

**Universidad Nacional de Ingeniería**  
**Facultad de Ingeniería Eléctrica y electrónica**



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Diseño e implementación de una red FTTH balanceada utilizando  
el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la  
ciudad de Lima**

Para obtener el título profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones.

Elaborado por

Roger Ripas Tomairo

 [0009-0003-9191-9193](https://orcid.org/0009-0003-9191-9193)

Asesor

M.Sc. Ing. Marcial Antonio López Tafur

 [0000-0002-9818-5730](https://orcid.org/0000-0002-9818-5730)

LIMA – PERÚ

2024

---

Citar/How to cite	Ripas Tomairo [1]
Referencia/Reference	[1] R. Ripas Tomairo, “ <i>Diseño e implementación de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima</i> ” [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Ripas, 2024)
Referencia/Reference	Ripas, R. (2024). <i>Diseño e implementación de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*Con mucho amor y gratitud dedico este trabajo a mi padre Julio Ripas, madre Marciana Tomairo, abuelita Bernardina, mis hermanas, mis sobrinos y a todos mis seres queridos por su apoyo inquebrantable e incondicional durante este arduo camino académico, sin su aliento y constante respaldo esta meta no hubiera sido posible. Gracias por siempre alentarme a alcanzar mis sueños, por su presencia en mi vida, su amor incondicional, su motivación constante y por creer en mí. Espero que este trabajo refleje mi eterna gratitud a todos ustedes.*

## **Agradecimiento**

Mi profundo agradecimiento a mis colegas de la UNI - FIEE por haberme brindado su apoyo y estímulo en los momentos requeridos y a mi asesor por sus sabios consejos y haberme guiado en el proceso de elaboración con éxito de este trabajo.

## Resumen

En el presente proyecto, se ha plasmado el diseño e implementación de una red FTTH (*Fiber To The Home*) balanceada, utilizando el estándar GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) para un centro comercial en un distrito de Lima. El acceso a internet, en este centro comercial, es muy limitado debido a la precaria infraestructura de red HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*), ocasionando una alta tasa de saturación en la demanda del servicio de internet. Consecuentemente, los usuarios del centro comercial se ven limitados al momento de hacer sus transacciones comerciales (pagos, consulta de productos, atención remota a clientes y ventas en línea). En el presente trabajo, proponemos actualizar la infraestructura de red HFC, a través del diseño e implementación de una red FTTH balanceada con estándar GPON para optimizar el acceso a internet. La red FTTH, actualmente, viene siendo implementada masivamente en zonas predominantemente urbanas; ya que ofrece alta velocidad de acceso a internet, confiabilidad, mayor ancho de banda y a bajos costos, favoreciendo, considerablemente, a los usuarios. El despliegue de la red de acceso FTTH se realizará mediante un tendido de fibra óptica con una arquitectura PON (*Passive Optical Network*) balanceada utilizando dos divisores ópticos (*splitters 1x8*) preconectorizados en cascada que permita la conexión desde el OLT (*Optical Line Termination*) ubicado en el NOC (*Network Operations Center*) hasta los ONT (*Optical Network Termination*) ubicados en las instalaciones del centro comercial. Concluimos que la implementación de la red FTTH balanceada optimiza los recursos y mejora el acceso a internet de alta velocidad.

Palabras clave – FTTH, GPON, banda ancha, OLT, red balanceada.

## **Abstract**

In this project, the design and implementation of a balanced FTTH (Fiber To The Home) network has been reflected, using the GPON (Gigabit Passive Optical Network) standard for a shopping center in a district of Lima. Internet access in this shopping center is very limited due to the precarious HFC (Hybrid Fiber Coaxial) network infrastructure, causing a high saturation rate in the demand for the Internet service. Consequently, shopping center users are limited when making their commercial transactions (payments, product consultation, remote customer service and online sales). In this work, we propose to update the HFC network infrastructure, through the design and implementation of a balanced FTTH network with the GPON standard to optimize Internet access. The FTTH network is currently being implemented massively in predominantly urban areas; since it offers high speed Internet access, reliability, greater bandwidth and at low costs, considerably benefiting users. The deployment of the FTTH access network will be carried out through a fiber optic roll out with a balanced PON (Passive Optical Network) architecture using two optical splitters (1x8 splitters) pre-connectorized in cascade that allows connection from the OLT (Optical Line Termination) located in the NOC (Network Operations Center) to the ONT (Optical Network Termination) located in the shopping center facilities. We conclude that the implementation of the balanced FTTH network optimizes resources and improves high-speed Internet access.

Keywords: FTTH, GPON, Broadband, OLT, Balanced network.

## Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen .....	v
Abstract .....	vi
Introducción .....	xiv
Capitulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Generalidades .....	1
1.2 Descripción del problema de investigación .....	1
1.2.1 Situación problemática .....	2
1.2.2 Problema a resolver .....	2
1.3 Objetivos del estudio .....	2
1.3.1 Objetivo general .....	2
1.3.2 Objetivos específicos.....	2
1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos.....	3
1.4 Antecedentes investigativos .....	3
1.4.1 Antecedentes internacionales.....	3
1.4.2 Antecedentes nacionales .....	4
Capitulo II. Marco teórico y conceptual.....	6
2.1 Marco teórico.....	6
2.1.1 Fibra óptica .....	6
2.1.2 Técnicas de transmisión en fibra óptica.....	13
2.1.3 Red de acceso con fibra óptica .....	17
2.1.4 Arquitecturas de redes de fibra óptica .....	20
2.1.5 Tecnologías FTTx .....	23
2.2 Marco conceptual .....	26
2.2.1 Funcionamiento general de la red FTTH con el estándar GPON .....	26
2.2.1.1 Red de alimentación .....	26
2.2.1.2 Red de distribución óptica (ODN) .....	27

2.2.1.3 Red de acometida.....	27
2.2.1.4 Funcionamiento de la red FTTH con estándar GPON.....	28
2.2.2 Equipos usados en el diseño e implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON.....	29
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación .....	38
3.1 Ubicación geográfica del proyecto.....	48
3.2 Planificación de la red FTTH.....	48
3.3 Diseño del despliegue de fibra óptica de la red FTTH balanceada .....	49
3.3.1 Estudios técnicos de sitio para el diseño de la red FTTH balanceada .....	49
3.3.2 Diseño de despliegue de la red troncal o red alimentador de fibra óptica. ....	50
3.3.3 Diseño de despliegue de la red de distribución de fibra óptica .....	51
3.3.4 Diseño de despliegue de la red de acometida .....	52
3.3.5 Cálculo de atenuación y presupuesto óptico de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON .....	55
3.4 Implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON .....	58
3.4.1 Implementación de la red troncal de fibra óptica.....	58
3.4.2 Implementación de la red de distribución de fibra óptica .....	59
3.4.3 Implementación de la red de acometida de fibra óptica .....	64
3.5 Certificación de la red FTTH balanceada.....	65
3.5.1 Mediciones de potencia óptica de la red FTTH balanceada.....	65
3.5.2 Mediciones de iOLM o reflectométricas de la red FTTH balanceada .....	68
3.5.3 Cálculo de la tasa de transmisión por usuario .....	70
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados .....	72
4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico.....	72
4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico .....	72
4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico.....	73
4.4 Gastos y presupuesto general de la red FTTH balanceada con estándar GPON...73	

4.5 Cronograma empleado en el diseño e implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON .....	74
Conclusiones .....	76
Recomendaciones .....	77
Referencias bibliográficas .....	78
Anexos .....	82

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Indicadores de logro de los objetivos .....	3
Tabla 2: Diferencias entre la fibra monomodo y multimodo.....	12
Tabla 3: Datos relevantes de las tecnologías PON. ....	19
Tabla 4: Características de OLT modelo ZTE C320.....	30
Tabla 5: Características de splitter 1x8 .....	31
Tabla 6: Características del cable PKP y riser .....	32
Tabla 7: Características del cable drop, patch cord y enfrentador.....	33
Tabla 8: Características del ONT .....	34
Tabla 9: Especificaciones ópticas para OLT .....	55
Tabla 10: Especificaciones ópticas para una ONU (unidad de red óptica) .....	55
Tabla 11: Especificaciones de pérdida de potencia según recomendación de ITU-T.....	56
Tabla 12: Potencia de recepción en los CTOs .....	67
Tabla 13: Potencia de recepción en los ONTs .....	68
Tabla 14: Tasa de velocidad de carga y descarga máxima.....	70
Tabla 15: Incremento porcentual en la tasa de velocidad de carga y descarga máxima.....	71
Tabla 16: Descripción del cumplimiento del primer objetivo específico .....	72
Tabla 17: Gastos generales del proyecto.....	74

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Cable de fibra óptica. ....	7
Figura 2: Representación de una fibra óptica multimodo. ....	8
Figura 3: Fibra multimodo de índice escalonado. ....	9
Figura 4: Fibra multimodo de índice gradual ..... 9	9
Figura 5: Representación de una fibra monomodo. ....	10
Figura 6: Ventanas de operación de la fibra óptica. ....	11
Figura 7: Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing, WDM) .....	14
Figura 8: CWDM y componentes Mux/Demux .....	15
Figura 9: DWDM y componentes Mux/Demux .....	16
Figura 10: Proceso de transmisión general de las redes de fibra óptica.....	16
Figura 11: Funcionamiento de la red PON - carga.....	17
Figura 12: Funcionamiento de la red PON - descarga .....	18
Figura 13: Arquitectura punto a punto.....	20
Figura 14: Arquitectura punto a multipunto .....	21
Figura 15: Arquitectura tipo anillo.....	21
Figura 16: Arquitectura tipo árbol.....	22
Figura 17: Topología tipo bus. ....	23
Figura 18: Tecnología FTTN.....	23
Figura 19: Tecnología FTTC.....	24
Figura 20: Tecnología FTTB. ....	25
Figura 21: Tecnología FTTH.....	25
Figura 22: Red de alimentación de FTTH. ....	26
Figura 23: Red de distribución de FTTH. ....	27
Figura 24: Red de acometida de FTTH.....	28
Figura 25: Funcionamiento de la red FTTH.....	29

Figura 26: OLT ZTE ZXA10 C320.....	29
Figura 27: SNT-ODF de 24 puertos .....	30
Figura 28: Splitter balanceado 1x8.....	31
Figura 29: Splitter balanceado 1x8 sin conector.....	31
Figura 30: Cable de fibra óptica monomodo ADSS (PKP) .....	32
Figura 31: Cable de fibra óptica monomodo riser.....	32
Figura 32: Cable de fibra óptica Drop .....	33
Figura 33: Cable de fibra patch cord, roseta y enfrentador .....	33
Figura 34: Router - ONT .....	34
Figura 35: CTOs (Caja terminal óptico) interno y externo .....	35
Figura 36: Caja de empalme óptico .....	35
Figura 37: Power meter .....	36
Figura 38: Fusionadora de fibra óptica.....	36
Figura 39: OTDR de la marca EXFO .....	37
Figura 40: Diagrama de bloques del diseño e implementación de la red FTTH balanceada.....	39
Figura 41: Diagrama unifilar de la red FTTH balanceada.....	47
Figura 42: Mapa del centro comercial. ....	48
Figura 43: Esbozo de la ruta de ingreso de la fibra óptica al centro comercial. ....	49
Figura 44: Despliegue de la red alimentador.....	50
Figura 45: Despliegue de la red de distribución .....	51
Figura 46: Despliegue de la red de acometida.....	52
Figura 47: Diagrama unifilar y las partes principales de la red FTTH balanceada .....	53
Figura 48: Diseño de la red FTTH balanceada.....	54
Figura 49: Esquema topológico de la red FTTH balanceada desde el OLT hasta el ONT...56	
Figura 50: Conexión desde el OLT hasta el ODF.....	58
Figura 51: Medición de potencia de transmisión en el OLT.....	59
Figura 52: Charla de seguridad de 5 minutos .....	60

Figura 53: Buzón o cámara CR 350 “34” .....	60
Figura 54: Empalme de las fibras a los splitter 1x8 de primer nivel .....	61
Figura 55: Técnico acomodando el cable PKP para continuar la ruta aérea. ....	61
Figura 56: Entrada aérea del cable PKP por la azotea del centro comercial .....	62
Figura 57: CTOs externos (17 y 18) instalados y adosados a la pared .....	62
Figura 58: Empalmes de los hilos de fibra PKP con hilos de fibra riser .....	63
Figura 59: CTOs internos (01 y 16) instalados dentro de los montantes .....	63
Figura 60: Parte interna de los CTOs interno y externo .....	64
Figura 61: Roseta y ONT en el interior del local de los abonados .....	65
Figura 62: Medición de potencia óptica en CTO 13 y CTO 15 .....	66
Figura 63: Medición de iOLM con OTDR del CTO 1. ....	69
Figura 64: Velocidad de Internet antes de implementar la red FTTH balanceada. ....	70
Figura 65: Cronograma de las actividades desarrolladas .....	75

## Introducción

Actualmente, con el avance vertiginoso de la tecnología, los recintos públicos, privados, centros comerciales, residencias y hogares en general tienen la necesidad de demandar cada vez más servicios de datos, voz y video para su uso cotidiano. Esto se vio reflejado, fehacientemente, durante la pandemia de la COVID-19. Ante ello, los proveedores de servicios de internet se ven en la necesidad de desplegar y actualizar las redes de telecomunicaciones para abastecer la demanda existente.

Las redes de fibras ópticas FTTH (*Fiber To The Home*) con estándar GPON (*Gigabit Passive Optical Network*) están siendo desplegadas masivamente en las zonas urbanas con la finalidad de mejorar el acceso al ancho de banda. Hoy, muchas de estas implementaciones no son costosas con relación a años anteriores; ya que los equipos usados en su mayoría son pasivos (no energizados); razón por la cual, los proveedores de internet las ofertan a precios accesibles. Ello motiva a que más usuarios hagan uso provechoso de las bondades que provee el acceso a Internet a través de redes de fibras ópticas modernas.

En el presente trabajo, se aborda el diseño e implementación de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON con la finalidad de optimizar el acceso de internet, voz y video de alta velocidad para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima. El cual consta de cuatro capítulos. El primer capítulo desarrolla los aspectos generales, objetivos y antecedentes del proyecto. El segundo capítulo, el marco teórico y conceptual relacionado con la implementación de redes FTTH con el estándar GPON y las especificaciones técnicas generales. En el tercer capítulo, desarrollo del proyecto, el diseño, lugar de implementación, cálculo de potencias ópticas y pruebas de certificación del proyecto. Finalmente, el análisis y discusión de resultados, se presentará el cumplimiento de los objetivos, conclusiones y recomendaciones finales del proyecto.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

En la sociedad actual, contar con acceso a internet es una necesidad básica, ya que permite el acceso a diversas plataformas de información, educativas, comerciales, sanitarias, políticas y de investigación. Actualmente, recintos como los centros comerciales acogen cada vez más agentes (compradores y vendedores) en sus instalaciones para realizar actividades económicas y, muchos de estos agentes, hacen uso de la red de internet con la finalidad de hacer pagos en línea, consultar productos, acceder a las ofertas, comparar precios, atención remota al cliente y ventas en línea. Sin embargo, el centro comercial de nuestro proyecto cuenta con una red HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*) precaria con una tasa de acceso reducido a la red de datos, que dificulta la comercialización óptima de los agentes (compradores y vendedores).

Por consiguiente, nuestro proyecto plantea optimizar el servicio de acceso a internet para el centro comercial a través del diseño e implementación de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON, la cual se está implementando a nivel nacional e internacional, prioritariamente en zonas urbanas, debido a que su ejecución es rápida y de bajo costo por el uso de elementos pasivos a lo largo del trayecto. Con ello, se permitirá que el centro comercial tenga el acceso a internet a una alta velocidad y uso provechoso de las ventajas que ofrecen las redes FTTH.

Durante el diseño e implementación de la red de transporte FTTH balanceada detallaremos los parámetros, especificaciones técnicas, equipos requeridos y la ingeniería empleada.

## 1.2 Descripción del problema de investigación

Insuficiente velocidad de datos de internet, baja confiabilidad y estabilidad de la red de datos, voz y video para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.

### **1.2.1 Situación problemática**

El centro comercial de nuestro proyecto cuenta con gran afluencia de usuarios, quienes realizan actividades económicas. La mayoría usan dispositivos electrónicos inteligentes como teléfono móvil, laptop, tablet, y los vendedores, además de lo anterior, usan computadoras de escritorio y otros para sus transacciones comerciales, básicamente, al hacer pagos electrónicos (banca móvil, aplicativos y tarjetas de crédito) y ventas en línea. Realizar una transacción en línea toma un tiempo considerable y a veces sin éxito, que genera malestar entre compradores y vendedores. Ello se debe a que la infraestructura actual implementada, en este centro comercial, es a través de una red híbrida HFC. Esta red, al hacer uso de cable coaxial en la última milla, genera cuellos de botella al tener numerosos usuarios que demandan simultáneamente el acceso a la red.

### **1.2.2 Problema a resolver**

Insuficiente velocidad de datos de internet, baja confiabilidad y estabilidad de la red de datos, voz y video para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.

## **1.3 Objetivos del estudio**

Para este proyecto, se detalla el objetivo general, objetivos específicos y una tabla con los indicadores de logro de estos últimos.

### **1.3.1 Objetivo general**

Diseñar e implementar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Diseñar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.

2. Implementar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.
3. Optimizar el acceso a la red de internet y ampliar la cobertura de los servicios de banda ancha para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.

### 1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos

**Tabla 1**

*Indicadores de logro de los objetivos*

<b>N°</b>	<b>Objetivo específico</b>	<b>Indicador de logro</b>	<b>Métrica</b>
1	Diseñar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.	Diagrama del diseño de la arquitectura de la red FTTH balanceada.	<b>Documento</b>
		Especificaciones técnicas del cableado y equipos a utilizar en la implementación de la red FTTH balanceada	<b>Documento</b>
2	Implementar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.	Implementación del 100% de la red FTTH balanceada y certificada con el estándar GPON	<b>Mediciones de potencias y reflectométricas aprobadas</b>
3	Optimizar el acceso a la red de Internet y ampliar la cobertura de los servicios de banda ancha para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima.	Incrementar en 200% la velocidad de carga y descarga	<b>Porcentaje</b>

## 1.4 Antecedentes investigativos

Con el transcurrir del tiempo, las redes FTTH han contribuido significativamente en el avance de las comunicaciones de alta velocidad en sectores como la educación, medicina, comercio y tecnológica. Esto ha involucrado estudio y atención de muchos investigadores en el diseño e implementación utilizando el estándar GPON. A continuación, mencionaremos los antecedentes importantes de nuestro proyecto.

### 1.4.1 Antecedentes internacionales

Galarza (2023) realizó la tesis titulada Diseño e implementación de una red de acceso FTTH mediante la tecnología GPON, el autor abordó la necesidad de actualizar y mejorar la infraestructura de acceso a Internet para la distribución de servicios Triple Play

a usuarios finales. Del mismo modo, describió los aspectos fundamentales de la fibra óptica, hizo el cálculo del presupuesto óptico requerido para el diseño de la red. Durante el desarrollo de su implementación, el autor ha empleado 2 niveles de splitteria con *splitter* 1x8 balanceados e indica que el puerto PON de la OLT y el puerto del ONT marcan el comienzo y fin de la instalación de la red GPON FTTH, simulando dos niveles de splitter, que se llevó a cabo como un laboratorio a escala (p.51). También, hace uso de la herramienta PRTG para el monitoreo del estado de la red y muestra las tasas de interconexión de los usuarios finales en la red implementada. Finalmente, el autor menciona en su conclusión que el proyecto culminó brindando servicios Triple Play a los usuarios finales del municipio Othón, P Blanco y Bacalar. Además, estos servicios son monitoreados 24/7 los 365 días del año. Los usuarios podrán acceder a los servicios que proporciona internet con la confianza de que el ancho de banda será adecuado (p. 66).

Sánchez (2021), en la tesis Diseño y simulación de una red FTTH sobre GPON y la factibilidad de implementar el servicio de banda ancha en Monte Sinaí, analizó el diseño de una red FTTH sobre GPON para usuarios del sector de Monte Sinaí y realizó la simulación usando el software *Optisystem*. El método usado fue de tipo cuantitativo y cualitativo; asimismo, en el desarrollo de la simulación, el autor recomendó el uso de *splitter* 1x8 para conseguir el presupuesto óptico ideal. Finalmente, el autor concluyó que el trabajo presentado fue muy beneficioso, ya que la distribución y la alimentación realizadas desde la OLT hasta la manga de distribución permitirán, en el futuro, implementar otras redes GPON debido a que se usó 3 fibra ópticas (FO) de los 48 FO disponibles. De esta manera se atenderá a numerosos abonados en diferentes áreas de Monte Sinaí (p. 49).

#### **1.4.2 Antecedentes nacionales**

Seminario (2021) realizó la tesis titulada Diseño de una red piloto FTTH utilizando el estándar GPON, en modalidad de conmutación de datos por paquetes para el distrito de Miraflores – Lima, el autor desarrolló el diseño de una red piloto FTTH utilizando el estándar GPON, en modalidad de conmutación de datos por paquetes para ese distrito. Se hizo un

estudio de campo en el distrito, que permitió el diseño y despliegue adecuado de la red primaria y *backup*, que da cobertura al 75% de abonados como primera fase. En el despliegue, utilizó una topología anillo para tener un respaldo de la red principal, splitter 2x8 y 1x8, que permiten la cobertura de todas las zonas objetivo y benefician a 280 abonados. Finalmente, la tesis concluye que para iniciar el diseño de la red FTTH primero se dimensionó la red a través de un estudio de campo con el objetivo de reconocer los requerimientos de la red. También, recomendó proponer este diseño a las empresas de telecomunicaciones para su futura implementación.

Quezada (2021), en la tesis Diseño de una red FTTH mediante el estándar GPON para la mejora de la calidad de servicio de internet en los hogares en el distrito de Chorrillos, el autor propuso diseñar y determinar los requerimientos necesarios para la implementación de una red FTTH mediante el estándar GPON para mejorar la calidad de internet de los usuarios pertenecientes a la Av. Defensores del Morro y Av. Los Faisanes en el distrito de Chorrillos. Usó técnicas cuantitativas para la recolección de información, recorrió la zona objetivo y obtuvo datos como número de viviendas unifamiliares y multifamiliares. En el diseño para la red de distribución, usó una topología anillo con la finalidad de contar con una red *backup* en caso haya caída de la red primaria y una topología tipo árbol para la red de distribución. Del mismo modo, se usó *splitter* de 1x8 con dos niveles de splitteria. Por último, concluye que se diseñó una red de fibra óptica FTTH utilizando la tecnología GPON para los abonados y/o usuarios, particularmente en las avenidas Defensores del Morro y Los Faisanes en el distrito de Chorrillos, debido a que la zona en cuestión sólo tenía acceso a la tecnología HFC basada en cobre coaxial (p. 136) y recomendó la implementación de redes que sean cada vez más flexibles, lo que permitirá satisfacer los cambios frecuentes en el acceso a Internet.

