaguardar la integridad del personal se realizó un replanteo en el diseño que contempló cambio de ruta y reubicación de CTOs de poste propio a poste eléctrico como se muestra en la figura 51.

Figura 49

Diseño inicial tramo de la calle Atahualpa cuadra 3.



Nota. La figura muestra el diseño inicial de la calle Atahualpa cuadra 3 que va a ser replanteado por contingencia social. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 50

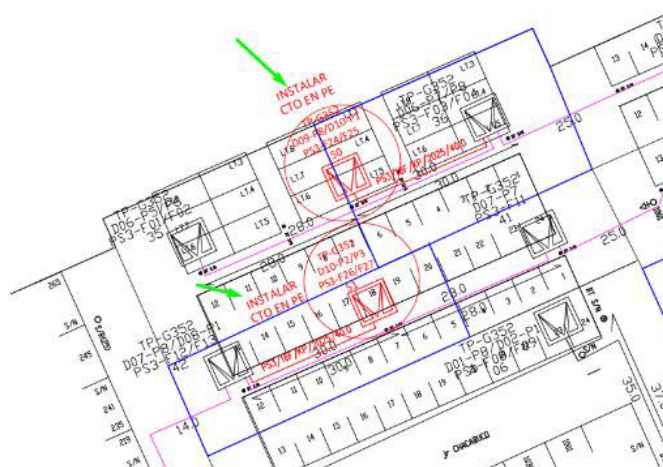
Contingencia social por la población.



Nota. La figura muestra la contingencia social por la población, ocasionado por desconocimiento. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 51

Diseño replanteado con cambio de ruta y reubicación de CTOs.

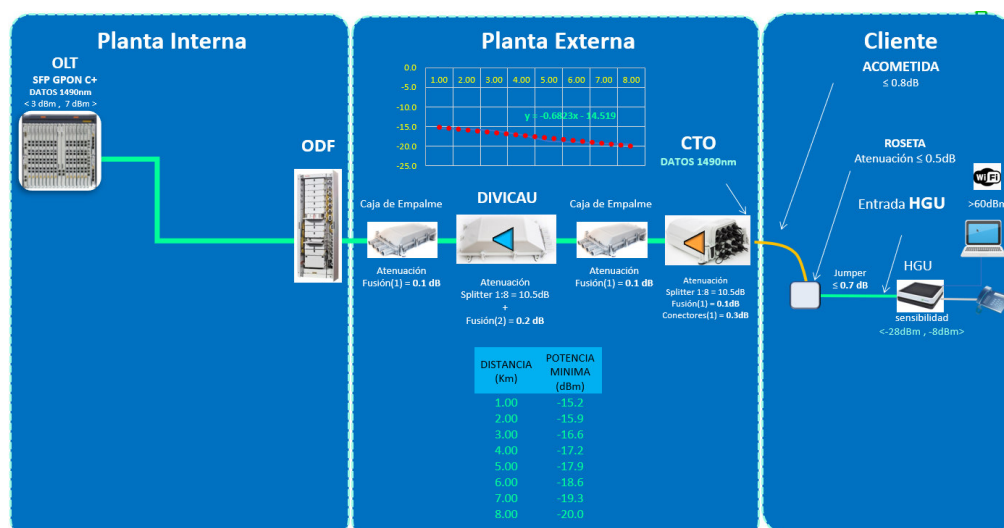


Nota. La figura muestra el Diseño replanteado con cambio de ruta y reubicación de CTOs por contingencia social. Fuente: Elaboración propia, 2023.

El esquema de red del proyecto finalmente desplegado se muestra en la figura 52.

Figura 52

Esquema de la red FTTH de La Esperanza.



Nota. La figura muestra el Esquema de la red FTTH desde el nodo hasta la casa cliente con sus elementos activos y pasivos. Fuente: (PangeaCo, 2022).

El cronograma se amplió debido al replanteo por las contingencias sociales, esto conllevó un retraso de 15 días más.

A continuación, en la tabla 13 se muestra la mejora en la calidad de acceso a internet luego de la implementación de la red FTTH en el distrito de La Esperanza, provincia de Trujillo, Región La Libertad.

Tabla 13

Calidad de acceso con red FTTH en el distrito de La Esperanza.

Indicador	2022	2024
Tecnología predominante	HFC (coaxial híbrido), ADSL	Fibra óptica (FTTH – GPON)
Velocidad promedio de descarga	~40 Mbps	~400 Mbps
Velocidad promedio de subida	~15 Mbps	~400 Mbps (<i>velocidad simétrica</i>)
Cobertura de fibra óptica	Baja, cableras puntuales	Alta, cobertura superior al 70%
Número estimado de hogares conectados	Menos de 500 con fibra	Más de 2,100 hogares con acceso FTTH directo

Nota. La tabla muestra la calidad de acceso con red FTTH en el distrito de La Esperanza en el 2024 con un comparativo del 2022. Fuente: Elaboración propia tomando datos de (SOLTVPERU, 2024) y (MOVISTARTRUJILLO, 2024).

CAPITULO IV: DISCUSION DE RESULTADOS

4.1. Descripción de la Implementación

En el presente trajo se tiene varios hitos importantes durante el desarrollo del proyecto, siendo estos los siguientes en cada etapa:

Etapas de diseño

- Dimensionamiento de red y penetración de cobertura: Se realiza un análisis en función a las UIPs dentro del distrito de La Esperanza y con el apoyo de datos estadísticos y del censado, se identifica y clasifica las zonas de acuerdo con la rentabilidad que se puede obtener a mediano plazo para la recuperación de la inversión.
- Elaboración del diseño: Se logra realizar un diseño que permite dar el servicio a 10 zonas que alcanzan inicialmente a 37,058 UIPs. Se optimizan los costos (CAPEX) con el uso de postes eléctricos y de otras operadoras.

Etapas de despliegue

- Obtención de Licencias Municipales: Se obtienen las licencias para el despliegue de la red FTTH en el distrito de La Esperanza.
- Obtención de autorización de arrendamiento de postes por parte de Hidrandina: Se utiliza como instrumento la ley de compartición de infraestructura de telecomunicaciones, realizando las gestiones con

Hidrandina (concesionaria en la ciudad de Trujillo) y llegando a un acuerdo positivo.

- **Despliegue de Red FTTH:** Se logra realizar un adecuado despliegue de red en el distrito de la Esperanza. No se tuvieron problemas debido a que se tenían los permisos municipales y los acuerdos con Hidrandina, que evitan sanciones y paralizaciones durante la fase de implementación de la red. Asimismo, este hito fue un éxito por la constante supervisión, el levantamiento de observaciones en simultaneo con el despliegue y el seguimiento continuo del cumplimiento del cronograma de despliegue:

Etapas de certificación

- **Pruebas de Certificación de Red:** Fue exitoso debido a la gestión de supervisión que realiza un seguimiento continuo y verifica que se cumplan los estándares de calidad recomendados por la ITU en redes de fibra óptica. Así mismo se emplearon equipos calibrados y de gran uso en el mercado.

4.2. Evaluación Económica

La evaluación económica es imprescindible en toda actividad que contemple proyectos de inversión a mediano o largo plazo, siendo los indicadores financieros importantes el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Retorno (TIR).

4.2.1 Cálculo del VAN

Los datos necesarios para calcular el VAN son:

- Tasa referencial = 6.75%, tomado de BCRP 4Q-2023
- Ingresos por ventas a clientes durante los primeros 5 años, luego implementado el servicio.
- Costo de implementación, tanto en CAPEX como en OPEX (año 0).

En la tabla 14 y 15 se muestran los ingresos por ventas a clientes en el primer año y durante los 5 años respectivamente. Para el primer año la penetración va creciendo mes a mes hasta llegar al 40%, para el 2do año en adelante se asume que la penetración se mantiene constante.

Tabla 14

Ingresos por ventas a clientes en el primer año.

Plan Básico	% Penetración	Mes	Clientes	Subtotal
S/ 50.00	3%	Ene	779	S/ 38,950.00
S/ 50.00	6%	Feb	1557	S/ 77,850.00
S/ 50.00	12%	Mar	3113	S/ 155,650.00
S/ 50.00	16%	Abr	4151	S/ 207,550.00
S/ 50.00	21%	May	5318	S/ 265,900.00
S/ 50.00	25%	Jun	6486	S/ 324,300.00
S/ 50.00	30%	Jul	7653	S/ 382,650.00
S/ 50.00	34%	Ago	8820	S/ 441,000.00
S/ 50.00	39%	Set	9988	S/ 499,400.00
S/ 50.00	40%	Oct	10377	S/ 518,850.00
S/ 50.00	40%	Nov	10377	S/ 518,850.00
S/ 50.00	40%	Dic	10377	S/ 518,850.00
Total				S/ 3,949,800.00

Nota. La tabla muestra Ingresos por ventas a clientes en el primer año hasta llegar a un 40% de ocupabilidad. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Tabla 15

Ingresos por ventas a clientes por 5 años.