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

En este capítulo, como marco teórico, se describen los conceptos relacionados con fibra óptica, tecnología FTTx, tipos de fibras, ventajas y limitaciones de fibras, arquitecturas, estándares y redes de acceso PON (redes óticas pasivas).

En el marco conceptual, se detalla el funcionamiento de la red FTTH con estándar GPON, especificaciones técnicas generales de los equipos e instrumentos usados en la implementación de la red.

### 2.1 Marco teórico

En esta sección detallamos los aspectos fundamentales de la tecnología FTTH, el cual fue empleado en este proyecto.

#### 2.1.1 Fibra óptica

Es un delgado filamento de vidrio extremadamente puro, aunque también pueden fabricarse con plástico por motivos económicas. Su diámetro oscila entre cinco y diez micras. Son, considerablemente, más delgadas que las versiones antiguas que tenían 50 micras de grosor. Durante el proceso de fabricación, estas fibras se rodean con más vidrio o plástico, pero este material exterior no cumple la función de guiar la luz. De hecho, ambas partes de la fibra se diseñan, a propósito, con índices de refracción diferentes. Esto permite que, en caso de que la luz intente salir, el revestimiento exterior actúe como un espejo, refleje el rayo de luz nuevamente hacia el interior debido a su índice de refracción, que evite así que escape al exterior. Además, se aplica un recubrimiento externo para proporcionar protección mecánica y prevenir posibles daños (Huidobro, 2014, p.61).

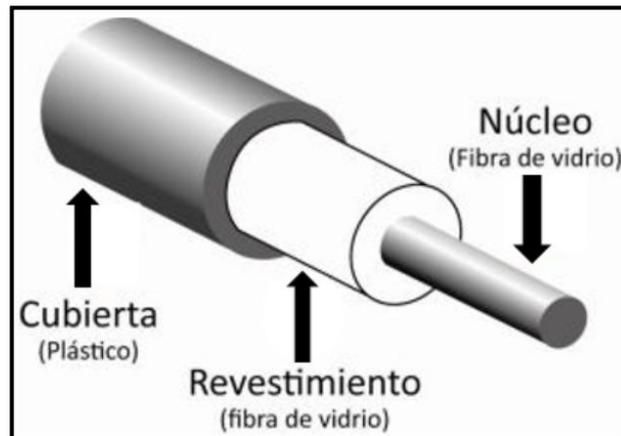
Una fibra óptica consiste en un cable de vidrio que se compone de un núcleo y un recubrimiento, ambos con índices de refracción distintos. El índice de refracción del núcleo es mayor que el del recubrimiento, que permite que la radiación se pueda dirigir a través de reflexión total en la interfaz entre el núcleo y el recubrimiento (Sparado, 2016, p.10).

Las fibras ópticas son finos hilos de vidrio por medio de las cuales se pueden transmitir datos a través de equipos ópticos, que transforman las señales de datos en luz. Este hilo de vidrio delgada y flexible tiene un diámetro similar al del cabello humano, alrededor de 125 micras ( $\mu\text{m}$ ) (Kim, 2023, párr.5).

Para los sistemas de comunicaciones ópticas, la fibra óptica representa el medio de transmisión ideal. Desde sus primeras instalaciones, en las líneas que enlazaban las grandes centrales de conmutación, la fibra se está trasladando, hoy en día, hasta los mismos hogares, extendiendo su uso a un mayor abanico de aplicaciones (España, 2005, p.1).

### Figura 1

*Cable de fibra óptica.*



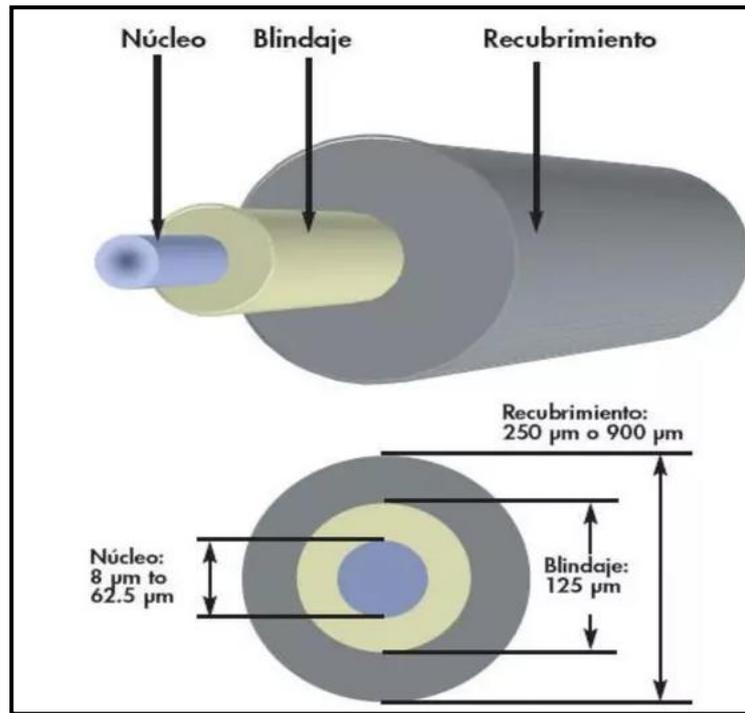
*Nota:* se muestra las partes de la fibra óptica. Fuente: tomado de Casanueva (2020), <http://surl.li/sfvhl>

Las fibras ópticas según el modo de propagación de luz se clasifican en fibras monomodo y multimodo.

**A. Fibra óptica multimodo.** Permite que la luz se desplace a través de su núcleo en diversos rayos conocidos como modos. Este tipo de fibra cuenta con un núcleo de mayor tamaño, generalmente de 50 o 62.5 micrones, que facilita la transmisión de múltiples modos o rayos de luz (FOA, 2021, párr.8).

**Figura 2**

*Representación de una fibra óptica multimodo.*



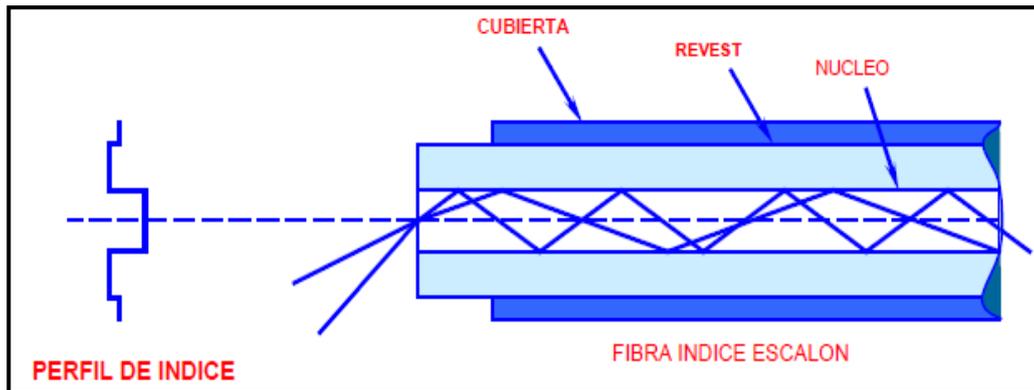
*Nota:* la figura muestra la fibra multimodo y sus rangos de medición en micrómetros. Fuente: tomado de Fierro (2024)

Las fibras multimodo, de acuerdo con el índice gradual, se dividen de la siguiente manera:

**Multimodo de índice escalonado:** la primera variante de fibra multimodo fue la de índice escalonado. En este diseño, el núcleo de la fibra consiste completamente en un tipo de material óptico, mientras que el revestimiento está hecho de otro material con propiedades ópticas distintas. Sin embargo, esta fibra presenta una mayor atenuación y una velocidad de transmisión más lenta debido a la dispersión provocada por las diversas longitudes de trayecto de los diferentes modos que viajan a través del núcleo (FOA, 2021, párr.8).

**Figura 3**

*Fibra multimodo de índice escalonado.*

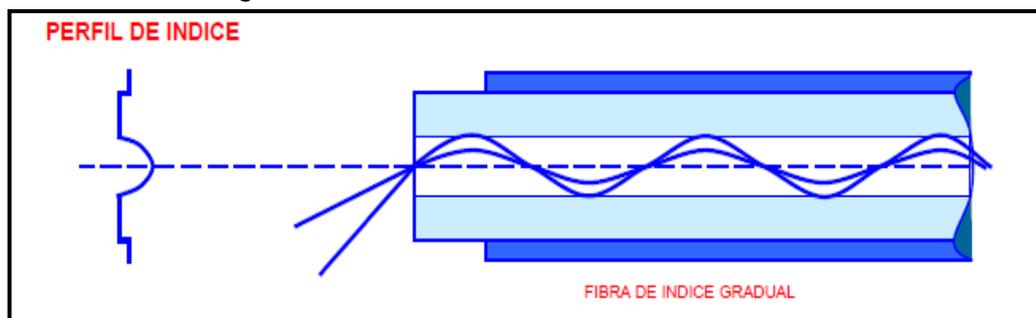


*Nota:* la figura muestra la propagación de diferentes ondas, el índice de refracción del núcleo es mayor al de la capa exterior. Fuente: tomado de Geronimo (2015)

**Multimodo de índice gradual:** la fibra multimodo de índice graduado emplea cambios graduales en la composición del vidrio del núcleo para compensar las diferencias en las longitudes de trayecto de los modos. Este tipo de fibra ofrece un ancho de banda considerablemente mayor que la fibra de índice escalonado, llega hasta unos 4 gigahercios por kilómetro de fibra. Existen dos tamaños comunes de fibra multimodo: 50/125 $\mu\text{m}$  y 62.5/125 $\mu\text{m}$ , donde los números indican el diámetro del núcleo y el revestimiento, respectivamente (FOA, 2021, párr.8).

**Figura 4**

*Fibra multimodo de índice gradual.*



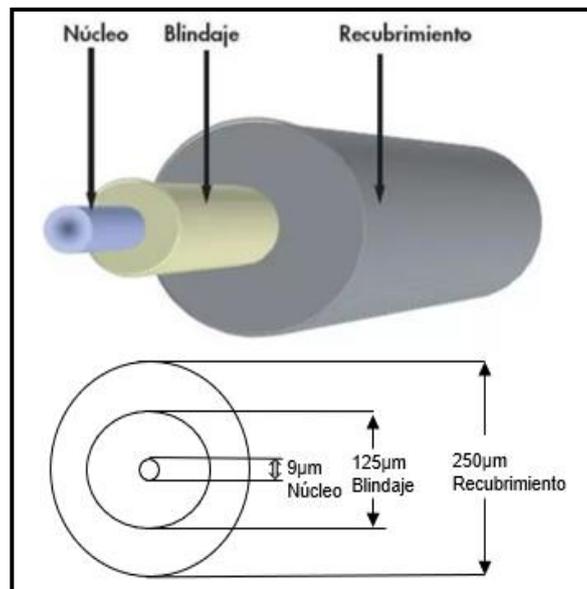
*Nota:* la figura muestra la propagación de diferentes ondas, el índice de refracción del núcleo varía de forma gradual. Fuente: tomado de Geronimo (2015)

**B. Fibra óptica monomodo.** Como lo indica, se trata de fibras por donde únicamente se propaga un modo, por ello no se produce dispersión modal, que ocurre debido a las diferentes velocidades de propagación de los modos transmitidos a lo largo de las fibras. Esto es posible gracias al reducido diámetro de su núcleo (menos de  $9\mu\text{m}$ ). En este tipo de fibras, el acoplamiento del haz es más complicado, pero permite lograr distancias y velocidades de transmisión superiores a las que se obtienen con las fibras multimodo. Se usa frecuentemente en redes troncales con ancho de banda que alcanza los 100 gigahercios por kilómetro (Gallardo, 2015, p. 168).

Según la recomendación ITU-T G.652. (2016), se indica que lo cables ópticos monomodo cuya longitud de onda de dispersión nula se ubica alrededor de los 1310 nm. Inicialmente, concebida para operar de manera óptima en la región de longitud de onda de 1310 nm, esta fibra también puede ser utilizada en la región de 1550 nm (en las que la fibra no está optimizada). Esta fibra puede utilizarse para transmisión analógica y digital.

### Figura 5

*Representación de una fibra monomodo.*

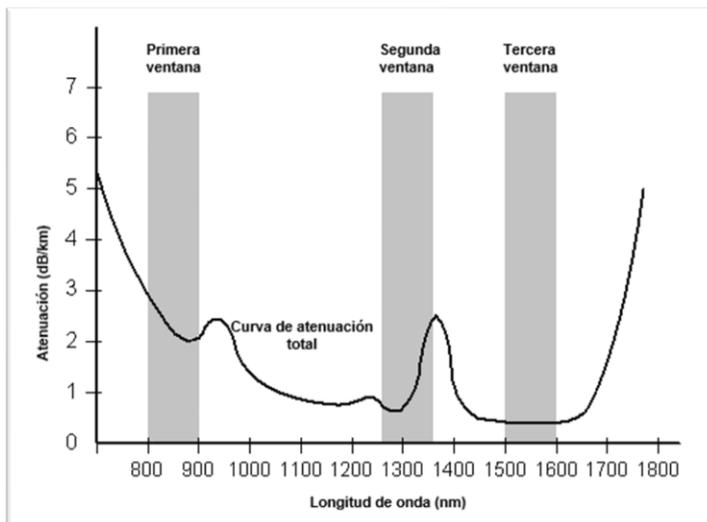


*Nota:* la figura muestra la fibra monomodo y sus rangos de medición en micrómetros. Fuente: adaptado de Fierro (2024)

**C. Ventanas de operación de las fibras ópticas.** La longitud de onda central utilizada para la transmisión de información se denomina "ventana de operación". Las ventanas más empleadas son de 850 nm (primera ventana), 1310 nm (segunda ventana) y 1550 nm (tercera ventana). Inicialmente, las primeras transmisiones en fibra óptica se llevaron a cabo a 850 nm con una tasa de atenuación de 2,5 dB/km. A medida que la tecnología avanzó, se logró la transmisión a longitudes de onda más altas: primero a 1310 nm (con una atenuación de 0,4 dB/km) y luego a 1550 nm (con 0,2 dB/km). En la figura 6, se observa que las pérdidas por transmisión disminuyen a medida que la longitud de onda aumenta (Promax, 2014, párr.7).

**Figura 6**

*Ventanas de operación de la fibra óptica.*



*Nota:* la figura muestra las 3 ventanas de transmisión de la fibra óptica. Fuente: adaptado de Promax (2014)

**D. Diferencias entre la fibra monomodo y multimodo.** Tomando como referencia a (ETU-LINK, 2022) se mencionan algunas de las diferencias de las fibras monomodo y multimodo.

**Tabla 2***Diferencias entre la fibra monomodo y multimodo.*

Diferencia	Fibra monomodo SM	Fibra multimodo MM
Diámetro de fibra	Diámetro del núcleo es de 9 $\mu\text{m}$ (OS2)	Diámetro del núcleo es generalmente de 50 $\mu\text{m}$ (OM1) o 62.5 $\mu\text{m}$ (OM2, OM3, OM4)
Fuente de luz	Fuente de luz para la transmisión de fibra es láser	Fuente de luz para la transmisión de fibra es led.
Ancho de banda	Solo se propaga un modo por esta fibra, evitando la dispersión modal, por ende, el ancho de banda es muy amplio	Estrecha debido a la dispersión modal
Precio	Alto	Bajo
Distancia de transmisión	Puede llegar a cientos de kilómetros	Dentro de los dos kilómetros
Escenarios de aplicación	Se utiliza principalmente en la red de área metropolitana, la red troncal, PON y otros escenarios	principalmente en centros de datos empresariales, y otros escenarios

*Nota:* Cuadro muestra las diferencias de la fibra SM y MM. Fuente: adaptado de ETU-LINK (2022)

**E. Ventajas de las fibras ópticas.** A continuación, mencionamos las siguientes ventajas de la fibra tomando como referencia a (Geronimo, 2015, p.7).

- Amplio ancho de banda, lo que posibilita una elevada capacidad de transmisión de información, que se refleja en un mejor rendimiento de los sistemas.
- Se pueden producir cables muy ligeros, dado que el peso específico del vidrio es una cuarta parte del peso del cobre.
- Las señales pueden ser enviadas a través de áreas con ruido eléctrico con un índice de error muy bajo y sin ninguna susceptibilidad a la interferencia eléctrica.
- La diafonía no representa un problema, ya que no se inducen campos eléctricos y magnéticos.
- Al disminuir la atenuación en las señales transmitidas a través del medio portador, se amplía la distancia entre repetidores en una línea de transmisión óptica. Esto puede ser hasta diez veces mayor que en el caso de cables convencionales o, incluso, puede prescindirse de los repetidores por completo.
- Dado que las fibras ópticas no emiten energía electromagnética hacia el exterior, resulta imposible captar la señal transmitida a través de ellas desde afuera. Además, es técnicamente inviable extraer información de manera subrepticia de una fibra sin modificar significativamente los parámetros de transmisión.

- El pequeño tamaño y peso, junto con una resistencia mecánica considerablemente alta, contribuyen a reducir los desafíos asociados con el almacenamiento, transporte e instalación de las fibras ópticas. Para tener una idea comparativa, mientras que no sería práctico manejar largas tramas de cables con varios tubos coaxiales de 200 a 300 metros de longitud, con fibra óptica y una capacidad equivalente, se pueden superar fácilmente distancias de uno o dos kilómetros.

**F. Limitaciones de las fibras ópticas.** A continuación, mencionamos las siguientes limitaciones de la fibra tomando como referencia a (Geronimo, 2015, p. 7).

- Debido a que la fibra óptica es un material bastante frágil, necesita un manejo especialmente cuidadoso durante la instalación y, en parte, el uso de equipos especializadas.
- Es fundamental desarrollar nuevos elementos con la mayor precisión posible.
- Solo puede ser manipulado por personal altamente capacitado.
- En comparación a los cables tradicionales, el costo puede ser considerado elevado.
- Las fibras ópticas son inmunes a las interferencias electromagnéticas, sin embargo, son susceptibles a los cortes físicos que pueden ser causados por intercesión del hombre o desastres naturales.

### **2.1.2 Técnicas de transmisión en fibra óptica**

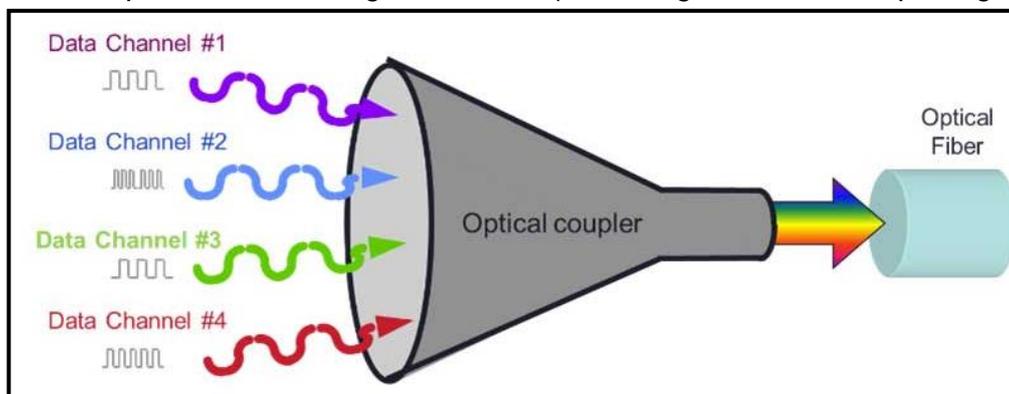
En la actualidad, existen muchas técnicas de transmisión en fibras ópticas de las cuales mencionaremos algunas:

- Modulación de fase: la transmisión de datos ocurre al alterar la fase de la señal luminosa portadora como la modulación de fase diferencial (DPSK) y la modulación de fase cuadratura (QPSK).
- Modulación de frecuencia: en esa técnica, se ajusta la frecuencia de la luz emitida de acuerdo con la información a enviar.

- Multiplexación por división de longitud de onda (WDM): esta técnica permite enviar múltiples señales simultáneamente a través de una sola fibra óptica, utilizando distintas longitudes de onda de luz.
- Multiplexación por división de espacio (SDM): esta técnica utiliza diferentes núcleos o modos de propagación (fibra multimodo) para transmitir múltiples señales independientes simultáneamente.

**Figura 7**

*Multiplexación por división de longitud de onda (Wavelength Division Multiplexing, WDM).*



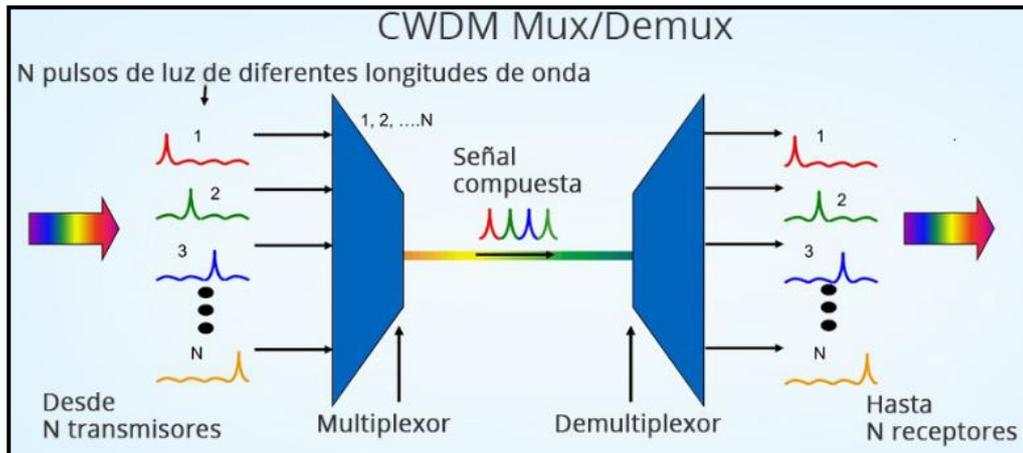
*Nota:* la figura muestra la multiplexación de varias señales para ser enviados a través del mismo medio. Fuente: tomado de Ciena (2020).

### **WDM ligera (CWDM)**

CWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Coherente) se utiliza en redes metropolitanas y regionales para la multiplexación por división en longitud de onda. Está definida por la normativa ITU-T G.694.2, que establece una separación estándar de 20 nm en el rango de 1270 a 1610 nm. Esto posibilita hasta 18 longitudes de onda CWDM a través de un par de fibras. Cada señal se asigna a una longitud de onda diferente para evitar interferencias entre ellas. Cada canal es generalmente compatible con diversas velocidades y tipos de datos, que permite el transporte simultáneo de servicios de red WAN, voz y video sobre una única fibra o par de fibras. CWDM ofrece una solución económica para aumentar la capacidad de las redes de acceso, lo que permite satisfacer las demandas de crecimiento del tráfico sin sobrecargar la infraestructura existente (Worton, 2018).

**Figura 8**

*CWDM y componentes Mux/Demux*



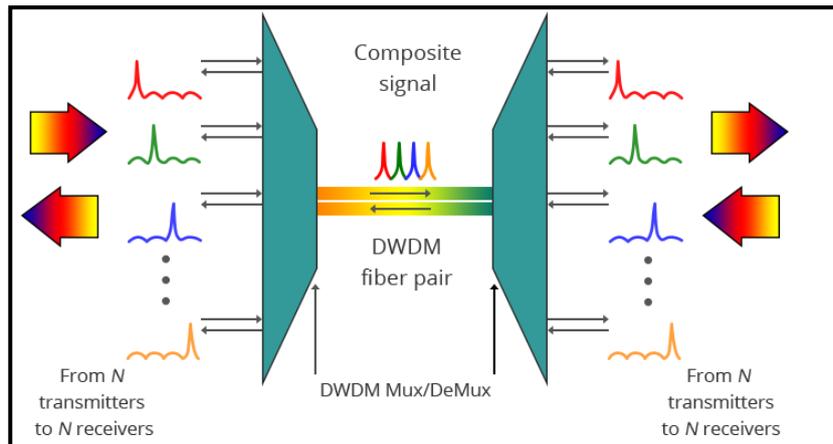
*Nota:* la figura muestra la multiplexación y demultiplexación de ondas de luz con la tecnología CWDM. Fuente: tomado de Worton (2018)

### **WDM densa (DWDM)**

DWDM (Multiplexación por División de Longitud de Onda Densa) representa una evolución en las redes ópticas. Los dispositivos DWDM, conocidos como multiplexores (o Mux), unen la salida de múltiples transmisores ópticos para su transmisión a través de una única fibra óptica. En el extremo receptor, otro dispositivo DWDM, el demultiplexor (o Demux) separa las señales ópticas combinadas y dirige cada canal hacia un receptor óptico. Entre los dispositivos DWDM, se emplea únicamente una fibra óptica (en cada dirección de transmisión). Los sistemas DWDM tienen canales en longitudes de onda espaciadas con 0,4 nm o 0,8 nm. Al juntar pulsos de luz que poseen diversas longitudes de onda, es posible transmitir múltiples canales de forma simultánea utilizando únicamente una fibra óptica (Irving, 2021, párr.3).

**Figura 9**

*DWDM y componentes Mux/Demux*



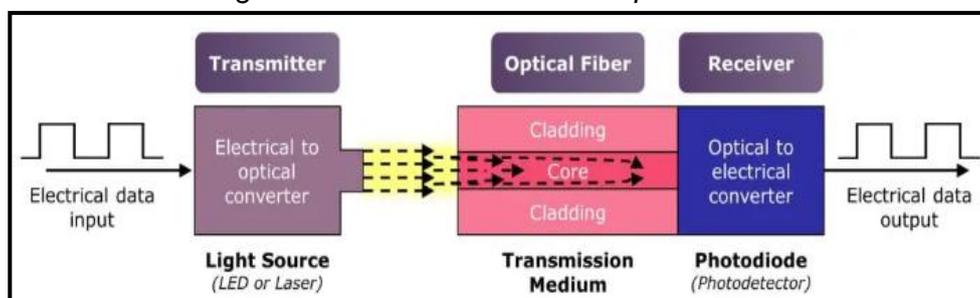
*Nota:* la figura muestra la multiplexación y demultiplexación de ondas de luz con la tecnología DWDM. Fuente: Imagen tomado de Irving (2021, párr.3)

Tomando datos de Kim (2023, párr.21), se menciona el proceso de transmisión en las fibras ópticas.

La señal eléctrica ingresa al sistema óptico, el transmisor acepta y convierte la señal eléctrica en óptica (Luz) luego envía la señal modulando la salida de una fuente de luz (ya sea un LED o un láser). La señal viaja a través del núcleo de la fibra de un extremo a otro, por una propiedad conocida como reflexión interna total. La señal óptica al llegar al receptor es convertida de óptico a eléctrico a través del fotodetector. Finalmente, la señal de salida es proceda por enrutador o conmutador de red.

**Figura 10**

*Proceso de transmisión general de las redes de fibra óptica.*



*Nota:* la figura muestra los principales actores (transmisor, medio de transmisión y receptor) en el proceso de transmisión. Fuente: Imagen tomado de Kim (2023)

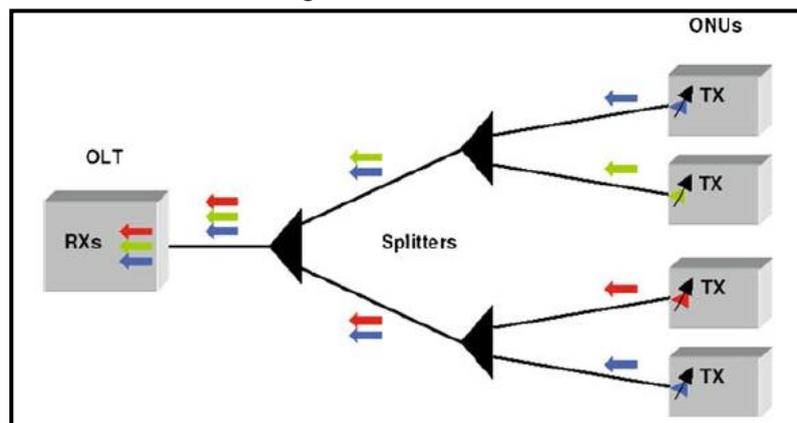
### 2.1.3 Red de acceso con fibra óptica

En la actualidad, el empleo de fibras ópticas en la infraestructura de acceso posibilita la transmisión y recepción de información a velocidades muy elevadas con una degradación de la señal, considerablemente menor en contraste con otros medios de transmisión, como el cobre. Esta ventaja se observa en la capacidad de ancho de banda superior y una calidad de servicio mejorada para los usuarios finales.

**Tecnología PON.** PON es la abreviatura de *Passive Optical Network* (red óptica pasiva) y describe una tecnología de acceso que se basa en una red óptica sin elementos activos (como amplificadores) en la infraestructura de distribución, que va desde la central hasta el usuario final. Esta tecnología se emplea extensamente en las redes FTTH. Bajo la tecnología y arquitectura PON, se han definido diversas variantes o estándares entre las que destacan las siguientes: Red APON, BPON, GPON, EPON y 10GPON (Bijani, 2017, p.161).

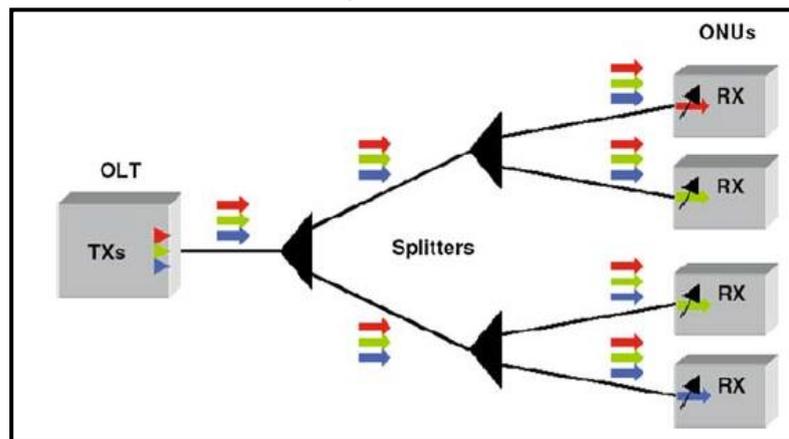
**Figura 11**

*Funcionamiento de la red PON - carga*



*Nota:* la figura muestra la carga de datos desde el abonado hasta la OLT. Fuente: tomado de Prat (2008)

**Figura 12**  
*Funcionamiento de la red PON - descarga*



Nota: la figura muestra la descarga de datos desde el abonado hasta la OLT. Fuente: tomado de Prat (2008)

**A. Redes APON (ATM PON).** Es una red PON que utiliza la tecnología ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) para la transmisión descendente, logrando así una velocidad de transferencia de 622Mbps desde el OLT (que debe distribuirse entre todas las ONU conectadas). Sus especificaciones quedan definidas en la norma ITU-T G.983 (Bijani, 2017, p.163).

**B. Redes BPON (Broadband PON).** Describe una mejora en una red APON diseñada para proporcionar servicios de alta capacidad, que permiten la configuración de velocidades diferentes en los canales ascendentes y descendentes. Esto posibilita obtener velocidades en canal ascendente 155Mbps y 622Mbps y en canal descendente 155Mbps, 622Mbps y 1.25Gbps. Sus especificaciones quedan definidas en la norma ITU-T G.983.x (Bijani, 2017, p.163).

**C. Redes GPON (Gigabit PON).** Son redes PON con velocidades de transferencia de *Gigabit Ethernet*. Así, se puede obtener velocidades en cada canal ascendente 155Mbps, 622Mbps, 1.25Gbps y 2.5Gbps y en canal descendente 1.25Gbps y 2.5Gbps. Sus especificaciones quedan definidas en la norma ITU-T G.984.x (Bijani, 2017, p.164).

**D. Redes EPON (Ethernet PON).** Estas son redes PON que utilizan fibra óptica para establecer redes *Ethernet*, siguiendo así las normativas del estándar 802.3. Su principal beneficio radica en su capacidad para operar con tramas *Ethernet*, lo que resulta en una reducción de costos en su despliegue. Con esta tecnología, se logran velocidades de transmisión en cada canal ascendente 1.25Gbps y canal descendente 1.25Gbps (Bijani, 2017, p.164).

**E. Redes 10GPON (10 Gigabit PON).** Son redes PON que operan a velocidades de transferencia de alrededor de 10Gbps. Son redes más avanzadas capaces de manejar grandes volúmenes de datos. Con esta tecnología, se logran velocidades de transferencia en cada canal ascendente 1.25Gbps o 10Gbps y en canal descendente 10Gbps (Bijani, 2017, p.164).

**Tabla 3**

*Datos relevantes de las tecnologías PON.*

Tecnología	APON	BPON	GPON	EPON	10GPON
Estándar	ITU-T G.983.x	ITU-T G.983.x	ITU-T G.984.x	803.3ah	803.3ah
Velocidad de transmisión (Mbps)	Canal ascendente 155 y 622	Canal ascendente 155 y 622	Canal ascendente 155, 622, 1244, 2488	Canal ascendente 1244	Canal ascendente 1244 y 10000
	Canal descendente 155 y 622	Canal descendente 155, 622 y 1244	Canal descendente 1244 y 2488	Canal descendente 1244	Canal descendente 10000
Tipo de fibra empleada	Monomodo	Monomodo	Monomodo	Monomodo	Monomodo
Máxima distancia entre OLT y ONT	20km	20km	10-20km	10km	20km
Arquitectura de transmisión	Asimétrica o simétrica	Asimétrica o simétrica	Asimétrica o simétrica	Simétrica	Asimétrica o simétrica

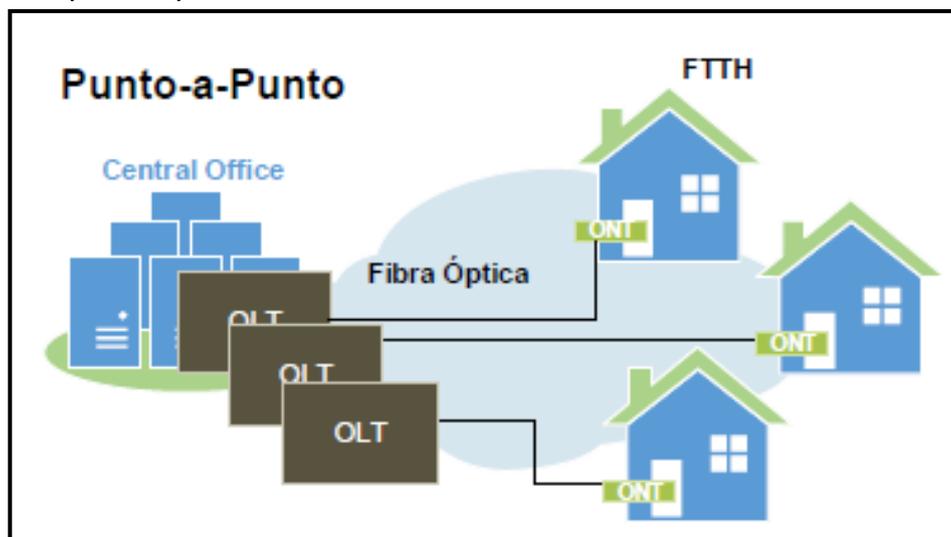
*Nota:* el cuadro muestra una comparativa de los estándares PON. Fuente: adaptado de Bijani (2017)

## 2.1.4 Arquitecturas de redes de fibra óptica

**A. Arquitectura punto a punto.** Se utiliza un medio (la fibra) exclusivamente para una comunicación directa entre la OLT y la ONT. Se emplea especialmente para servicios empresariales como Metro-LAN o Giga-LAN, donde el cliente requiere un ancho de banda considerable de forma exclusiva, junto con servicios adicionales y una alta seguridad en la transferencia de datos (López, 2015, p.24).

**Figura 13**

*Arquitectura punto a punto*

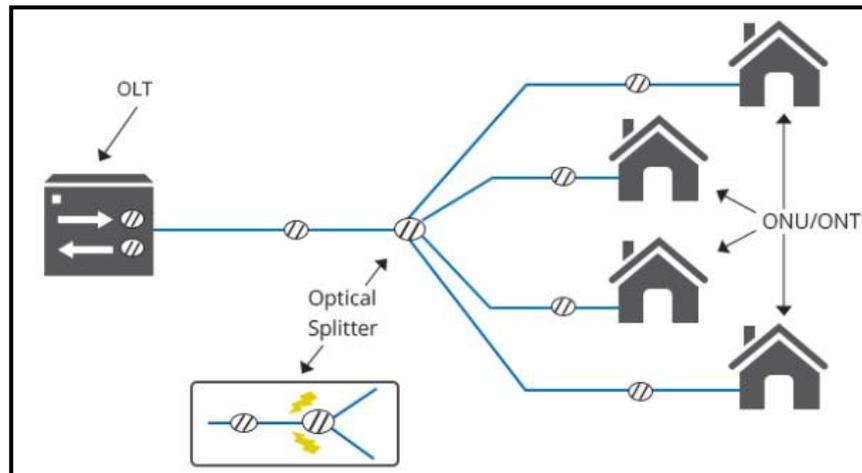


*Nota:* la figura muestra el acceso punto a punto desde la OLT hasta la ONT. Fuente: tomado de López (2015)

**B. Arquitectura punto a multipunto.** Es una característica destacada de una red óptica pasiva, donde una sola fibra óptica se emplea para atender a varios puntos finales. En una PON, no es necesario desplegar fibras individuales entre el OLT y cada ONT, lo que resulta en una significativa reducción tanto en la cantidad de fibra como en los equipos necesarios en la oficina central, en comparación con las arquitecturas punto a punto (Irving, 2020, párr.9).

**Figura 14**

*Arquitectura punto a multipunto*

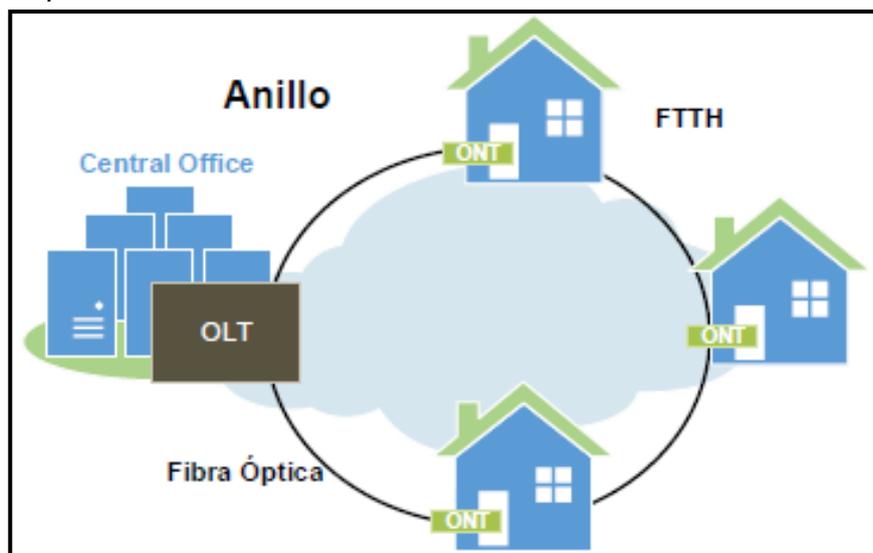


*Nota:* la figura muestra el acceso punto a multipunto desde la OLT hasta las ONT. Fuente: tomado de Irving (2020)

**C. Arquitectura tipo anillo.** Se emplea principalmente en redes metropolitanas debido a su capacidad para resistir fallos con un mínimo de enlaces; ya que existen dos rutas para llegar a la OLT, es factible establecer y mantener la comunicación incluso si hay un corte en una fibra Prat (2008, p.28).

**Figura 15**

*Arquitectura tipo anillo*

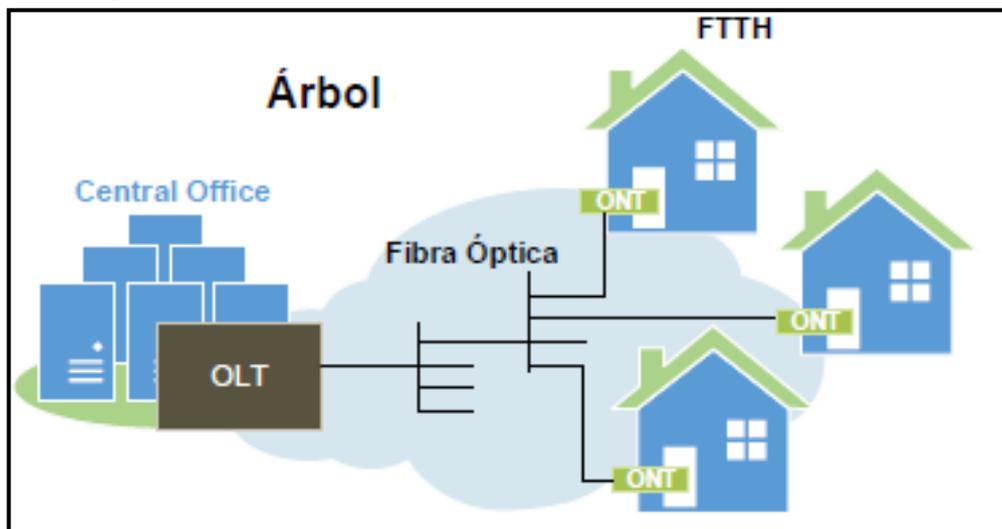


*Nota:* la figura muestra el acceso tipo anillo desde la OLT hasta las ONT. Fuente: tomado de López (2015)

**D. Arquitectura tipo árbol.** Esta es la arquitectura empleada por la tecnología GPON. Se trata de una configuración punto-multipunto donde una OLT es compartida por múltiples ONT, similar a la estructura de un árbol con un tronco (la fibra que sale de la OLT) y ramas (las bifurcaciones de fibra que van hacia las ONT). Debido a la necesidad de compartir el medio entre varios clientes, la red óptica cuenta con dos niveles de división (*splitter* de 1er nivel y 2do nivel), de donde se originan las bifurcaciones de fibra (López, 2015, p.24).

**Figura 16**

*Arquitectura tipo árbol*

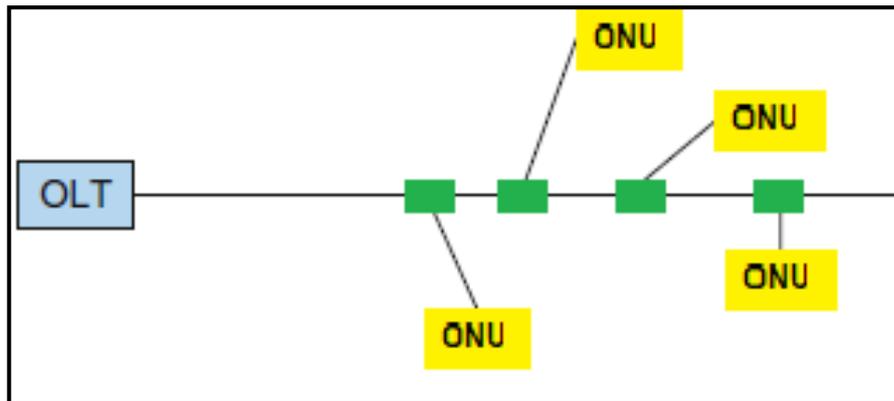


*Nota:* la figura muestra el acceso tipo árbol desde la OLT hasta las ONT. Fuente: tomado de López (2015)

**E. Arquitectura tipo bus.** Esta topología también utiliza una sola fibra de la OLT, por lo que surgen los mismos problemas al igual que la topología de árbol en caso de falla y capacidad/utilización en el peor de los casos que para la topología de árbol. Las ventajas de esta topología son que utiliza una cantidad mínima de fibra óptica (si las ONU están conectadas directamente al acoplador de derivación) y permite implementaciones flexibles, ya que se pueden conectar nuevas ONU a la red muy fácilmente agregando más acopladores (Prat, 2008, p.28).

**Figura 17**

*Topología tipo bus.*



*Nota:* la figura muestra el acceso tipo bus desde la OLT hasta las ONT. Fuente: adaptado de Prat (2008)

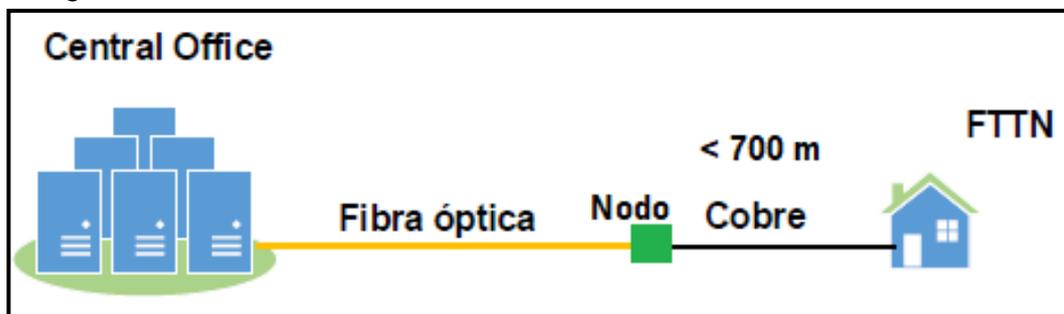
### **2.1.5 Tecnologías FTTx**

El termino FTTx (*fiber to the x*) es empleado para referirse a las distintas tecnologías que usan fibras ópticas para llegar hasta los abonados. A continuación, mencionamos las variantes principales de la tecnología FTTx.