Año 1	S/	3,949,800.00
Año 2	S/	6,226,200.00
Año 3	S/	6,226,200.00
Año 4	S/	6,226,200.00
Año 5	S/	6,226,200.00
Total	S/	28,854,600.00

Nota. La tabla muestra Ingresos por ventas a clientes por 5 años con un 40% de ocupabilidad promedio. Fuente: Elaboración propia, 2023.

A continuación, en la tabla 16 se detallan los gastos de capital (CAPEX) y gastos operativos (OPEX) para la implementación del proyecto.

Tabla 16

Costo total de la red en el distrito de la Esperanza – Trujillo.

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Equipos activos			
OLT	1	S/ 25,000.00	S/ 25,000.00
Tarjeta GPON	4	S/ 3,000.00	S/ 12,000.00
UPS	1	S/ 5,000.00	S/ 5,000.00
ONT	1319	S/ 67.50	S/ 89,032.50
Subtotal Activo			S/ 131,032.50
Elementos pasivos			
Splitter 1:8 PLC	412	S/ 35.00	S/ 14,420.00
Splitter 1:8 SPC	3296	S/ 40.00	S/ 131,840.00
Cable de fibra 256 hilos G.652.D (m)	15000	S/ 3.50	S/ 52,500.00
Cable de fibra 128 hilos G.652.D (m)	20000	S/ 2.00	S/ 40,000.00
Cable de fibra 64 hilos G.652.D (m)	40000	S/ 1.80	S/ 72,000.00
Cable de fibra 32 hilos G.652.D (m)	120000	S/ 1.20	S/ 144,000.00
Cable de fibra 16 hilos G.652.D (m)	6000	S/ 1.00	S/ 6,000.00
Rack ODF	2	S/ 800.00	S/ 1,600.00
Bandeja de Empalme	20	S/ 300.00	S/ 6,000.00
Patch cords SC	2560	S/ 6.00	S/ 15,360.00
Conectores SC	5200	S/ 2.00	S/ 10,400.00
Cable de fibra G.657.A	461650	S/ 2.00	S/ 923,300.00
Roseta óptica	1319	S/ 20.00	S/ 26,380.00
Caja de Empalme	50	S/ 180.00	S/ 9,000.00
Mufa Mondragón	412	S/ 120.00	S/ 49,440.00

CTO	3296	S/ 60.00	S/ 197,760.00
Subtotal Pasivo			S/ 1,700,000.00
Subtotal Activo + Pasivo			S/ 1,831,032.50
Costo de Herrajes y Ferretería			S/ 85,000.00
Costo mano de obra			S/ 915,516.25
Costo Pre-inversión, costo de estudios y consultorías			S/ 137,327.44
Costo de CAPEX			S/ 2,968,876.19
Costo de OPEX (Anual)	5	S/ 1 098,619.50	S/ 5,493,097.50
IGV 18 %			S/ 1,523,155.26
Total Red GPON/FTTH			S/ 9,985,128.95

Nota. La tabla muestra el Costo total de la red en el distrito de la Esperanza – Trujillo, se muestra el CAPEX y OPEX. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Entonces con los datos de las tablas 14,15 y 16 tenemos que el cálculo del VAN en Excel es el siguiente:

$VAN = +VNA \text{ (Tasa de referencia; año 1: año 5) - año 0}$

$VAN = +VNA \text{ (6.75\%; S/ 3,949,800.00: S/ 6,226,200.00) -S/ 9,985,128.95}$

$VAN = S/ 13,582,859.53$

Considerando los criterios de decisión siguientes:

Si VAN es positivo Se Acepta

Si VAN es negativo Se Rechaza

Si VAN es cero Se requiere más información

Para el proyecto se tiene un VAN positivo de S/ 13,582,859.53 por tanto se acepta la evaluación económica del proyecto como rentable.