**A. Tecnología FTTN.** FTTN (*Fiber to the Node*) se refiere a la implementación de fibra óptica desde la central principal del proveedor hasta un nodo intermedio, que puede ser una central secundaria. Esta disposición es frecuente en áreas donde aún no es factible una cobertura total de FTTH (Galicia Telecom, 2023, párr.5).

**Figura 18**

*Tecnología FTTN.*

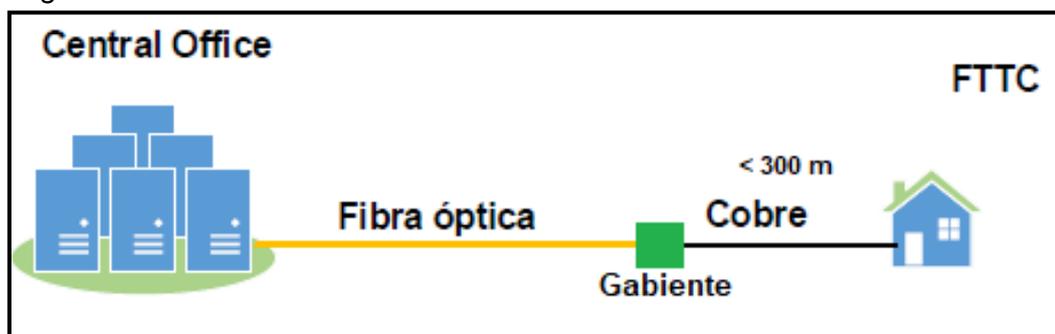


*Nota:* la figura muestra la red FTTN hasta un nodo que está a 700m del cliente. Fuente: adaptado de López (2015)

**B. Tecnología FTTC.** FTTC (*Fiber to the Cabinet*) implica extender la conexión de fibra óptica hasta un gabinete o nodo cercano a los abonados. A partir de ese punto, la conexión al usuario final se efectúa mediante cables de cobre ya existentes. Este diseño proporciona un equilibrio entre costo y rendimiento, incrementando notablemente las velocidades de conexión en contraste con las redes completamente basadas en cobre, aunque no alcanza niveles máximos teóricos de conexión FTTH (Galicia Telecom, 2023).

**Figura 19**

*Tecnología FTTC.*

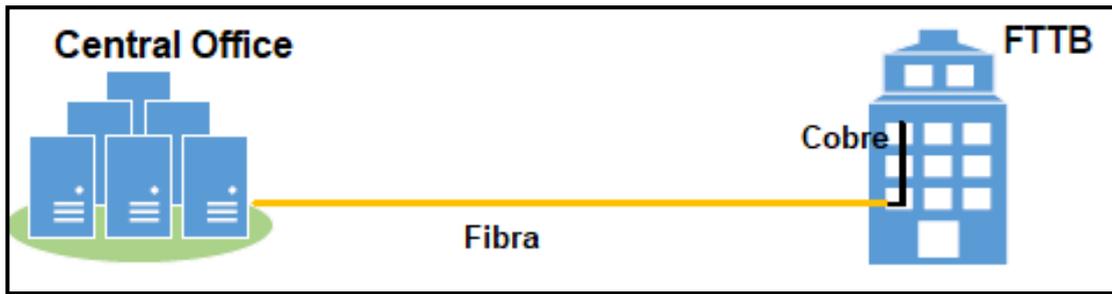


*Nota:* la figura muestra la red FTTC hasta un gabinete que está a 300m del cliente. Fuente: adaptado de López (2015)

**C. Tecnología FTTB.** FTTB (*Fiber to the Building*) se refiere a la disposición que lleva la fibra óptica hasta la estructura del edificio. Esta configuración es habitual en áreas urbanas, edificios de oficinas y complejos de gran tamaño. La fibra se extiende hasta un punto central dentro de las instalaciones del edificio, desde donde se distribuye a las unidades individuales mediante la infraestructura existente como *Ethernet*, cable telefónico o coaxial. FTTB representa una solución eficaz para proporcionar conectividad de alta velocidad a múltiples usuarios dentro de un mismo edificio (Galicia Telecom, 2023).

**Figura 20**

*Tecnología FTTB.*

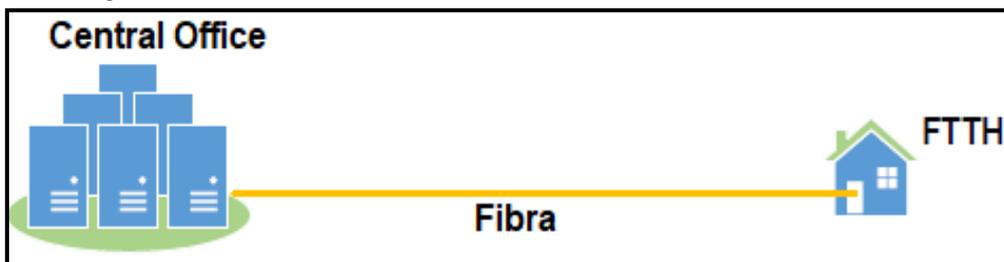


*Nota:* la figura muestra la red FTTB hasta el interior de las instalaciones del edificio. Fuente: adaptado de López (2015)

**D. Tecnología FTTH.** FTTH (*Fiber to the Home*) representa el máximo estándar en términos de conectividad mediante fibra óptica. En esta disposición, la fibra se lleva directamente hasta la vivienda del usuario, ofreciendo velocidades de conexión sin igual y una calidad de señal excepcional. Es especialmente adecuada para actividades de internet intensivas como el *streaming* en alta definición, juegos en línea y el teletrabajo, que transforman por completo la experiencia de internet en el hogar. Esta forma de conexión es esencial para satisfacer la creciente demanda de datos y servicios en la era digital (Galicia Telecom, 2023).

**Figura 21**

*Tecnología FTTH.*



*Nota:* la figura muestra la red FTTH hasta el hogar. Fuente: adaptado de López (2015)

## 2.2 Marco conceptual

En el marco conceptual, se detalla el funcionamiento general de una red FTTH balanceada con estándar GPON, especificaciones técnicas principales y utilidad de los equipos e instrumentos usados en la implementación de la red FTTH balanceada.

### 2.2.1 Funcionamiento general de la red FTTH con el estándar GPON

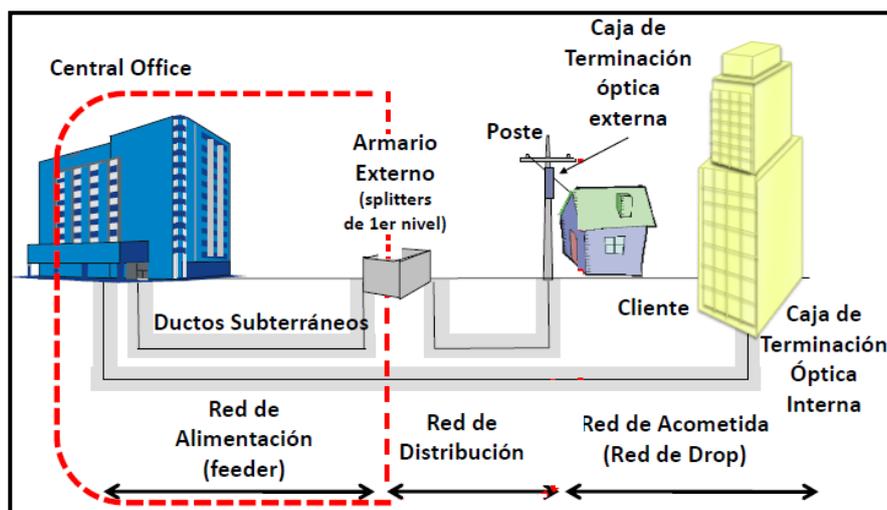
Las redes GPON se constituyen de una variedad de dispositivos que facilitan la conexión a la red y a Internet a través de fibra óptica (De Luz, 2023, párr.5). A continuación, se detallan las partes de redes de FTTH y los equipos utilizados en las redes GPON.

#### 2.2.1.1 Red de alimentación

Conocida como red de troncal o *feeder*, constituye el tramo inicial de la red de acceso. Se inicia en las fibras individuales o grupos de fibras que parten de distintas OLT y llegan al primer *splitter*: "*splitter* de primer nivel". Estos conjuntos de fibras son transportados a través de cables de diversos calibres hacia distintos destinos, utilizando conductos subterráneos, en algunos casos aéreos para su despliegue (López, 2015, p.30).

**Figura 22**

*Red de alimentación de FTTH.*



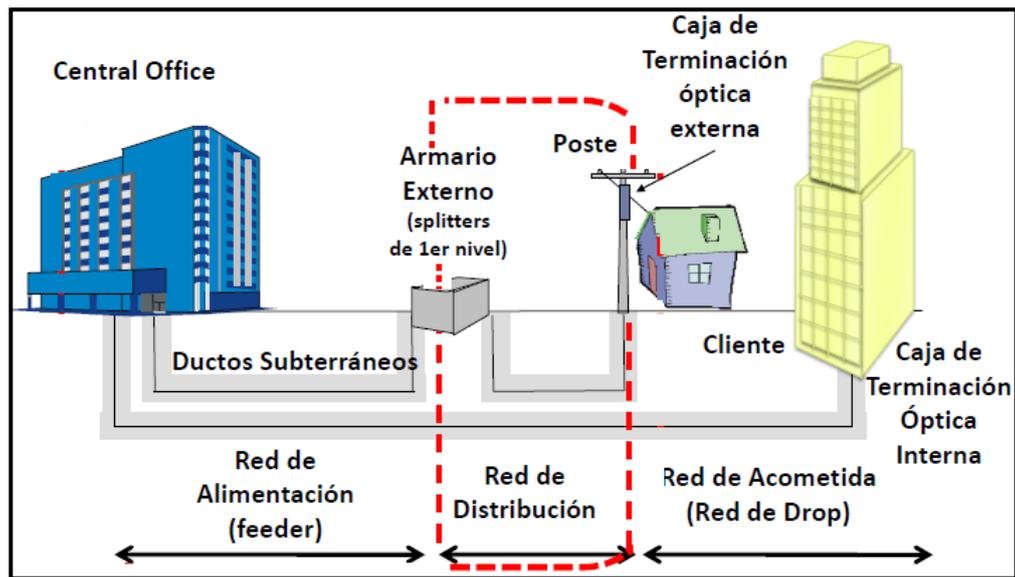
*Nota:* la figura muestra la red de alimentación de FTTH. Fuente: adaptado de López (2015)

### 2.2.1.2 Red de distribución óptica (ODN)

Su función consiste en dispersar la fibra desde el primer splitter hacia diversos puntos de la red, hasta alcanzar el segundo splitter, que suele ubicarse dentro de una caja de terminación óptica (CTO). La mayor parte de esta distribución se realiza a través de conductos subterráneos, en algunos casos de forma aérea (López, 2015, p.30).

**Figura 23**

*Red de distribución de FTTH.*



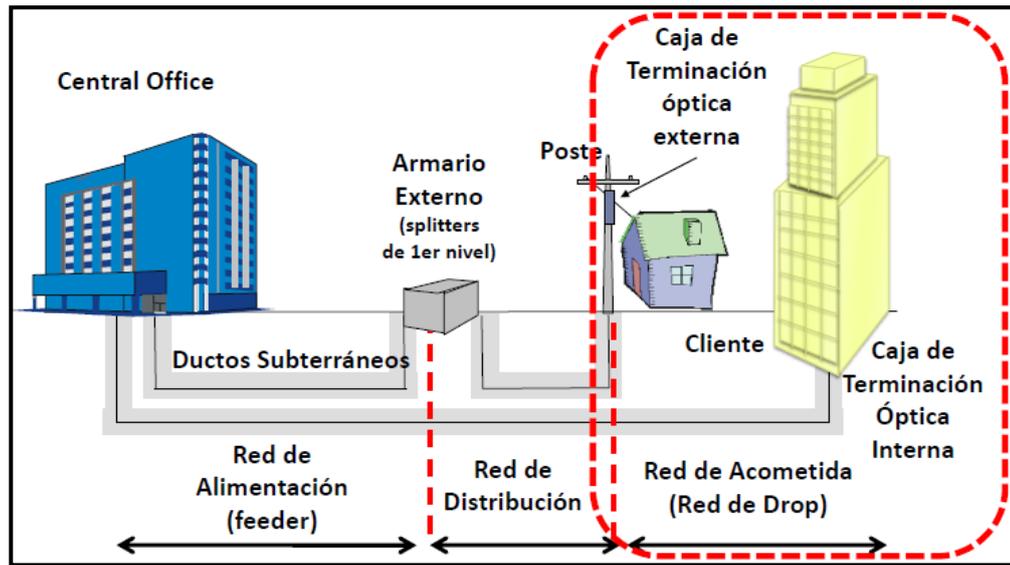
*Nota:* la figura muestra la red de distribución de FTTH. Fuente: adaptado de López (2015)

### 2.2.1.3 Red de acometida

La última sección de la red de acceso, comúnmente conocida como la red de *Drop*, implica llevar la fibra óptica desde la Caja de Terminación Óptica (donde se encuentra el segundo *splitter*) hasta la residencia del cliente. Hay dos formas de llegar al cliente: vía aérea, generalmente desde un poste hasta el domicilio del cliente y por ducto, generalmente de una cámara hasta el domicilio del cliente (López, 2015, p.32).

**Figura 24**

*Red de acometida de FTTH.*



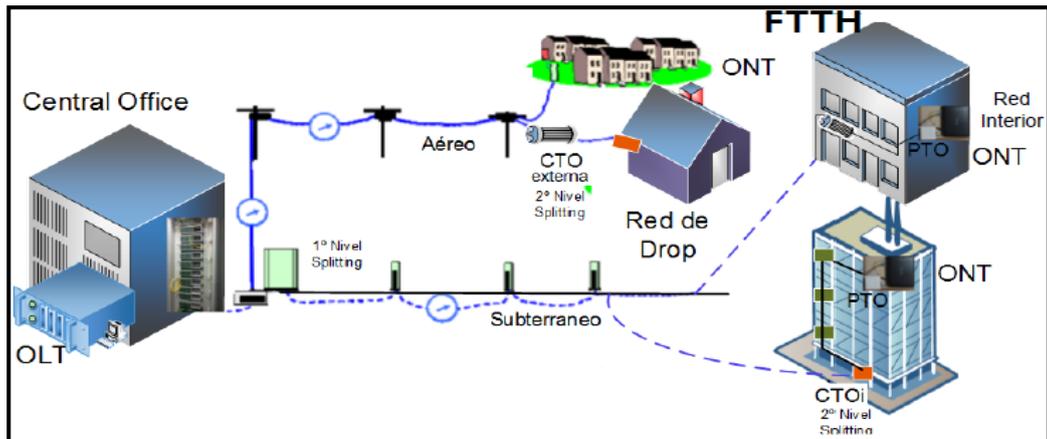
*Nota:* la figura muestra la red de acometida de FTTH. Fuente: adaptado de López (2015)

#### **2.2.1.4 Funcionamiento de la red FTTH con estándar GPON**

Inicialmente la OLT (terminal de línea óptica) se conecta al ODF (distribuidor de fibra óptica), este lleva la señal hacia las troncales. Luego, las señales son transmitidas a través de la fibra óptica hasta llegar al *splitter* balanceado de primer nivel (generalmente ubicado en un poste o una cámara subterránea). En seguida, el *splitter* divide la potencia de la señal en proporciones iguales. La señal continúa el flujo hasta llegar al *splitter* balanceado de segundo nivel (para nuestro proyecto el *splitter* de segundo nivel generalmente estará ubicado en el interior de las instalaciones de los usuarios dentro de las cajas de telecomunicaciones o adosadas a la pared). La señal óptica es dividida nuevamente en proporciones iguales y es transmitida a través de un cable *drop* hasta un PTO (punto terminal óptico) o Roseta. Finalmente, la señal llega a la ONT (terminal de red óptica) a través de un *patch cord*.

**Figura 25**

*Funcionamiento de la red FTTH*



*Nota:* la figura muestra los componentes principales (OLT, splitter, fibras, roseta y ONT) para el funcionamiento de red de FTTH. Fuente: adaptado de López (2015)

### **2.2.2 Equipos usados en el diseño e implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON**

A continuación, se mencionan los instrumentos y equipos usados en este proyecto, su funcionamiento y especificaciones técnicas generales.

**OLT (terminal de línea óptica).** Equipo terminal de red, se encuentra ubicado dentro de la central de los proveedores. Se encarga de procesar los datos provenientes de la ONT. Usa módulos SFP clase C+ tiene la capacidad de transmisión de 2.5 Gbps y recepción 1.25 Gbps, generalmente usa la longitud de onda de 1490/1550 nm para transmitir y 1310 nm para recibir.

**Figura 26**

*OLT ZTE ZX10 C320.*



*Nota:* se muestra la OLT modelo ZTE C320 de la marca ZTE. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Tabla 4**

*Características de OLT modelo ZTE C320*

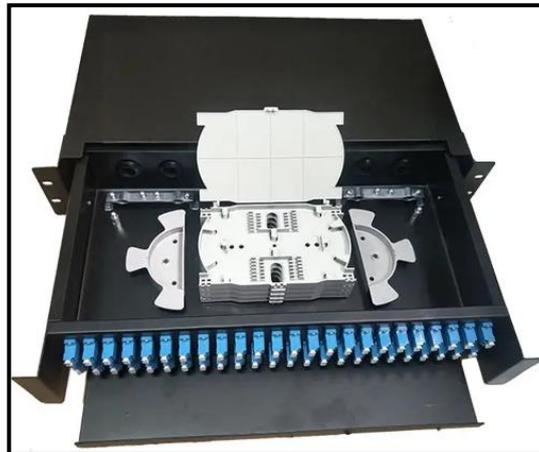
Características	
Modelo	ZXA10 C320
Número máximo de suscriptores GPON	4096
Fuerza	-48 V (corriente continua), 230V (C.A.)
Temperatura y humedad de trabajo.	-25°C – +55°C, 5% – 95%
Proporción de división	hasta 1:128
Rango	20-60 kilómetros
Atenuación máxima	SFP B+ 28 dB, SFP C+ 32 dB
Dimensiones	86.1 milímetros (altura) X 482.6 milímetros (ancho) X 270 milímetros (profundidad)
Fuente de alimentación	CC doble: 48V/60 VCA: 100V~240V

*Nota:* se muestran las características de OLT C320. Fuente: adaptado de YCICT (2011)

**ODF (distribuidor de fibra óptica).** Se encarga de la interconexión entre el OLT y la red troncal a través de un *patch cord* (conexión por conectores entre ODF y OLT) y empalme óptico (ODF y red troncal). De esta forma se logra proteger a los equipos activos.

**Figura 27**

*SNT-ODF de 24 puertos*

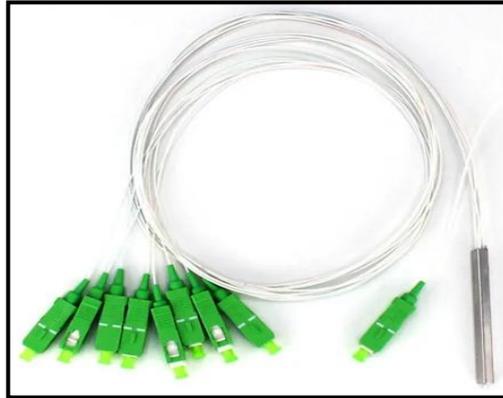


*Nota:* la figura muestra el ODF de la marca SUNET/OEM. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Splitter.** La función principal de este dispositivo es dividir la señal óptica proveniente de la OLT, que van dirigidos hacia la ONT. Para este proyecto, se usarán 2 *splitter* balanceados de 1x8. Los *splitter* de primer nivel serán sin conectores en ambos extremos (terminados en punta, figura 29) y los *splitter* de segundo nivel serán conectorizados (con conectores en los extremos, figura 28).

**Figura 28**

*Splitter balanceado 1x8*



*Nota:* la figura muestra el splitter SC/APC balanceado 1x8 tipo conectorizado. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Figura 29**

*Splitter balanceado 1x8 sin conector*



*Nota:* la figura muestra el *splitter* balanceado 1x8 sin conector usado para el splitter de primer nivel. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Tabla 5**

*Características de splitter 1x8*

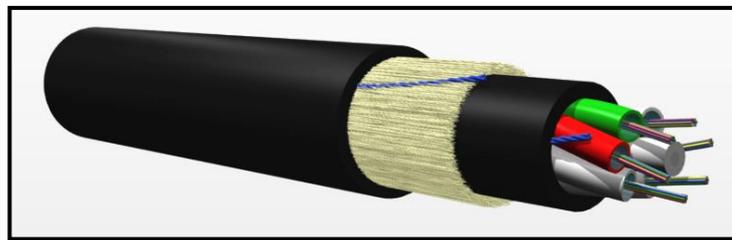
<b>Características</b>	<b>Conectorizado</b>	<b>Sin conector</b>
Longitud de onda	1260 a 1650 nm	1260 a 1650 nm
Fibra óptica	G.657.A1 – Monomodo	G.657.A1 – Monomodo
Pérdida de inserción	10,5 dB	10,5 dB
Temperatura de operación	-5 °C a 75 °C	-25 °C a 75 °C
Dimensiones de los cables	Entrada: 1.5 m	Entrada: 2 m
	Salida: 0.6 m	Salida: 2 m
	Diámetro de los cables: 0.9 mm	Diámetro de los cables: 0.25 mm

*Nota:* se muestran las características de los *splitter* con y sin conector. Fuente: adaptado de intelbras (2022)

**Cable.** El cable de fibra óptica es el medio por donde se transporta la información. En este proyecto, se usará el cable ADSS (cable óptico autosoportante totalmente dieléctrico, PKP - protector de cable de polietileno) desde la alimentación hasta los *splitter*, el cable *riser* en el interior de las instalaciones del centro comercial, cable *drop* que conectará los CTO (interno - externo) con la roseta y cable *patch cord* para conectar el OLT – ODF y roseta - ONT.

**Figura 30**

*Cable de fibra óptica monomodo ADSS (PKP)*



*Nota:* se muestra el cable dieléctrico con PKP doble chaqueta, usadas en planta externa. Fuente: tomado de OPTRAL (2022)

**Figura 31**

*Cable de fibra óptica monomodo riser*



*Nota:* Figura muestra el cable *riser*, usadas en estructuras verticales. Fuente: tomado de Cablecel (2023)

**Tabla 6**

*Características del cable PKP y riser*

Características	ADSS (PKP)	Riser
Fibra óptica	G652D – Monomodo	G.657 A2 – Monomodo
Coefficiente de atenuación	Máxima a 1310 nm: 0,37 dB/km Máxima a 1550 nm: 0,30 dB/km	Máxima a 1310 nm: 0,37 dB/km Máxima a 1550 nm: 0,24 dB/km

*Nota:* muestra las características básicas de los cables PKP y riser. Fuente: adaptado de Cablescom (2015)

**Figura 32**

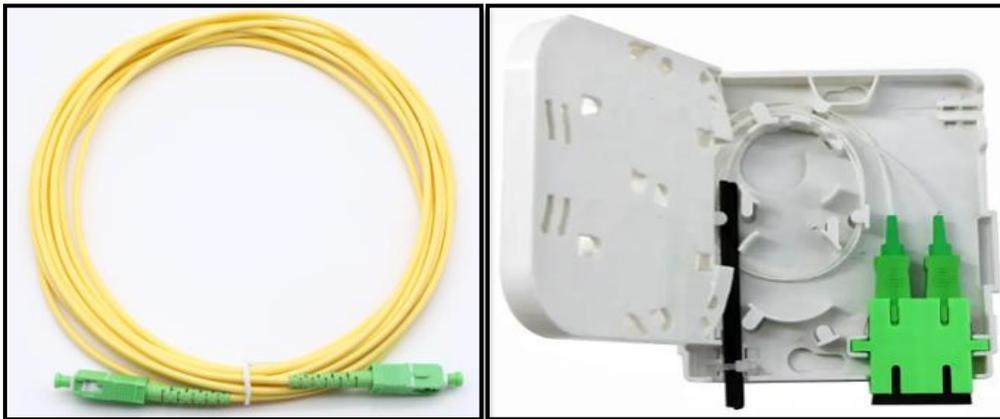
*Cable de fibra óptica Drop*



*Nota:* se muestra el cable *drop*, usadas para la conexión entre la planta externa y el ONT. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Figura 33**

*Cable de fibra patch cord, roseta y enfrentador*



*Nota:* Figura muestra el cable patch cord, roseta y enfrentador usadas para la conexión entre la planta externa y el ONT, del mismo modo se muestra la roseta o PTO. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Tabla 7**

*Características del cable drop, patch cord y enfrentador*

Características	Drop	Patch cord	Enfrentador
Fibra óptica	Monomodo G657A2	G657A2 Monomodo	Monomodo
Coefficiente de atenuación	Máxima a 1310 nm: 0,35 dB/km Máxima a 1550 nm: 0,21 dB/km	IL (perdida inserción): ≤ 0.3 dB	IL (pérdida inserción): ≤ 0.2 dB
Color	Negro	Amarillo	Verde
Chaqueta	LSZH	LSZH	

*Nota:* Cuadro muestra las características básicas de los cables drop, patch cord y enfrentador. Fuente: adaptado de SuperFiber (2024)

**ONT.** El terminal de red óptica es el último equipo de uno de los extremos de la red FTTH ubicado dentro de las instalaciones del centro comercial. Básicamente, recibe la señal óptica proveniente del OLT, la convierte en eléctrica y facilita el acceso a Internet.

**Figura 34**

*Router - ONT*



*Nota:* Figura muestra la ONT, este se ubica dentro de los domicilios de los abonados y hace función de un router. Fuente: tomado de Alibaba (2020)

**Tabla 8**

*Características del ONT*

<b>Características</b>	<b>ONT</b>
Modelo	G-0425G-C
Longitud de onda	1490 nm descarga, 1310 nm carga
Velocidad de línea	2.488 Gbps descarga, 1.244 Gbps carga
Potencia transmisión	De 0.5 a 5 dBm
Potencia recepción	De -27 dBm (sensibilidad) a -8 dBm
Doble banda de trabajo	2,4 GHz y 5 GHz

*Nota:* se muestra las características básicas del ONT. Fuente: adaptado de WDC Networks (2022)

**CTO.** Caja de Terminación Óptica, sirven para almacenar los *splitter*. Puede ser CTO interno en caso se ubica en el interior del abonado o CTO externo en caso se ubique fuera de las instalaciones del abonado.

**Figura 35**

*CTOs (Caja terminal óptico) interno y externo*



*Nota:* se muestra CTO interno y cable riser (izquierda) y CTO externo (derecha), acá se alojan los *splitter* de segundo nivel.

**CEO.** Caja de empalme Óptica, sirven para almacenar los empalmes de fibras y en algunos casos almacenan los *splitter*.

**Figura 36**

*Caja de empalme óptico*



*Nota:* se muestra la caja de empalme, esta almacena los empalmes y *splitter*.

**Power meter.** Este dispositivo sirve para certificar la calidad de señal óptica a través de las mediciones de potencia óptica de transmisión y recepción en una red FTTH. Las mediciones normalmente se realizan E2E (extremo a extremo)

**Figura 37**

*Power meter*



*Nota:* se muestra la medición de potencia de la red óptica.

**Fusionadora de fibra óptica.** Es usado para fusionar los hilos de fibras ópticas.

**Figura 38**

*Fusionadora de fibra óptica*



*Nota:* se muestra la fusión de dos hilos de fibra óptica.

**OTDR.** El Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo es un dispositivo muy importante que nos permite principalmente la certificación y resolución de averías en las redes FTTH.

**Figura 39**

*OTDR de la marca EXFO*



*Nota:* se muestra la medición reflectométrica con el OTDR de una red óptica.

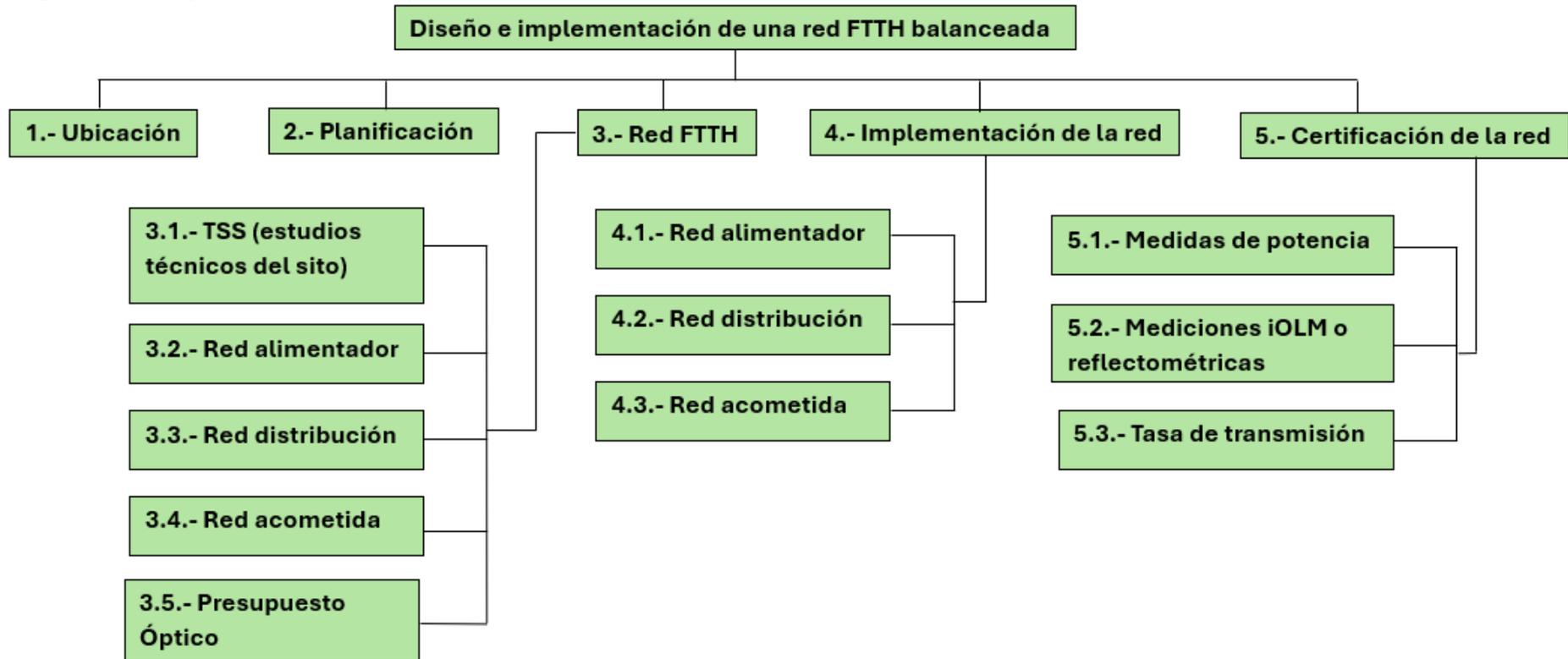
**AutoCAD.** Software de diseño el cual usaremos para los dibujos de los planos de nuestro proyecto.

### **Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación**

En este capítulo, se desarrolla el diseño e implementación de una red FTTH balanceada con estándar GPON para un centro comercial de un distrito de la ciudad de Lima. También se indica el perfil, planos y rutas del despliegue de la fibra, la ingeniería utilizada, detalles técnicos durante la implementación, certificación de la red, cálculo de atenuación, potencia de recepción y la velocidad de carga y descarga. Seguidamente, se muestra la figura 40 con más detalles.

**Figura 40**

*Diagrama de bloques del diseño e implementación de la red FTTH balanceada*



A continuación, se procede a describir, con más detalle, los procedimientos mostrados en el diagrama mencionado líneas arriba.

Para el desarrollo del diseño y ejecución de la implementación de nuestro trabajo de investigación, iniciaremos con la ubicación del lugar donde se implementará la red FTTH balanceada. El sitio es un centro comercial ubicado en la avenida Aviación 5095 en el distrito de Santiago de Surco, una zona urbana y muy concurrida.

El centro comercial cuenta con 220 abonados. De ellos, se dará cobertura al 65% del abonado total. Esto es debido a un estudio comercial y políticas de cobertura del proveedor de internet. Normalmente, cuando el edificio es nuevo (construido recientemente y no cuenta con servicio de internet), la cobertura es al 80%, caso contrario será al 65%. También, se debe considerar que hay otros operadores quienes desplegarán sus fibras y que no todos los abonados optarán por el servicio de internet ofrecido por nuestra red a implementar.

La red FTTH (*fiber to the home* o fibra óptica hasta el hogar) es una tecnología moderna que permite la conexión a internet de alta velocidad usando fibras ópticas. Esta tecnología viene siendo implementada en muchos lugares del mundo, básicamente con el estándar GPON (red óptica pasiva gigabit) cuyas características principales son transmisión de datos a 2.5 Gbps y recepción de datos a 1.25 Gbps, alcance de 20 Km y los puertos PON (red óptica pasiva) del equipo OLT (terminal de línea óptica) pueden dar cobertura hasta 128 abonados; sin embargo, en la práctica se implementa para dar cobertura a 64 abonados. Para este proyecto, los puertos PON del OLT están proyectados para dar cobertura a menos de 64 abonados con la finalidad de no saturar la red y dar la mejor experiencia de servicio de internet a los abonados. Además, la red GPON tiene tres partes importantes que son la red alimentadora, red de distribución y red de acometida; también cuenta con varias topologías. En este proyecto se considera la topología punto multipunto, significa en un único puerto del OLT se conecta a muchos abonados a través de divisores ópticos (*splitter*). Adicionalmente, debido a que el centro comercial está ubicado en una zona urbana densamente poblada (los abonados están relativamente cerca unos a los

otros), se tiene la necesidad de usar *splitter* balanceados en todos los niveles. Por ello, el nombre de red FTTH balanceada.

Para el diseño de esta red FTTH balanceada, se inicia con un estudio técnico del sitio (TSS) que consiste en una visita al centro comercial para verificar la infraestructura interna del sitio. Se verifica la ductería interna, por donde pasarán los cables de fibra óptica, asegurando que no existan obstrucciones en el canalizado, los montantes (lugar donde se almacenan los equipos de telecomunicaciones), el tipo de acceso de la fibra desde la calle o exterior hacia el centro comercial ya sea aérea (normalmente por la azotea) o subterránea, y los posibles lugares donde se podría ubicar nuestros equipos (básicamente las cajas de empalme y las cajas terminales ópticas o CTO). También, se validan las rutas posibles por donde el cable de fibra óptica recorrería desde el exterior. Esta puede ser aérea (a través de postes) o subterránea (a través de ductos subterráneos y cámaras o buzones de telecomunicaciones) hasta las instalaciones del centro comercial. Asimismo, se determina el tipo y cantidad (en metros) de cable de fibra óptica a usar en la implementación, la cantidad de *splitter* 1x8 balanceado (divisor óptico que tiene una entrada y 8 salidas, se encarga de dividir la potencia de la señal entrante en proporciones iguales en la salida, por ello la palabra balanceada), la cantidad de CTO (cajas internas y externas que contienen *splitter* 1x8 balanceado) a usar y demás requerimientos en caso fuera necesario. Finalmente, se procede con el esbozo a mano alzada del diseño de la red con todos los detalles obtenidos en la visita al sitio, para luego plasmarlo en AutoCAD (software que se utiliza para dibujar y hacer los planos de manera profesional).

Seguidamente, se pasa al diseño de la red alimentadora que va desde el puerto del OLT, ubicado en la central del proveedor de internet, hasta el *splitter* 1x8 de primer nivel (primera división de la potencia óptica), por lo general ubicado en la caja óptica de empalme (CEO) en planta externa (en cámaras subterráneas o postes de telecomunicaciones). Para este proyecto, esta red ya está desplegada con una fibra ADSS monomodo (cable óptico autosoportante totalmente dieléctrico) de 256 hilos. Solo se tomarán 3 hilos de fibra,

llamados hilos troncales, los cuales se reflejan o llegan hasta un buzón de telecomunicaciones cercano al centro comercial.

Se continua con el diseño de la red de distribución que abarca desde el *splitter* de primer nivel, ubicado en un buzón de telecomunicaciones a las afueras del centro comercial, hasta el *splitter* de segundo nivel (segunda división de la potencia óptica), ubicado en la caja óptica interna o externa (CTO) en las instalaciones del centro comercial. En el buzón o cámara CR-34 de telecomunicaciones se almacena una caja óptica de empalme (CEO). Esta, a su vez, almacena a los *splitter* de primer nivel. En este proyecto, se instalarán 3 *splitter* 1x8 de primer nivel. El despliegue se realizará usando cable PKP (protector de cable de polietileno) de 32 hilos y *riser* monomodo de 16 hilos para la parte interna.

Finalmente, el diseño de la red de acometida se realizará usando cables *drop* de un solo núcleo que va desde los CTO hasta una roseta (caja de paso) donde se conectará al ONT a través de un cable denominado *patch cord*.

Asimismo, se debe tener presente las pérdidas de potencias y el presupuesto óptico de la red. Las pérdidas de potencia se dan, principalmente, debido a los empalmes de las fibras, uso de conectores, atenuación de los *splitter* y atenuación del cable de fibra a medida que se incrementa la distancia de despliegue. Para el cálculo del presupuesto óptico, se realiza la diferencia de la potencia mínima de transmisión menos la sensibilidad del receptor o mínima potencia de recepción del receptor. Respetando los valores que se obtenga, se garantiza el correcto desempeño y funcionamiento de la red por ende la certificación exitosa bajo el estándar GPON.

Seguidamente, se pasa a la implementación de la red, se inicia por la red alimentadora. Como se mencionó, en el diseño, esta red ya está implementada. Se tomarán los 3 hilos (fibra 209, 210 y 211) asignados para nuestro proyecto, que se conectarán desde los puertos de la OLT hacia un ODF (distribuidor de fibra óptica) a través de un cable denominado *patch cord*. Luego, desde la salida del ODF, se conectarán mediante empalmes a los hilos troncales (cable ADSS de 256 hilos). Estos tres hilos serán

reflejados hasta la cámara subterránea CR-31, donde ya están empalmados con una fibra ADSS de 32 hilos y, finalmente, se reflejan hasta la cámara subterránea CR-34 el cual se fusionarán a los *splitter* de primer nivel.

El despliegue real se ejecutará en la implementación de la red de distribución. Antes de iniciar con los trabajos en campo, el supervisor a cargo o el jefe de cuadrilla debe realizar una charla de seguridad de 5 minutos. Terminada la charla, se procede con el llenado del ATS (análisis de trabajo seguro). En esta sección se evalúa e identifica los posibles riesgos que podrían pasar durante la actividad a ejecutar y tomar las medidas correspondientes con la finalidad de evitar inconvenientes que se pueden suscitar. Del mismo modo, el supervisor o jefe de cuadrilla hace una revisión de los EPP (equipo de protección personal) de los trabajadores, que constan de equipos o prendas como cascos, guantes, calzado de seguridad, gafas de seguridad etc., también se cerca el área de trabajo con los equipos de señalización correspondiente para evitar algún tipo de accidente. Cabe mencionar que todos los trabajadores deben contar con un SCTR (seguro complementario de trabajo de riesgo) vigente.

La actividad se iniciará con el despliegue de la fibra PKP de 32 hilos desde la cámara CR-34 recorrerá un tramo subterráneo hasta llegar a un poste de telecomunicaciones, luego saldrá a la superficie por un sifón (tubo de PVC “policloruro de vinilo” que conecta la parte subterránea y la superficie del poste) hasta la parte superior del poste. Desde este punto, el cable irá de forma aérea hasta el centro comercial. En la cámara CR-34 se instalarán 3 *splitter* 1x8 balanceados de primer nivel, la entrada del *splitter* D03 se empalmará al hilo 209 y las 8 salidas de este *splitter* se empalmarán a los hilos del cable PKP de 32 hilos. De forma similar, se procederá con el *splitter* D04, la entrada se empalmará con el hilo 210 y las salidas con los hilos del cable PKP. La entrada del *splitter* D05 se empalmará con la fibra 211 y solo 4 salidas se empalmarán a los hilos del cable PKP, dejando disponible las otras salidas para futuras ampliaciones o para otros proyectos. Los tres *splitter* 1x8 balanceados serán almacenados en la caja de empalme ubicado dentro de la cámara CR-34. El acceso del cable PKP de 32 hilos hacia el centro

comercial será de forma aérea (ingresará por la azotea). En este lugar, se instalarán 2 cajas externas o denominado CTO externo adosados a la pared de la azotea. Cada CTO interno o externo, para nuestro proyecto, viene de fábrica con un *splitter* 1x8; por lo tanto, se tendrán 8 puertos disponibles, adicionalmente se instalarán un *splitter* 1x8 conectorizados a cada una, de manera que cada CTO externo tendrá la capacidad de dar cobertura a 16 abonados. Las cajas externas en la azotea estarán seguras; ya que están fabricadas de un material resistente al sol, humedad, rayaduras y otros fenómenos atmosféricos. El cable PKP continuará hasta una caja de empalme ubicado en el tercer piso del centro comercial, en este punto se empalmarán 16 hilos del cable PKP a un cable riser de 16 hilos. Estos empalmes son necesarios; ya que el cable PKP es robusto, diseñado para planta externa (cableado aéreo y ductos subterráneos). Por el contrario, el cable *riser* es más flexible, diseñado para canalizaciones internas y, especialmente, para estructuras verticales. En el tercer y segundo piso, se instalarán, en total, 16 cajas internas o CTO internos en cascada o secuencialmente a través del cable *riser*. Cada CTO interno cuenta con un *splitter* 1x8 y estarán almacenados en los montantes (espacio ubicado en la pared que sirve para almacenar distintos equipos de telecomunicaciones) del centro comercial. Se usa CTO internos debido a que estarán ubicadas en un lugar seguro dentro de los montantes, exentos del sol, lluvia, rayaduras etc.

La implementación de la red de acometida inicia desde los puertos de salida de los CTO internos o externos hasta las instalaciones internas de los abonados a través de cables, denominados *drops*, de distintas longitudes que varían entre 25 a 40 m. El cable *drop* sale del puerto del CTO, llega hasta una roseta (caja de paso), donde se conectará al cable *patch cord*, y este a su vez se conectará al ONT (terminal de red óptica). El ONT es el encargado de transformar la señal óptica en eléctrica y viceversa, también hace la función de *router*. El uso de la roseta es por temas de seguridad y protección del cable *drop*. El alta o activación de los ONT se irá dando paulatinamente y de acuerdo con la necesidad de los abonados.

Una vez culminado el despliegue de la red, se dejan asegurados y ordenados los cables y equipos instalados, se limpian los residuos de cables u otros materiales que pudieron haberse generado durante la implementación tanto en el interior y exterior del centro comercial. No está permitido dejar residuos en las calles, no cerrar las cámaras o buzones de telecomunicaciones o no asegurar los cables aéreos, caso contrario se estaría incurriendo en penalidades o multas municipales.