4.2.2 Cálculo del TIR

Los datos necesarios para calcular el TIR son:

- Periodo de evaluación de 5 años
- Ingresos por ventas a clientes durante los primeros 5 años, luego implementado el servicio.
- Costo de implementación, tanto en CAPEX como en OPEX (año 0).
- Tasa de interés ($r = 6.75\%$), para comparar el TIR.

Entonces con los datos de las tablas 14,15 y 16 tenemos que el cálculo del TIR en Excel es el siguiente:

TIR = +TIR (año 0: año 5)

TIR = +TIR (-S/ 9,985,128.95: S/ 6,226,200.00)

TIR = 46%

Considerando los criterios de decisión siguientes:

Si TIR es mayor a r Se Acepta

Si TIR es menor a r Se Rechaza

Si TIR es igual a r Se requiere más información

Para el proyecto se tiene un TIR de 46% que es mayor a la tasa de interés deseada 6.75%, por tanto, se acepta la evaluación económica del proyecto como rentable. Este TIR me indica que además de recuperar la inversión voy a recuperar un 46%.

CAPITULO V: CONCLUSIONES

- La evaluación de la viabilidad técnica de la red FTTH en el distrito de La Esperanza resultó satisfactoria por la existencia de infraestructura alimentadora, distribuidora y nodos por la zona.
- Se logra un diseño de red FTTH moderna y escalable que ofrece mayor cobertura y calidad de acceso a internet al distrito de la esperanza.
- La topología de red diseñada es escalable en servicios y capacidad de red para brindar servicios de voz, datos, IPTV, IoT, pudiendo atender la demanda actual y futura (disponibilidad del 78% de hilos).
- La red FTTH diseñada tiene una penetración superior a 70%. Esto facilita a los operadores brindar servicio de internet de banda ancha de alta velocidad por fibra óptica al distrito de La Esperanza y beneficia a sus pobladores.
- El uso de la tecnología GPON permite la evolución tecnológica de la red sin rehacer la planta externa (por ejemplo, migrar de GPON a XGS-PON).
- La implementación de la red FTTH se realiza de acuerdo con el diseño y cronograma establecido, cumpliéndose con los estándares de calidad verificados exitosamente en la etapa de certificación.
- El proyecto considera el uso eficiente de divisores ópticos, el control del presupuesto óptico, la documentación en GIS y la adecuada ubicación de elementos activos y pasivos, que facilitan la operación, mantenimiento y actualizaciones.
- Se logra mejorar la calidad de acceso a internet luego de la implementación de la red FTTH, que se evidencia con las velocidades verificadas.
- El proyecto resulta viable económicamente. La evaluación del VAN da un resultado positivo de S/ 13,582,859.53 y la evaluación del TIR de 46% que es mayor a la tasa de interés deseada 6.75%.

CAPITULO VI: RECOMENDACIONES

- Sobre la red implementada se recomienda brindar también servicios y soluciones al segmento empresarial y no solo al residencial, puesto que el diseño de la red es moderna y escalable a nuevas aplicaciones, para lograr una mayor explotación de la red.
- Para las futuras ampliaciones de la red se debe realizar sobre la misma infraestructura implementada, debido a que se tienen suficientes hilos de reserva y está habilitada el 78% de su capacidad actual para atender la demanda futura. El diseño de la red considera que el proveedor de servicios es un operador neutral y a futuro pueda compartir esta infraestructura de red con diferentes operadores.
- Para proyectos similares, durante el dimensionamiento de abonados, se recomienda el uso del catastro urbano más actualizado y la realización de un censo poblacional, con la finalidad de identificar la cantidad de Unidad Inmobiliaria Pasada (UIP) por sector analizado.
- En toda implementación de este tipo de redes es importante revisar primero la infraestructura que pueden compartir otros operadores y empresas eléctricas, con la finalidad de optimizar los costos y generar el menor impacto social y ambiental, al no realizar nuevas obras civiles ni consumir recursos.
- Es muy útil disponer de una herramienta software GIS aplicada a infraestructura de telecomunicaciones que permita diagramar la ubicación geográfica real y el detalle de cada uno de sus componentes activos y pasivos de la red.