Para la certificación de la red FTTH, se realizarán dos tipos de mediciones haciendo uso de dos instrumentos muy importantes, *power meter* (medidor de potencia) y el OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo). Estas mediciones son denominadas mediciones E2E (extremo a extremo), generalmente se hacen desde el CTO, interno o externo, ubicados en las instalaciones del centro comercial hasta el OLT ubicado en la central del proveedor. El *power meter* nos permite calcular la potencia óptica de transmisión y recepción en un punto específico. Este proyecto se enfoca en la potencia de recepción en los puertos de los CTO, los valores deben estar en los rangos permitidos. La unidad de medida que se maneja para la medición de potencia óptica es dBm (decibelios medidos en referencia a 1 milivatio). Del mismo modo, para la medición de potencia se debe elegir los canales o longitud de onda expresado en nm (nanómetros) por donde se transmitirá la señal o información, se elige la longitud de onda de 1490 nm para datos y 1550 nm para video. Antes de hacer las mediciones, se debe verificar que los equipos, cables y conectores estén limpios y en perfecto estado para obtener una medición con mayor exactitud. Con el OTDR, se realizan las mediciones reflectométricas o iOLM (mapeador de enlaces ópticos inteligentes), en el cual se verificarán las atenuaciones y la continuidad de la red FTTH. Cabe resaltar que el OTDR es un equipo imprescindible para la certificación de la red. Al igual que el *power meter*, se debe elegir la longitud de onda en la cual se harán las mediciones. Otro aspecto importante es que no importa si hay o no potencia óptica en el cable de fibra para efectuar las mediciones. Se elige la longitud de onda de 1625 nm en caso haya potencia (fibra activa) y las ondas 1310/1550 nm en caso no haya potencia (fibra inactiva). Igualmente, antes de realizar las mediciones se tiene que verificar, los cables,

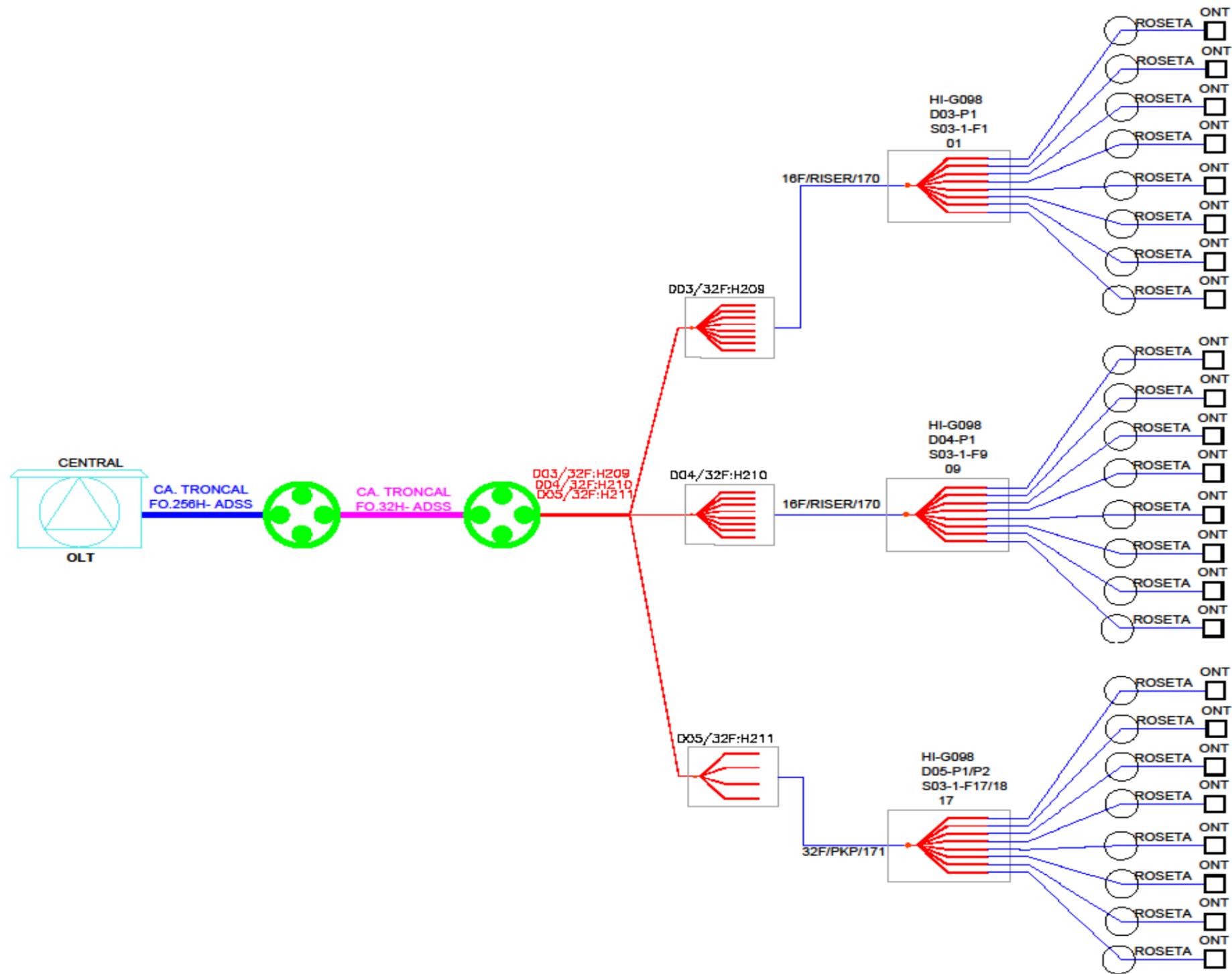
limpiar los conectores y calibrar los equipos para tener una medición más precisa. Adicionalmente, las mediciones siempre se deben hacer en sentido CTO a OLT y no de manera inversa, debido a que la señal al llegar al *splitter* de primer nivel no sabrá por cual puerto salir y arrojará error en la medición. En caso haya altas pérdidas o atenuación a determinadas distancias causados por empalmes, rotura de cables o conectores, se procede con la inmediata solución pertinente hasta lograr una certificación adecuada.

Con las mediciones de potencias y reflectométricas correctamente ejecutadas (en los rangos permitidos), se puede garantizar la certificación exitosa de la red FTTH bajo el estándar GPON. Además, en el alta de servicio de internet para los abonados, se realizan las mediciones de potencias y pruebas de conectividad desde la ONT hacia el OLT. Estas altas se irán dando paulatinamente según la necesidad del cliente.

Finalmente, se procede con el cálculo de la tasa de transmisión de datos por abonado. Anteriormente, se mencionó que cada puerto del OLT dará cobertura a menos de 64 abonados. Esto se traduce en que se tendrá más ancho de banda (cantidad de información que se puede enviar o recibir en una unidad de tiempo) para cada abonado y dar la mejor experiencia posible de servicio de internet. El puerto del OLT usa la longitud de onda 1490/1550 nm para la transmisión de datos con una capacidad de 2.5 Gbps y longitud de onda 1310 nm para la recepción de datos con una capacidad de 1.25 Gbps. Estos datos de carga y descarga serán compartidos por los abonados asignados a cada puerto PON. Esto nos garantiza que cada abonado tendrá un ancho de banda considerable a su disposición.

Figura 41

Diagrama unifilar de la red FTTH balanceada

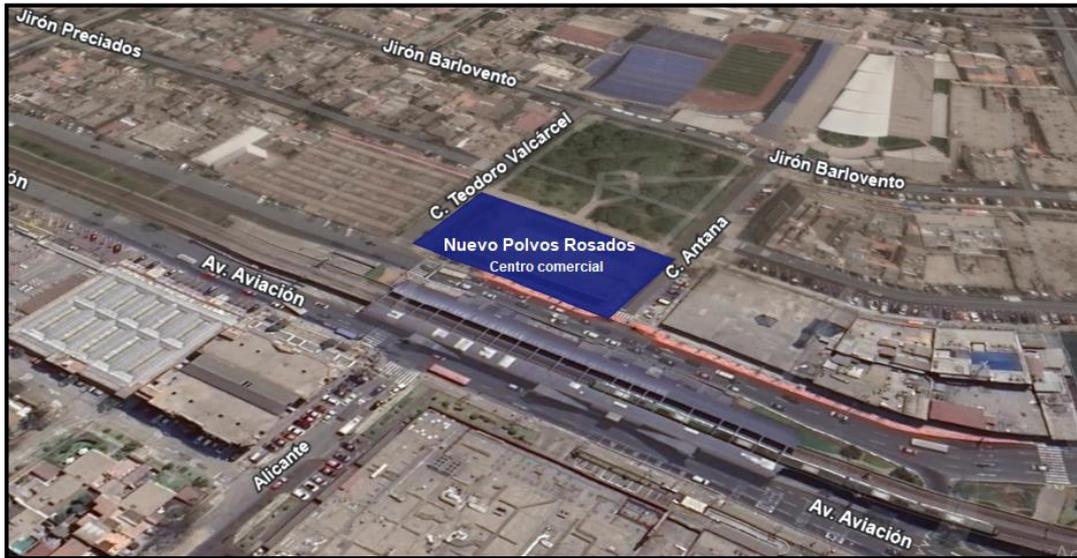


### 3.1 Ubicación geográfica del proyecto

El centro comercial en el cual implementaremos la red de FTTH balanceada de nuestro proyecto está ubicado en el distrito de Santiago de Surco.

**Figura 42**

*Mapa del centro comercial.*



*Nota:* fuente Google Maps.

### 3.2 Planificación de la red FTTH

Para este proyecto, en el centro comercial se tiene 220 abonados de las cuales se dará cobertura al 65% del total debido a estudios y estrategias comerciales. Se usarán 3 hilos o fibras provenientes desde la OLT (hilos troncales). En este proyecto, se considera que cada hilo troncal tenga una cobertura para 64 abonados; sin embargo, para no saturar la red se proyecta que el hilo 209 tenga una cobertura para 55 abonados, hilo 210 para 56 abonados e hilo 211 para 32 abonados, con opción de incremento en caso se requiera a futuro.

Tener detallados estos datos contribuyen significativamente en el diseño e implementación de la red FTTH y el buen funcionamiento de este.

### 3.3 Diseño del despliegue de fibra óptica de la red FTTH balanceada

En esta sección, se detalla el inicio del diseño para el despliegue de la red troncal o red de alimentación, red de distribución y red de acometida de nuestro proyecto de investigación.

#### 3.3.1 Estudios técnicos de sitio para el diseño de la red FTTH balanceada

El diseño de la red FTTH balanceada se inicia con el TSS (estudios técnicos de sitio). Este consiste en hacer una visita técnica al sitio (centro comercial donde se implementará la red) para verificar las facilidades técnicas con la que se cuenta en el lugar. Los técnicos hacen una revisión en las instalaciones del centro comercial, específicamente las ducterías o canalizados internos y montantes (espacio donde se almacenan los equipos de telecomunicaciones). Se verifica los lugares posibles donde se instalarán los equipos como los CTO, cajas de empalme, ductería por donde pasarán los cables de fibra óptica y el metraje correspondiente para determinar la cantidad de cable a usar. Del mismo modo, se revisa el tipo de acceso que se empleará (puede ser aérea o subterránea). Finalmente, se verifica la ruta posible para el despliegue de la red de distribución tomando tofos y esbozo a mano alzada para luego plasmarlo en el programa AutoCAD.

#### Figura 43

*Esbozo de la ruta de ingreso de la fibra óptica al centro comercial.*



*Nota:* se muestra acceso aéreo de la fibra por la azotea del centro comercial.

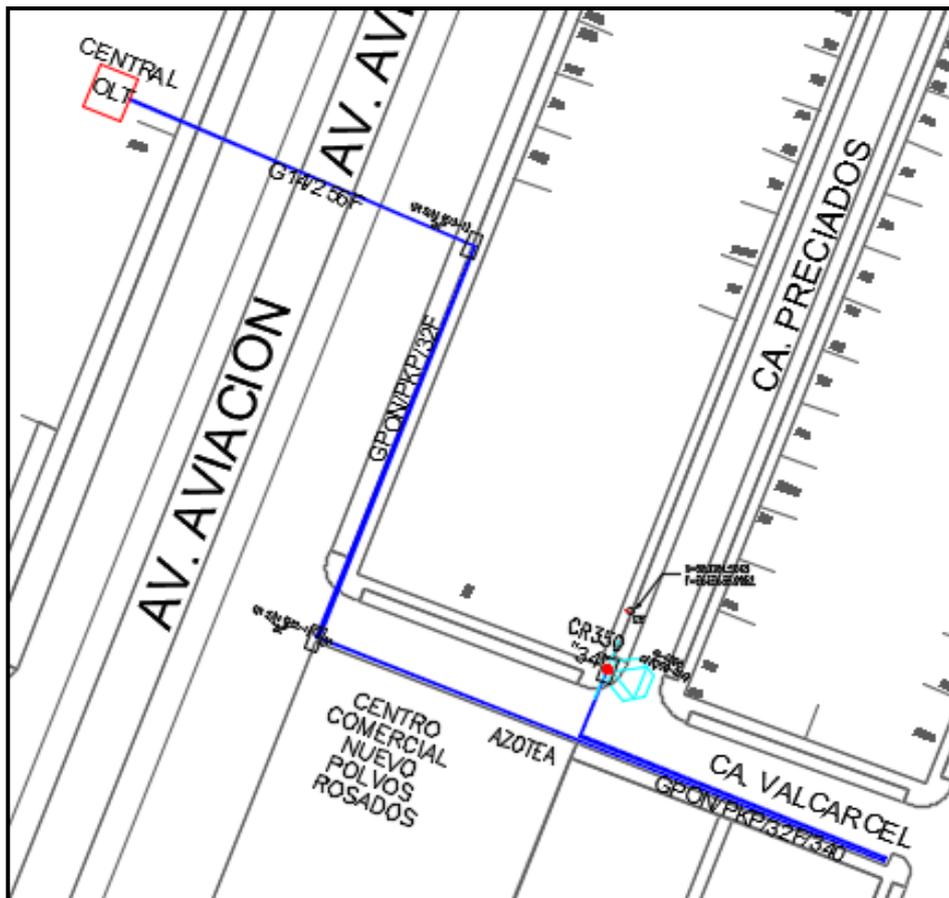
### 3.3.2 Diseño de despliegue de la red troncal o red alimentador de fibra óptica

El tendido de fibra óptica de la red alimentadora se realiza a través de cables ADSS (cable óptico autosoportante totalmente dieléctrico, PKP - protector de cable de polietileno) de 256, 64, 32 hilos etc. Normalmente, inicia desde el OLT que se encuentra dentro de la central del proveedor hasta una caja de empalme donde se ubica el *splitter* de primer nivel. Para nuestro proyecto, se hace uso de la red troncal ya existente, tomando 3 hilos troncales.

El cable troncal tiene una longitud de 340 m, esta desplegado por ductos subterráneos y por cámaras de telecomunicaciones hasta la red de distribución.

**Figura 44**

Despliegue de la red alimentador

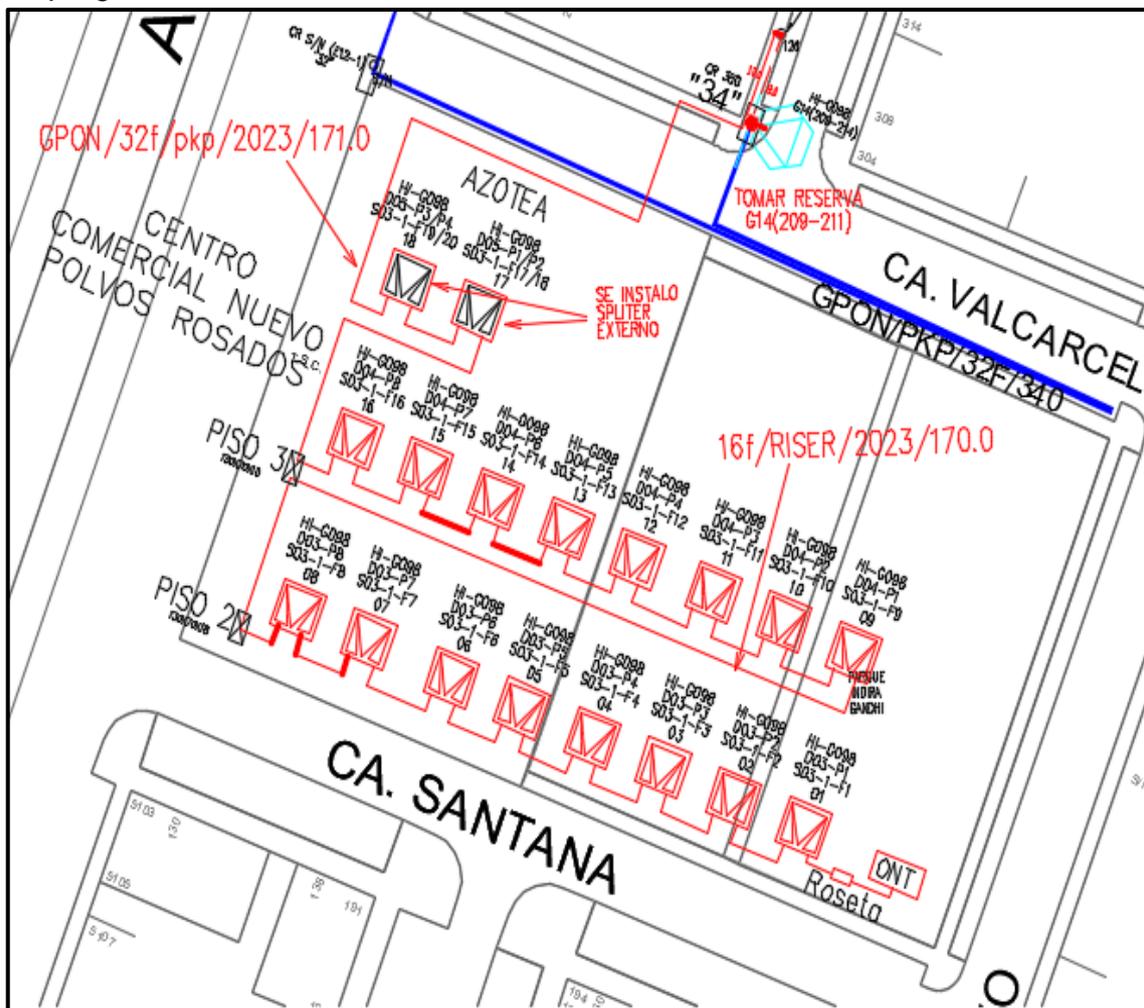


### 3.3.3 Diseño de despliegue de la red de distribución de fibra óptica

Los hilos o fibras trocales llegan hasta la caja de empalme que almacena a los *splitter* de primer nivel. Desde este punto, se procederá con el tendido aéreo usando fibras PKP de 32 hilos hasta las instalaciones del centro comercial (azotea). Se instalarán los CTO externos. El cable PKP llega hasta una caja de empalme ubicada en el tercer piso para continuar el despliegue de fibra a través del cable *riser* e instalar los CTO internos, en la infraestructura interna del centro comercial.

Figura 45

Despliegue de la red de distribución

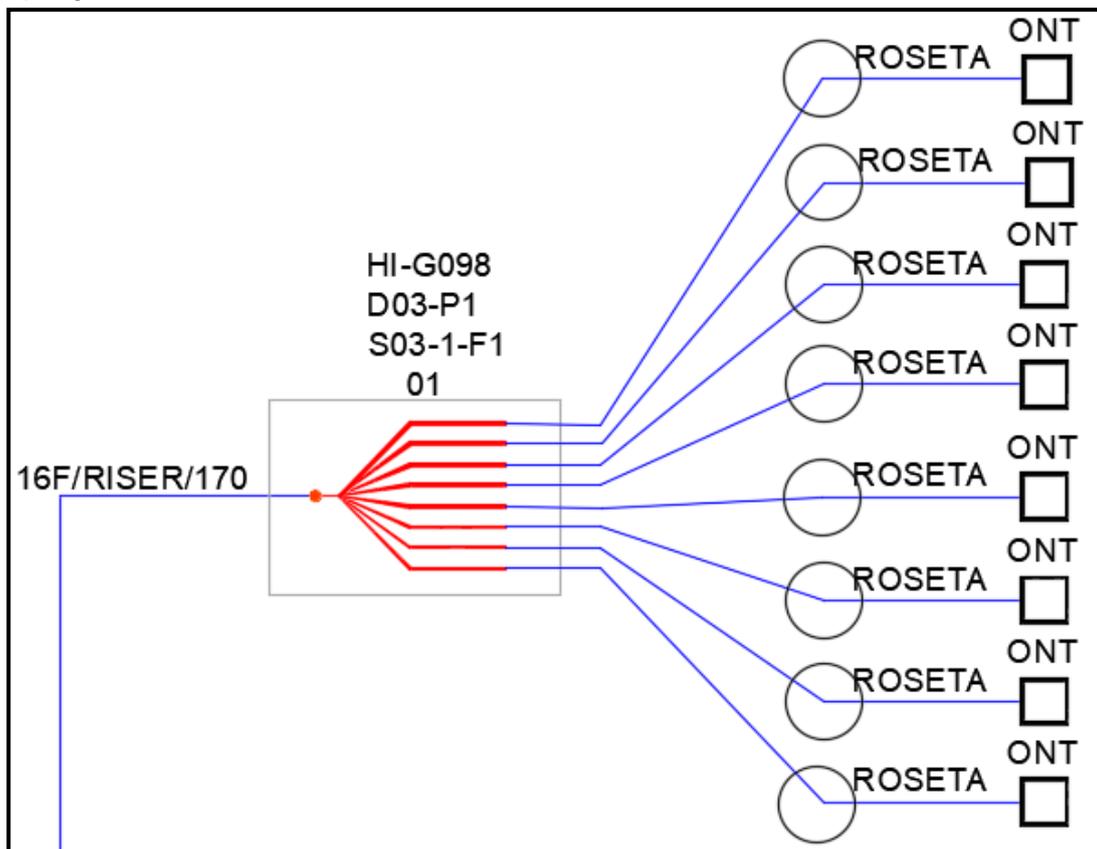


### 3.3.4 Diseño de despliegue de la red de acometida

La red de acometida (acceso hacia los abonados) inicia desde los CTO, interno o externo, que almacenan a los *splitter* de segundo nivel, pasa por la roseta hasta las ONT ubicadas dentro de las instalaciones de cada abonado a través de cables *drop* de un solo núcleo. Las medidas de longitud del cable *drop* serán variables dependiendo de la ubicación del abonado.

**Figura 46**

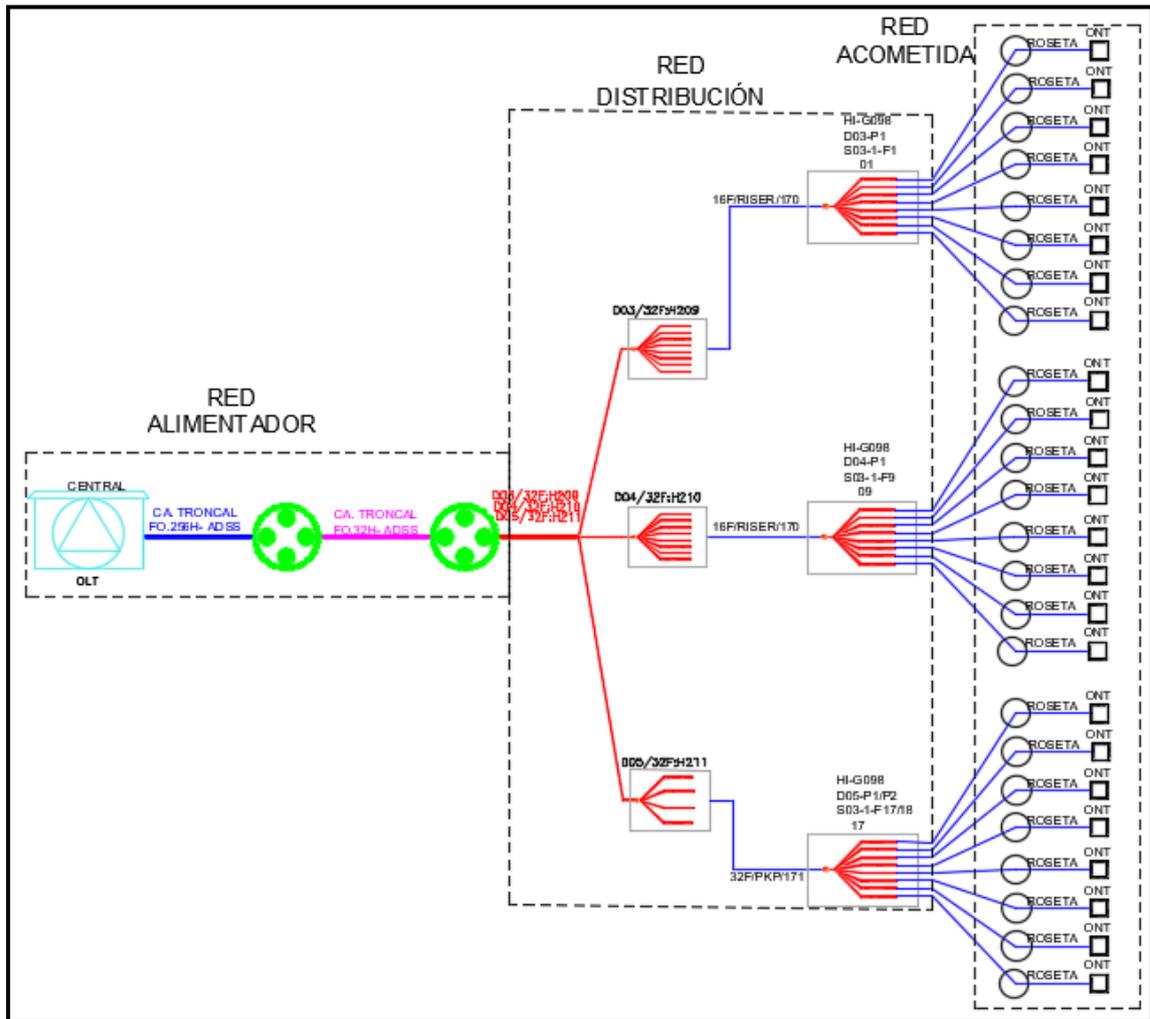
*Despliegue de la red de acometida*



A continuación, se muestra el diagrama unifilar del diseño de la red FTTH balanceada y sus partes para un centro comercial de un distrito de la ciudad de Lima.

**Figura 47**

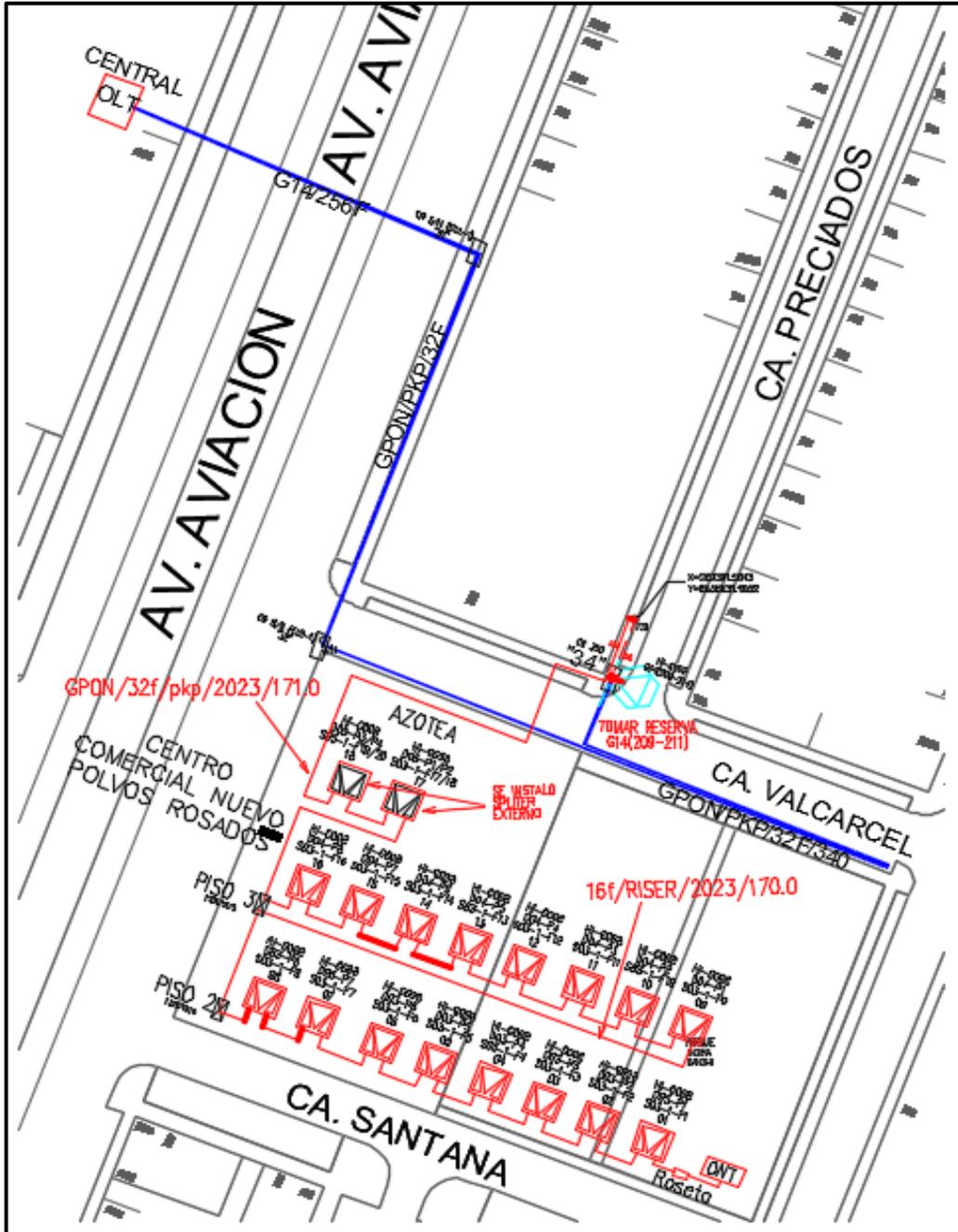
*Diagrama unifilar y las partes principales de la red FTTH balanceada*



A continuación, se muestra el diseño completo de la red FTTH balanceada para un centro comercial de un distrito de la ciudad de Lima.

**Figura 48**

*Diseño de la red FTTH balanceada*



### 3.3.5 Cálculo de atenuación y presupuesto óptico de una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON

Saber las pérdidas y el presupuesto óptico de potencia de una red FTTH balanceada es muy importante ya que dependiendo y respetando estos valores, nuestra red tendrá un correcto funcionamiento. Para ello se debe calcular las pérdidas de potencias E2E (extremo a extremo) de la red.

Tomaremos las distintas recomendaciones de la ITU-T para el cálculo de atenuación y presupuesto óptico.

**Tabla 9**

#### *Especificaciones ópticas para OLT*

Clase	Tipo	Longitud de onda	Velocidad	Potencia de transmisión MIN	Potencia de transmisión MAX	Sensibilidad mínima de recepción	Potencia óptica de sobrecarga
B+	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1450 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	1.5 dBm	5 dBm	-28 dBm	-8 dBm
C+	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1450 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	3 dBm	7 dBm	-32 dBm	-12 dBm
C++	Bidireccional 1 fibra	Tx: 1450 nm Rx: 1310 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	6 dBm	10 dBm	-35 dBm	-15 dBm

*Nota:* muestra los distintos niveles de potencia de las diferentes clases módulo del OLT. El alcance en todas las clases es de 20 Km. Fuente: adaptado de la recomendación ITU-T G.984.2

**Tabla 10**

#### *Especificaciones ópticas para una ONU (unidad de red óptica)*

Clase	Longitud de onda	Velocidad	Potencia de transmisión MIN	Potencia de transmisión MAX	Sensibilidad mínima de recepción	Potencia óptica de sobrecarga
B+	Tx: 1290 nm ~ 1330 nm Rx: 1480 nm ~ 1500 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	0.5 dBm	5 dBm	-27 dBm	-8 dBm
C+	Tx: 1290 nm ~ 1330 nm Rx: 1480 nm ~ 1500 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	0.5 dBm	5 dBm	-30 dBm	-8 dBm
C++	Tx: 1290 nm ~ 1330 nm Rx: 1480 nm ~ 1500 nm	Tx: 2.49 Gbps Rx: 1.24 Gbps	0.5 dBm	5 dBm	-30 dBm	-8 dBm

*Nota:* Cuadro muestra los distintos niveles de potencia para una ONU (según la recomendación ITU-T G.984.3 en términos de funcionalidad será lo mismo que la ONT). Fuente: adaptado de la recomendación ITU-T G.984.2

**Tabla 11**

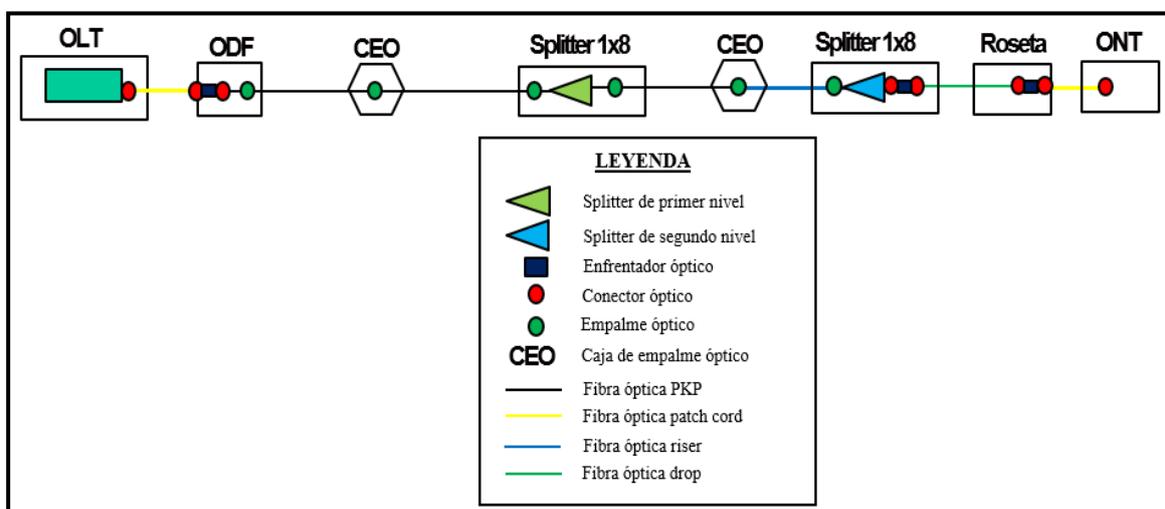
*Especificaciones de pérdida de potencia según la recomendación de ITU-T*

Parámetro	Valor	Estándar
Perdida máxima por atenuación de fibra 1330 nm ~ 1625 nm	0.4 dB/Km	ITU-T G.652 y ITU-T G.657
Atenuación por fusión	0.1 dB	ITU-T G.650
IL máx enfrentador	0.2 dB	
Atenuación máxima por conector	0.5 dB	ITU-T G.652 y ITU-T G.657
Atenuación por splitter 1x8	10.5 dB	ITU-T G.652

*Nota:* muestra las distintas atenuaciones a ser consideradas. Fuente adaptado de ITU-T

**Figura 49**

*Esquema topológico de la red FTTH balanceada desde el OLT hasta el ONT*



*Nota:* muestra el esquema de red de nuestro proyecto de investigación con las conexiones desde el OLT hasta el ONT para el cálculo de la potencia.

Para el cálculo de la atenuación total, se considera que el OLT tiene un módulo clase C+ y el ONT es de clase B+, la distancia entre el OLT y ONT es de 710 metros, la distancia del OLT hasta el splitter de segundo nivel es 676 m. La atenuación total  $A_t$  está dado por la ecuación 1.

$$A_t = N_c \cdot A_{tc} + A_e \cdot A_{te} + N_s \cdot A_s + L \cdot A_f + N_e \cdot I_{Le} \quad (1)$$

- $A_t$  – Atenuación total
- $N_c$  – Número de conectores
- $A_{tc}$  – Atenuación de conectores
- $A_e$  – Número de empalmes

- Ate – Atenuación de empalmes.
- Ns – Número de splitter
- As – Atenuación de splitter
- L – Longitud de fibra óptica
- Af - Atenuación de la fibra óptica.
- Ne – Número de enfrentador
- ILe – Pérdida de Inserción de enfrentador

Reemplazando valores en la ecuación 1, considerando los datos de la tabla 11 y figura 49 se tiene lo siguiente:

$A_t = 8 \cdot 0.5 + 6 \cdot 0.1 + 2 \cdot 10.5 + 0.710 \cdot 0.4 + 3 \cdot 0.2 = 26.48$  dB (atenuación total máxima E2E o extremo a extremo).

Para el cálculo de atención máxima desde el OLT hasta el splitter 1x8 balanceado de segundo nivel se considera una distancia de 676 m. Por consiguiente, reemplazando los valores en la ecuación 1 se tiene lo siguiente:

$A_t = 5 \cdot 0.5 + 6 \cdot 0.1 + 2 \cdot 10.5 + 0.676 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.2 = 24.77$  dB (atenuación total máxima hasta el splitter balanceado de segundo nivel).

El presupuesto óptico (Pop) será calculado de la ecuación 2.

$$\text{Pop} = P_t - \text{Sensibilidad} \quad (2)$$

- $P_t$  – Potencia de transmisión
- Pop – Presupuesto óptico

En el cálculo del Pop para el canal descendente se usará la potencia mínima de transmisión del OLT y la sensibilidad del ONT. De forma similar, para el Pop del canal ascendente se usará la potencia mínima de transmisión del ONT y la sensibilidad del OLT.

Reemplazando valores en la ecuación 2, considerando los datos de la tabla 9 y tabla 10 se tiene lo siguiente:

$\text{Pop} = 3 \text{ dBm} - (-27 \text{ dBm}) \approx 30 \text{ dB}$  (canal descendente)

Pop = 0.5 dBm – (-32 dBm)  $\approx$  32.5 dB (canal ascendente)

Para el diseño e implementación de la red, la atenuación máxima permitida debe ser -26.48 dB de extremo a extremo (E2E) o -24.77 dB hasta el *splitter* 1x8 de segundo nivel (el cálculo se hizo considerando los valores máximos de atenuación e inserción) y no debemos superar el presupuesto óptico calculado líneas arriba.

### 3.4 Implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON

En esta sección, se detalla la ejecución de la implementación de la red de alimentación, distribución y acometida de nuestro proyecto de investigación.

#### 3.4.1 Implementación de la red troncal de fibra óptica

Para este proyecto, la red de alimentación ya está desplegada desde el ODF hasta la caja de empalme (acá se encuentra el *splitter* de primer nivel) a través de un cable de fibra óptica monomodo ADSS (PKP) de 256 hilos. La actividad principal en esta sección es hacer las conexiones de los hilos de fibra desde el OLT hacia el ODF a través de *patch cords* y desde el ODF hasta los cables troncales.

#### Figura 50

Conexión desde el OLT hasta el ODF.



**Figura 51**

*Medición de potencia de transmisión en el OLT.*



### **3.4.2 Implementación de la red de distribución de fibra óptica**

En toda actividad de trabajo en campo, se desarrollan diversas tareas como instalación de equipos, obras civiles, tendido de cables, mediciones de potencias ópticas en alturas (postes), canalizados dentro de edificios, apertura de buzones de telecomunicaciones y entre otros. Se inicia con una charla de seguridad de 5 minutos a cargo del supervisor de obra o jefe de cuadrilla encargado de la implementación. Terminada la charla, se procede con el ATS (análisis de trabajo seguro), donde se evalúa e identifica los posibles riesgos que podría pasar durante la actividad a realizar y tomar las medidas pertinentes con la finalidad de evitar los riesgos. Del mismo modo, el supervisor o jefe de cuadrilla hace una revisión de los EPP (equipo de protección personal), el cual consta de equipos o prendas como cascos, guantes, calzado de seguridad, gafas de seguridad etc., que protegen a los trabajadores durante la ejecución del tendido de fibra. Además, se cerca el área de trabajo con los equipos de señalización correspondientes por seguridad. Cabe mencionar que todos los trabajadores deben contar con un SCTR (seguro complementario de trabajo de riesgo) vigente.

## Figura 52

*Charla de seguridad de 5 minutos*



Culminado las indicaciones y revisiones correspondientes, se inicia con el tendido del cable óptico. En la cámara CR - 34 se identifican los hilos troncales (209, 210 y 211) provenientes del OLT, estos serán empalmados a las entradas de los splitter 1x8 balanceado de primer nivel (hilo 209 al splitter D03, hilo 210 la splitter D04 e hilo 211 al D05). Posteriormente, 20 hilos del cable PKP de 32 hilos serán empalmados a los cables de salida de los splitter. Desde acá se tira el cable PKP de 32 hilos por el ducto subterráneo (un tramo de 8 metros) hasta el poste telefónico número 126. Luego se subirá el cable por el sifón del poste numero 126 hasta la parte superior. Finalmente, el cable seguirá de manera aérea hasta la azotea del centro comercial.

## Figura 53

*Buzón o cámara CR 350 "34"*



*Nota:* muestra el CEO donde llegan los cables troncales y almacena a los *splitter* de primer nivel.

**Figura 54**

*Empalme de las fibras a los splitter 1x8 de primer nivel*



**Figura 55**

*Técnico acomodando el cable PKP para continuar la ruta aérea.*



**Figura 56**

*Entrada aérea del cable PKP por la azotea del centro comercial*



En la azotea del centro comercial se instalan dos CTO externos adosados a la pared. Cada CTO viene con un *splitter* 1x8 balanceado desde fabrica, para este proyecto, se añade un adicional *splitter* 1x8 conectorizados en cada caja. Seguidamente, el cable PKP llega hasta una caja de paso dentro de las instalaciones del centro comercial y se empalman a los hilos del cable *riser*, estos empalmes son necesarios, ya que el cable PKP es robusto diseñado para planta externa (cableado aéreo y ductos subterráneos). Por el contrario, el cable *riser* es más flexible, diseñado para canalizados interiores de edificios y viviendas (especialmente para estructuras verticales).

**Figura 57**

*CTOs externos (17 y 18) instalados y adosados a la pared*



En la caja de paso ubicada en el tercer piso del centro comercial, se empalman 16 hilos del cable PKP con los 16 hilos del cable *riser*. Seguidamente, se continua con el despliegue del cable *riser* y con la instalación de los CTO internos en cascada desde el CTO 16 hasta el CTO 1. Las cajas internas están ubicadas en los montantes (cajas adosadas a la pared o dentro de la pared, donde se almacenan equipos de telecomunicaciones).

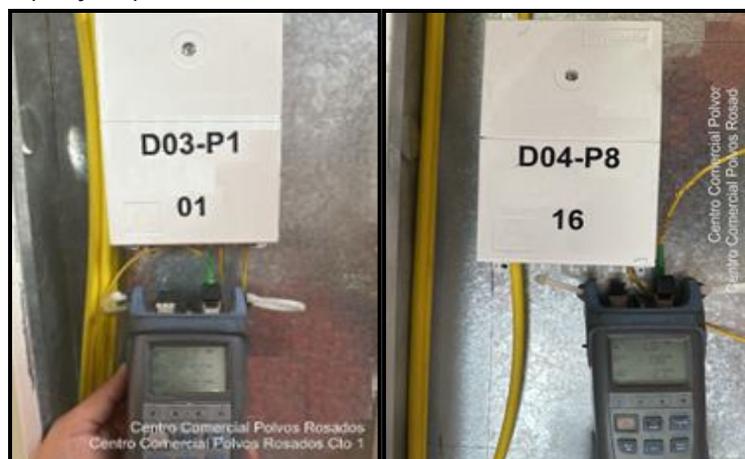
### Figura 58

*Empalmes de los hilos de fibra PKP con hilos de fibra riser*



### Figura 59

*CTOs internos (01 y 16) instalados dentro de los montantes*

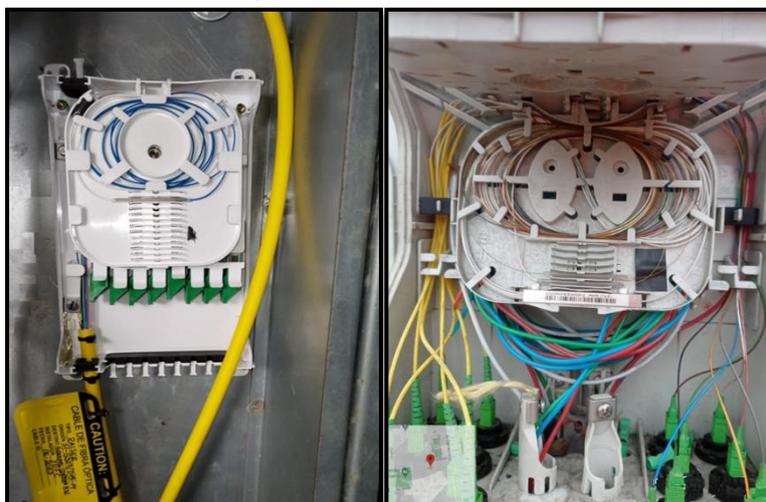


### 3.4.3 Implementación de la red de acometida de fibra óptica

Culminada la instalación de cajas externas e internas con sus respectivos *splitter* 1x8 balanceado, se procede con la implementación de la red de acometida. El despliegue se realiza a través de cables *drop* de distintas longitudes que varían entre 25 – 40 m dependiendo de la distancia entre la CTO y el local del abonado. Desde los puertos de salida de los CTO internos o externos, se tiran cables *drop* hasta las rosetas y, finalmente, se conectan a cada ONT a través de cables *patch cords* (el ONT y roseta están ubicados en la infraestructura interna de cada abonado).

**Figura 60**

*Parte interna de los CTOs interno y externo*



Una vez culminada la implementación hasta la red de distribución, la red estaría lista para traficar (transmisión y recepción de datos) previa certificación E2E (de extremo a extremo), que básicamente son mediciones iOLM (mapeador de enlaces ópticos inteligentes) o reflectométricas y mediciones de potencia óptica.

Una vez culminado, con el despliegue de la red FTTH, se dejan asegurados, etiquetados y ordenados los cables, cajas de empalmes, buzones de telecomunicaciones y equipos instalados, se limpian los residuos de cables u otros materiales que pudieron haberse generado durante la implementación tanto en el interior como en el exterior del centro comercial. No está permitido dejar residuos en las calles, no cerrar las cámaras o

buzones de telecomunicaciones o no asegurar los cables aéreos; caso contrario, se estaría incurriendo en penalidades o multas municipales.

El alta del servicio de internet utilizando la red FTTH balanceada se irá dando paulatinamente y según la necesidad de cada abonado del centro comercial. Para este proyecto se muestra algunas altas a modo de ejemplo.

### **Figura 61**

*Roseta y ONT en el interior del local de los abonados*



### **3.5 Certificación de la red FTTH balanceada**

La certificación la red FTTH balanceada nos permite garantizar el correcto funcionamiento y desempeño de la fibra óptica desplegada y los equipos instalados. Para este proyecto, se efectúan dos tipos de mediciones. En primer lugar, se utiliza el *power meter* (medidor de potencia) para determinar las potencias, en segundo lugar, se emplea el OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo) para las mediciones de iOLM (mapeador de enlaces ópticos inteligentes) o reflectométricas. Además, calcularemos la tasa de transmisión por abonado.

#### **3.5.1 Mediciones de potencia óptica de la red FTTH balanceada**

Para las mediciones de potencia óptica, se hace uso del *power meter*. Este instrumento permite calcular las potencias de transmisión y recepción en un punto

específico de la red. Este proyecto se enfoca en la potencia de recepción en los puertos de los CTO internos y externos. El *power meter*, básicamente, convierte la señal óptica que circula por el cable de fibra en señal eléctrica a través de un fotodetector y la compara con una referencia conocida. La unidad de medida que se maneja para la medición de potencia óptica es dBm (decibelios medidos en referencia a 1 milivatio). Antes de proceder con las mediciones correspondientes, se debe verificar los cables, conectores limpios, empalmes adecuados y los equipos instalados. Además, se debe configurar o elegir las longitudes de ondas expresado en nm (nanómetros) por donde se transmitirá la señal o información, se elige la longitud de onda de 1490 nm para datos y 1550 nm para video.