CAPITULO VII: BIBLIOGRAFÍA

- Benjamin Torres, Ignacio Payá-Zaforteza, Pedro A. Calderón, Jose M. Adam. (2011). Analysis of the strain transfer in a new FBG sensor for Structural Health Monitoring. *Engineering Structures*, 33(2), 539-548. doi:<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2010.11.012>.
- Chambergo, H. (2021). Sistema de red FTTH utilizando la tecnología GPON para mejorar la calidad de servicio de internet en los clientes con red EOC de la empresa Cablered Perú 2021. Huancayo, Perú: Repositorio institucional UNCP.
- Choque, A. (2024). Estudio y propuesta de diseño de una red FTTH en el distrito de Huayllabamba-Urubamba . cusco, Perú: Repositorio institucional UNSAAN.
- CISCO. (2023). CISCO. Obtenido de CISCO: https://www.cisco.com/c/es_mx/support/docs/switches/catalyst-pon-series/216230-understand-gpon-technology.html.
- DPRC-OSIPTel. (01 de 12 de 2024). *VELOCIDAD DE INTERNET FIJO DE PERÚ A DICIEMBRE 2024*. Obtenido de VIDA Y FUTURO: <https://vidayfuturo.pe/peru-es-el-segundo-pais-con-internet-fijo-mas-rapido-de-sudamerica-segun-ookla/>.
- Dr. Guaña Moya, E. J., & Loayza Valarezo, P. A. (2019). *Diseño de redes FTTH-GPON con enfoque QoS [Tesis de maestría, Universidad Israel]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://repositorio.uisrael.edu.ec/handle/47000/2300>.
- Elaboración propia. (01 de 03 de 2022). Metodología Aplicada en el diseño PANGEACO. LIMA, LIMA, PERÚ.

- EXFO. (Diciembre de 2011). *exfo.com*. Obtenido de <https://www.exfo.com/en/resources/technical-documentation/reference-guides/ftth-pon/?lang=es>.
- Forum, B. (2010). *GPON in FTTx Broadband Deployments*. Obtenido de <https://www.broadband-forum.org/pdfs/mr-246-1-0-0.pdf>.
- GSITIC. (2018). *GSITIC*. Obtenido de GSITIC: <https://gsitic.wordpress.com/2018/03/19/biv18-redes-inalambricas-protocolos-caracteristicas-funcionales-y-tecnicas-sistemas-de-expansion-del-espectro-sistemas-de-acceso-modos-de-operacion-seguridad-normativa-reguladora/>.
- INEI. (5 de noviembre de 2018). *INEI*. Obtenido de INEI: <https://censo2017.inei.gob.pe/>.
- Lifeder. (30 de 03 de 2021). *Reflexión de la luz*. Obtenido de Reflexión de la luz: concepto, explicación, tipos y ejemplos.: <https://www.lifeder.com/reflexion-de-la-luz/>.
- Loayza. (2019). *Diseño de una red FTTx para mejorar los servicios de telecomunicaciones en la ciudad de Ayacucho*. Ayacucho: Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Repositorio institucional.
- Luz del Sur. (2022). Distancias Minimas de Seguridad. Lima, Lima, Peru.
- Monsberger, C. &. (2021). Fiber optic sensors: Basics, technology and applications.
- Montes, S. (4 de Agosto de 2023). <https://www.linkedin.com/>. Obtenido de <https://www.linkedin.com/pulse/diferencias-entre-epon-gpon-xgpon-y-xgspon-sebastian-montes/>.
- MOVISTARTRUJILLO. (2024). *MOVISTAR TRUJILLO*. Obtenido de MOVISTAR TRUJILLO: <https://www.movistar.com.pe/fibra-optica-trujillo>.
- MTC. (1 de setiembre de 2024). *GOB.PE*. Obtenido de GOB.PE: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones>.
- Mucha, D. E. (2024). Despliegue de una red FTTH vertical bajo el estándar GPON para mejorar el servicio de banda ancha en el Condominio Los Parques del Agustino Los Robles – Lima. Lima, Perú: Repositorio

institucional UNMSM.

OSIPTEL. (Junio de 2025). *Punku*. Obtenido de Punku: <https://punku.osiptel.gob.pe/>

PangeaCo. (2022). *Normativa de Construcción*. Lima: PangeaCo.

Prored. (2018). *prored*. Obtenido de prored: <https://www.prored.es/ventanas-de-transmision/>.

Rojas, J. A. (2022). Diseño de una red de fibra óptica FTTH para mejorar la calidad de acceso a internet en el centro poblado Tomaque distrito de Bagua carretera Bagua Copallin región Amazonas. LIMA: Repositorio institucional UNMSM.

Significados. (2021). *significados*. Obtenido de significados: <https://www.significados.com/refraccion-de-la-luz/>.

SOLTVPERU. (2024). *SOL TV*. Obtenido de SOL TV: <https://soltvperu.com/avance-fibra-optica-la-libertad/>.

Tennyson, G. P. (2001). *Conceptual physics: The study of the universe (2nd ed.)*.

Torres, L. R. (2011). *Fundamentos de transmisión óptica y redes de fibra*. Técnica Andina.

UNESCO. (2024). *THE STATE OF BROADBAND 2024*. <https://www.broadbandcommission.org/publication/state-of-broadband-2024/>.

Valero, c. (2016). *adsl zone*. Obtenido de adsl zone: <https://www.adslzone.net/2016/03/15/ftth-fttn-hfc-poniendo-en-orden-las-siglas-de-la-banda-ancha/>.

Vallecillo, F. J. (2020). *Diseño de una red FTTH [Tesis de título profesional, Universidad Tecnológica Centroamericana]*. Repositorio institucional. <https://repositorio.unitec.edu/xmlui/handle/123456789/11973>.

Wang, J. &. (2011). *Principles of optics: An advanced text for physics and engineering students*.

Yagüe, A. G. (Noviembre de 2012). *ccapitalia.net*. Obtenido de <https://www.ccapitalia.net/?p=1189>.

UNESCO (2024) "State of Broadband 2024": <https://www.broadbandcommission.org/publication/state-of-broadband-2024/>.

CAPITULO VIII: ANEXOS

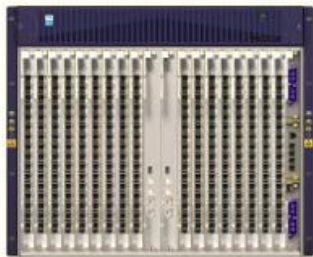
ANEXO 1: DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE COMPONENTES

Figura 53

Datasheet OLT ZTE C600.

ZXA10 C600 Datasheet

ZXA10 C600 is a large-capacity optical access equipment based on the TITAN platform. It meets the full-scenario access needs of ultra-high bandwidth, big video, FMC and network re-architecture, and provides the integration of transmission and access, as well as carrier-class QoS and security.

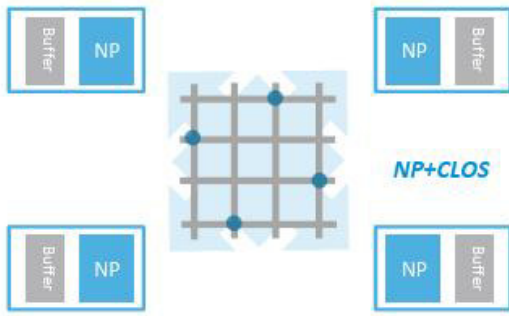




Key Features

System architecture

- Network Processor(NP) +CLOS switch fabric architecture
- Support control and forwarding planes separate.
- Support ISSU and NSR.
- SDN ready, support Netconf/YANG, VXLAN.



NP+CLOS

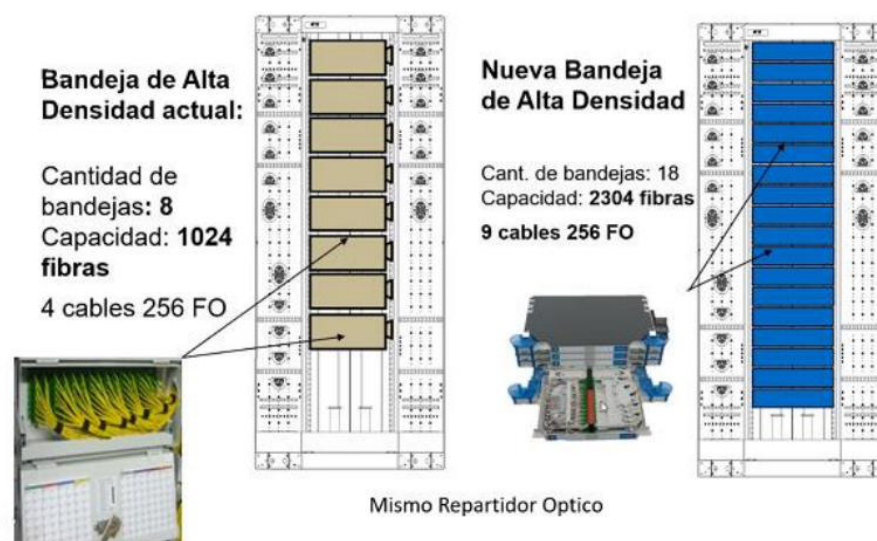
Access Features

- 272/256 GPON, 10G PON, Any-PON or Combo PON ports.
- Three generations of PON technologies and directions in one platform, and two generations PON(GPON and 10G PON) in one card.
- Support full services and scenarios access, such as big video, FMC, network re-architecture, etc.

Nota. La figura muestra Datasheet de la OLT ZTE C600 con sus principales características del fabricante. Fuente: (ZTE, 2025).

Figura 54

Comparativo de uso de bandejas en ODF COMMSCOPE.



Nota. La figura muestra el comparativo del uso de bandejas de alta densidad vs. las bandejas de ultra alta densidad. Fuente: (COMMSCOPE, 2025).

ANEXO 2: PRUEBAS DE SERVICIO CASA CLIENTE

A continuación, se muestran 2 pantallas con los resultados de las pruebas de velocidad de carga y descarga.

Figura 55

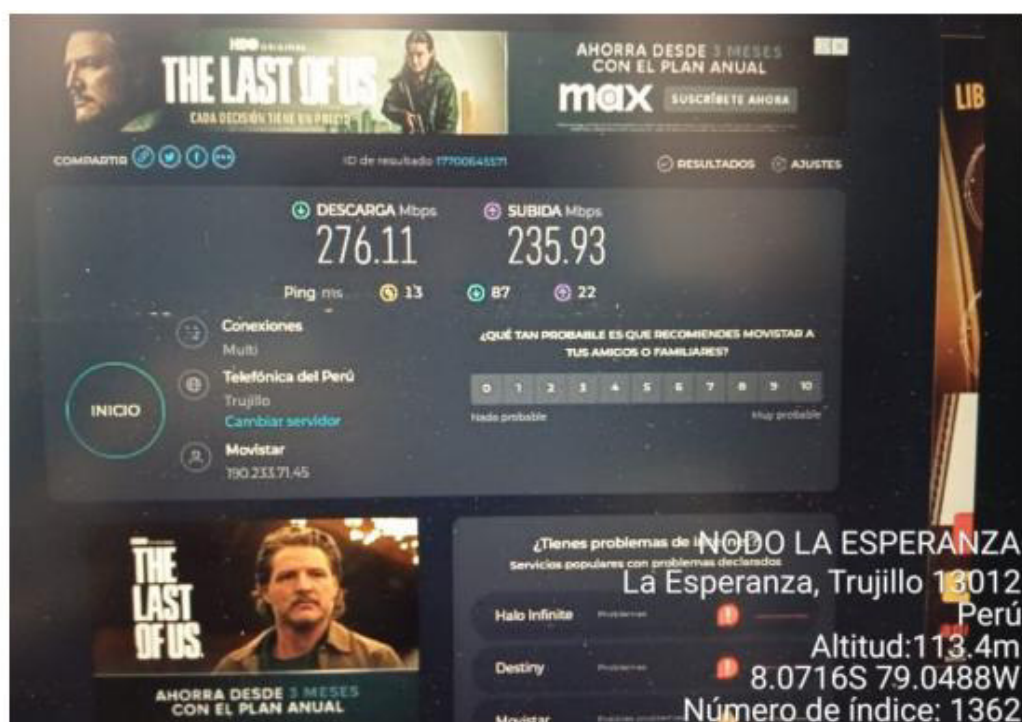
Test de velocidad de alta en casa cliente perfil 1.



Nota. La figura muestra el test de velocidad de un alta con un perfil de 700Mb, validando la velocidad correcta. Fuente: Elaboración propia, 2023.

Figura 56

Test de velocidad de alta en casa cliente perfil 2.



Nota. La figura muestra el test de velocidad de un alta con un perfil de 200Mb, validando la velocidad correcta. Fuente: Elaboración propia, 2023.