### Figura 62

*Medición de potencia óptica en CTO 13 y CTO 15*



*Nota:* Figura muestra las mediciones de potencia óptica de los CTO 13 y 15 pertenecientes al *splitter* balanceado D04.

A continuación, se muestra la tabla 12 con las potencias medidas con el *power meter*, una vez terminado el despliegue de la red de distribución en los puertos de los CTO (cajas internas y externas) ubicados en las instalaciones del centro comercial. Además, sabemos que la distancia entre los CTO y ONT varían entre 25 a 40 m de acuerdo con la ubicación del abonado dentro del centro comercial. Por lo tanto, considerando datos de la

tabla 11 y figura 49, la atenuación entre el CTO y ONT sería debido a la pérdida de potencia por 3 conectores, un enfrentador y 34 m de fibra óptica dando un aproximado de 1.71 dB. A este valor, se agregan las atenuaciones obtenidas con el *power meter* y se obtiene la atenuación E2E (extremo a extremo).

**Tabla 12**

*Potencia de recepción en los CTOs*

CTO (interno y externo)	Potencia de Trasmisión desde el OLT en dBm	Potencia de Recepción en CTO en dBm	Atenuación aproximada en dB
01	3.21	-19.5	22.71
02	3.21	-19.2	22.41
03	3.21	-18.3	21.51
04	3.21	-18.7	21.91
05	3.21	-18.8	22.01
06	3.21	-18.7	21.91
07	3.21	-18.2	21.41
08	3.21	-18.3	21.51
09	4.05	-19.0	23.05
10	4.05	-19.2	23.25
11	4.05	-19.2	23.25
12	4.05	-18.8	22.85
13	4.05	-19.1	23.15
14	4.05	-18.9	22.95
15	4.05	-19.1	23.15
16	4.05	-19.0	23.05
17	3.14	-19.1	22.24
18	3.14	-19.2	22.34
19	3.14	-19.3	22.44
20	3.14	-19.1	22.24

Del mismo modo, se muestra la tabla 13 con las potencias de recepción (Pr) en los ONT, el cual es calculado restando la potencia de transmisión (Pt) del OLT menos la atenuación total de extremo a extremo (At) tal como se indica en la siguiente ecuación:

$$Pr = Pt - At \quad (3)$$

**Tabla 13***Potencia de recepción en los ONTs*

ONT conectado a CTO	Potencia de Trasmisión desde el OLT en dBm	Potencia de Recepción en ONT en dBm	Atenuación aproximada E2E en dB
01	3.21	-21.21	24.42
02	3.21	-20.91	24.12
03	3.21	-20.01	23.22
04	3.21	-20.41	23.62
05	3.21	-20.51	23.72
06	3.21	-20.41	23.62
07	3.21	-19.91	23.12
08	3.21	-20.01	23.22
09	4.05	-20.71	24.76
10	4.05	-20.91	24.96
11	4.05	-20.91	24.96
12	4.05	-20.51	24.56
13	4.05	-20.81	24.86
14	4.05	-20.61	24.66
15	4.05	-20.81	24.86
16	4.05	-20.71	24.76
17	3.14	-20.81	23.95
18	3.14	-20.91	24.05
19	3.14	-21.01	24.15
20	3.14	-20.81	23.95

**3.5.2 Mediciones de iOLM o reflectométricas de la red FTTH balanceada**

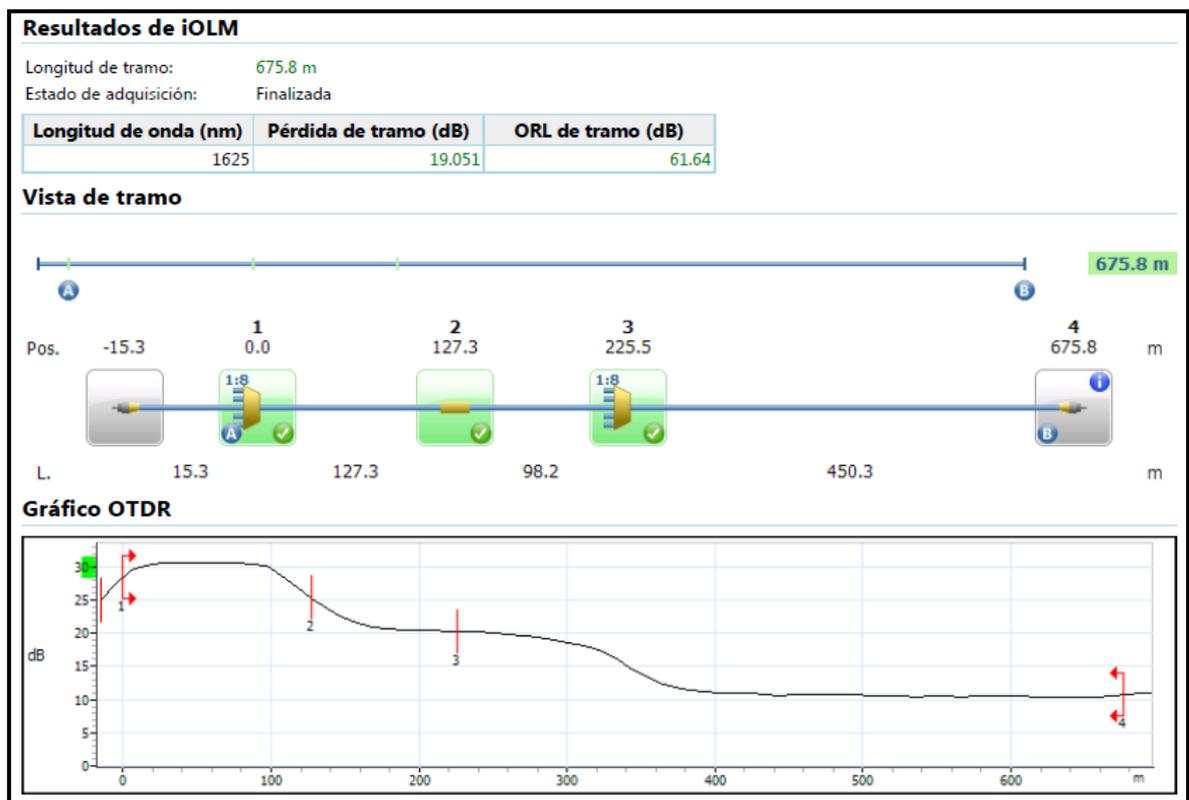
La siguiente medición, y la más importante, para certificar la red FTTH balanceada se denomina mediciones iOLM (mapeador de enlaces ópticos inteligentes) con el uso de la herramienta imprescindible OTDR (reflectómetro óptico en el dominio del tiempo), desde los CTO internos o externos hasta la central del proveedor de internet. El OTDR, básicamente, envía un pulso de luz a través de la red de fibra y luego mide la cantidad de luz que se refleja de vuelta. Esto nos permite verificar las atenuaciones y la continuidad de la red FTTH. Otro aspecto importante es que las mediciones se pueden efectuar con potencia o sin potencia en la red de fibra óptica. Se elige la longitud de onda de 1625 nm, en caso haya potencia en la red (fibra activa), y las ondas 1310/1550 nm, en caso no haya potencia en la red (fibra inactiva). Igualmente, antes de realizar las mediciones, se tiene que verificar los cables, limpiar los conectores y calibrar el equipo para tener una medición

más precisa. Adicionalmente, las mediciones siempre se deben hacer en sentido CTO a OLT y no de manera inversa, debido a que la señal, al llegar al *splitter*, de primer nivel no sabrá por cual puerto salir; por consiguiente, se obtendrá valores errados. En caso haya altas pérdidas o atenuación a determinadas distancias causadas por empalmes, rotura de cables o conectores, se procede, inmediatamente, con la solución pertinente hasta lograr una certificación adecuada.

Las mediciones de potencias y mediciones reflectrométricas se realizan para todos los CTO (internos y externos). En el presente proyecto, la medición iOLM se realizó con potencia en la red FTTH balanceada y en la longitud de onda 1625 nm. A modo de ejemplo, se muestra en la figura 63, revisar el anexo 1 para los CTO pertenecientes al *splitter* D04 y D05.

**Figura 63**

*Medición de iOLM con OTDR del CTO 1.*



*Nota: muestra la medición iOLM del CTO 1 perteneciente al splitter D03.*

### 3.5.3 Cálculo de la tasa de transmisión por usuario

Para el caso de este proyecto, los módulos ópticos que usan los puertos del OLT son clase C+. Cada puerto tiene una capacidad de transmisión de datos a 2.5 Gbps y recepción de datos a 1.25 Gbps. También se menciona que cada puerto puede dar cobertura a 64 abonados, sin embargo, en el proyecto cada puerto dará cobertura a menos de 64 abonados con la finalidad de dar la mejor experiencia de servicio de internet al cliente. La tabla 14 muestra la máxima transmisión de datos (carga y descarga) en el peor escenario donde todos los usuarios se conecten a la red balanceada.

**Tabla 14**

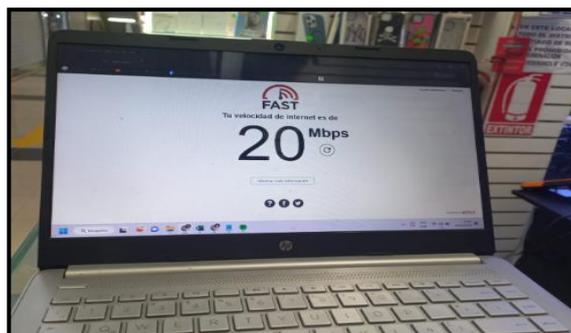
*Tasa de velocidad de carga y descarga máxima.*

Puerto GPON asignado	Número de ONT proyectados	Velocidad máxima de descarga en Mbps	Velocidad máxima de carga en Mbps
HILO 209	55	46.54	23.27
HILO 210	56	45.71	22.85
HILO 211	32	80	40

Próximos a ejecutar la implementación de la red FTTH balanceada se hizo una verificación de la tasa de navegación de Internet de los abonados en el centro comercial. Se obtuvo una velocidad de 20Mbps en descarga y 10Mbps es carga. Culminada la implementación de la red FTTH balanceada los abonados tendrán acceso superior a Internet por fibra óptica. La Tabla 15 muestra los porcentajes de incremento en el peor escenario donde todos los usuarios se conecten a la red balanceada.

**Figura 64**

*Velocidad de internet antes de implementar la red FTTH balanceada.*



**Tabla 15**

*Incremento porcentual en la tasa de velocidad de carga y descarga máxima.*

<b>Puerto GPON asignado</b>	<b>Variación porcentual de velocidad máxima de descarga en Mbps</b>	<b>Variación porcentual de velocidad máxima de carga en Mbps</b>
<b>HILO 209</b>	232.7%	232.7%
<b>HILO 210</b>	228.55%	228.5%
<b>HILO 211</b>	400%	400%

Durante la visita al centro comercial (previo permiso y coordinación con el delegado del centro comercial), para revisar el estado de la ductería interna, hubo oposición por parte de algunos abonados. Se solicitó apoyo a un delegado, luego una reunión conjunta (delegados, usuarios del centro comercial y supervisor a cargo del proyecto), se acordó continuar con la visita y se pudo concretar la revisión de la ductería e inicio del diseño.

Durante la revisión de la red alimentador, no se pudo ubicar el hilo 211, pues había sido tomado para otro proyecto por error. Se solicitó la liberación del hilo al área de planta externa, previa reunión donde se explicó que el hilo o fibra implicada pertenecía a este proyecto.

En la etapa de implementación, hubo oposición de algunos abonados debido a que ellos no permitían el acceso aéreo de la fibra. Se les informó que el centro comercial no cuenta con ductería subterránea de telecomunicaciones. Básicamente, no había comunicación entre los ductos externos (red alimentadora) y la ductería del centro comercial, por ende, en el diseño se consideró la solución de ingreso aéreo (totalmente ordenada y asegurada).

En la etapa de la certificación, hubo inconvenientes con el acceso al centro comercial, ya que algunos abonados indicaban que la fibra óptica y los equipos usados eran dañinos para la salud debido a la radiación. Se les informó que nuestros equipos de certificación no eran dañinos y solo se usarían para la certificación, también se les informó que la fibra óptica no emite radiación electromagnética, más por el contrario, la fibra óptica traería numerosos beneficios como mayores velocidades de conexión y estabilidad.

## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

En este capítulo, la atención estará, principalmente, dirigida hacia el cumplimiento de los objetivos específicos del proyecto, tomando en cuenta los indicadores de logro y las métricas que han sido establecidos y explicados en el subcapítulo 1.3.2.

### 4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico

El primer objetivo específico de nuestro proyecto es diseñar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima. Los indicadores de logro son elaboración de un diagrama del diseño de la arquitectura de la red FTTH balanceada, desarrollada en el capítulo 3.3 y detallar las especificaciones técnicas del cableado y equipos a utilizar en la implementación de la red FTTH balanceada, desarrollada en el subcapítulo 2.2.2 y subcapítulo 3.3.5.

**Tabla 16**

*Descripción del cumplimiento del primer objetivo específico*

Indicador de logro	Métrica	Cumplimiento
Diagrama del diseño de la arquitectura de la red FTTH balanceada	Documento	100%
Especificaciones técnicas del cableado y equipos a utilizar en la implementación de la red FTTH balanceada	Documento	100%

### 4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico

El segundo objetivo específico de este proyecto es implementar una red FTTH balanceada utilizando el estándar GPON para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima, cuyo indicador de logro es la implementación del 100% de la red FTTH balanceada y certificada con el estándar GPON, el cual fue desarrollada en el capítulo 3.4 y capítulo 3.5. Se implementó y certificó la red FTTH con estándar GPON con éxito. Por lo tanto, se cumplió con el segundo objetivo específico al 100%.

#### **4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico**

El tercer objetivo específico del proyecto es optimizar el acceso a la red de Internet y ampliar la cobertura de los servicios de banda ancha para un centro comercial en un distrito de la ciudad de Lima. El indicador de logro es incrementar en 200% la velocidad de carga y descarga, desarrollada en el subcapítulo 3.5.3.

El cálculo de medición de las velocidades de carga y descarga se hizo para cada puerto GPON y considerando un escenario crítico donde todos los usuarios estén conectados a la red FTTH balanceada, que da como resultado una variación porcentual que supera los 200%. Por lo tanto, se cumplió con tercer objetivo específico al 100%.

#### **4.4 Gastos y presupuesto general de la red FTTH balanceada con estándar GPON**

En esta sección, se analiza los gastos generales del proyecto. La adquisición de los materiales y equipamiento se realizó luego de un análisis técnico y estudio de mercado. El equipamiento de la red alimentador, conformado básicamente por el OLT, ODF y fibras troncales dan servicio a varios proyectos de los cuales solo estamos tomando 3 hilos para este proyecto. Las fibras ópticas de tipo PKP y *riser* han sido adquiridas específicamente para este proyecto (estructura vertical). El OTDR, equipo imprescindible para toda red FTTH, es costoso; sin embargo, será usado para múltiples proyectos y por muchos años con un adecuado uso y mantenimiento. La totalidad de los ONT, rosetas y cables *drop* se irán adquiriendo a medida que se den de alta más servicios de internet a los abonados. El personal contratado cuenta con una amplia experiencia y especialización en redes FTTH. A continuación, se muestra la tabla 22 con más detalles.

**Tabla 17***Gastos generales del proyecto*

<b>Equipos y materiales</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unit. US\$</b>	<b>Subtotal. US\$</b>
OLT HUAWEI MA5800-X15	UN	1	6.000,00	6.000,00
Cable de fibra óptica monomodo ADSS 256 fibras	M	100	3,85	385,00
Cable de fibra óptica monomodo ADSS 64 fibras	M	240	3,01	722,40
ODF de 48 Puertos SC/APC	UN	1	49,00	49,00
OTDR EXFO MAX 730 / FTB-1V2-720C OTDR	UN	1	12.290,00	12.290,00
Cable de fibra óptica monomodo (ADSS) PKP 32 fibras	M	171	1,07	182,97
Cable de fibra óptica monomodo <i>riser</i> 16 fibras	M	170	1,04	176,80
Cable <i>patch cord</i>	UN	6	6,80	40,80
Cable <i>drop</i> preconectorizado - 300M	UN	2	67,92	135,84
Empalmes	UN	55	12,00	660,00
Mediciones iOLM con OTDR (2 integrantes x 2 días)	UN	4	20,00	80,00
Caja interna - 8 puertos <i>c/splitter</i> 1x8	UN	16	16,00	256,00
Caja externa - 16 puertos <i>c/splitter</i>	UN	2	30,00	60,00
<i>Splitter</i> 1x8 sin conectores	UN	3	3,38	10,14
<i>Splitter</i> 1x8 conectorizado tipo <i>casett</i>	UN	2	6,50	13,00
Caja de empalme 64/48 fibras ópticas	UN	1	80,00	80,00
Caja de empalme 32 fibras ópticas	UN	1	40,00	40,00
Medidor de potencia óptica - <i>Power meter</i>	UN	1	170,00	170,00
Fusionadora de fibra óptica A19	UN	1	1.260,00	1.260,00
<i>Router</i> - ONT	UN	5	38,00	190,00
Roseta	UN	5	0,90	4,50
Etiquetado de CTO	UN	18	5,00	90,00
Mano de obra de implementación (5 Integrantes x7días)	UN	35	18,00	630,00
Diseño	UN	1	200,00	200,00
			TOTAL, US\$	23.726,45

#### **4.5 Cronograma empleado en el diseño e implementación de la red FTTH balanceada con estándar GPON**

A continuación, se muestra la figura 65 con el cronograma de actividades desarrollado. Se inició con el diseño, que tomó 15 días, durante ese periodo se facilitó el diagrama y los planos haciendo uso del software *AutoCAD* para la ejecución del proyecto. También, se hicieron los ajustes necesarios en los planos con la información obtenida durante la implementación.

Los materiales fueron suministrados por el proveedor de forma proporcional debido a que estos son importados y provienen de diferentes almacenes. Teniendo el 90% de los

materiales, se dio inicio la implementación con la finalidad de optimizar el tiempo. El suministro total del material se completó en un plazo de 15 días.

La ejecución de la implementación tomó 7 días, se trabajó con una cuadrilla de 5 integrantes totalmente capacitados en el área de despliegue de redes FTTH. Cada integrante de la cuadrilla ejecutó tareas específicas con la finalidad de cumplir los plazos establecidos y entregar el proyecto 100% culminado.

Las pruebas y comisionamiento se desarrolló bajo la supervisión del área técnica del proveedor y en presencia de un delegado del centro comercial. Culminadas las pruebas y certificaciones de la red FTTH balanceada de manera satisfactoria, se recibió la conformidad del área técnica y comercial del contratante. Este proceso tomó 2 días.

La entrega del proyecto 100% culminado, con los documentos requeridos (planos actualizados, certificaciones detalladas y reporte general), tomó un día.

**Figura 65**

*Cronograma de las actividades desarrolladas*

ACTIVIDADES	Número de días	Días																												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Diseño	15	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█														
Materiales suministrado por el contratante	15							█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█	█							
Implementación	7																					█	█	█	█	█	█			
Pruebas y comisionamiento	2																												█	█
Entrega	1																													█

## Conclusiones

Para concluir, la implementación exitosa de la red FTTH balanceada con estándar GPON representa un avance vertiginoso en la conectividad de alta velocidad. A continuación, se presentan las conclusiones derivadas del diseño e implementación de nuestro proyecto.

- El diseño balanceado de la red optimiza el rendimiento y la distribución de recursos.
- Se certificó con éxito, bajo los parámetros permitidos, la red FTTH balanceada.
- El estándar GPON representa una solución avanzada para afrontar los retos de conectividad en la era digital.
- Se observó un incremento en un 200% en la velocidad de carga y descarga de datos. Esto permite satisfacer las demandas crecientes de ancho de banda de los usuarios.

## Recomendaciones

A continuación, se presentan las recomendaciones basadas en las lecciones aprendidas durante el proceso y ejecución de la red FTTH balanceada con estándar GPON del presente proyecto.

- Considerar el diseño de red FTTH balanceada para edificios y estructuras verticales especialmente en zonas urbanas. Además, se sugiere contar con personal capacitado en planta externa para realizar un buen estudio técnico del sitio (TSS) y, consecuentemente, realizar el diseño adecuado de la red.
- Para futuros proyectos, que la implementación de la red FTTH balanceada sea totalmente por ductos subterráneos, ya que en algunas zonas urbanas el cableado aéreo no está permitido por motivos de seguridad y estética urbana.
- Invertir en la mejora de la infraestructura de acceso a internet para lograr niveles altos de carga y descarga de datos, mejorar la experiencia del usuario y mantener la competitividad en el mercado de las telecomunicaciones.

## Referencias bibliográficas

- Agrawal, G. P. (2012). *Fiber-optic communication systems*. John Wiley & Sons.
- Aldabaldetrekú, G. y Durana, G. (2020). *Sistemas de comunicaciones ópticas*. Servicio Editorial de la Universidad del País Vasco.
- Alibaba (2024, marzo). *Componentes electrónicos, accesorios y telecomunicaciones*. Alibaba. <http://surl.li/sfvon>
- Bijani Chiquero, G. (2017). *UF1863: Instalación y configuración de dispositivos y servicios*. Editorial Elearning.
- Cablecel (2024, enero). *Cable de interior Riser 24 fibras (Holgada)*. cablecel. <https://www.cablecel.com/productos/ftth-ict2/fibra-riser-ftth/cable-de-interior-riser-24-fibras-holgada/>
- Cablescom (2023, diciembre). *Multitubo PKP*. cablescom. <https://www.cablescom.com/producto/multitubo-pkp/>
- Casanueva, I. (2023, agosto). *Fibra óptica, todo lo que necesitas saber*. 65ymas. <http://surl.li/sfvhl>
- Ciena (2024, marzo). *¿Qué es WDM o DWDM?*. ciena. <http://surl.li/sfvkx>
- De Luz, S. (2024, enero). *Qué es y cómo funciona la tecnología GPON: secretos técnicos*. redeszona. <https://www.redeszona.net/tutoriales/redes-cable/tecnologia-ftth-gpon-que-es-funcionamiento/>
- España Boquera, M. (2005). *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Diaz de Santos
- ETU-LINK. (2024, enero). *Ópticos transceptores. Introducción*. etulinktechnology. <http://surl.li/sfvjj>

- Fierro, Y. (2024, enero). *Fibras multimodo: clasificación, componentes y aplicaciones*. slideshare. <https://es.slideshare.net/yamirjoel/paper-ieee-fibra-multimodo>
- FOA (2024, enero). *Guía de referencia sobre fibra óptica de la FOA y Guía de estudio para la certificación de la FOA*. thefoa. <https://www.thefoa.org/ESP/index.htm>
- Galarza, D. A. (2023). *Diseño e implementación de una red de acceso FTTH mediante la tecnología GPON* [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma del Estado de Quintana Roo]. Repositorio Institucional UQROO. <http://risisbi.uqroo.mx/handle/20.500.12249/3312>
- Galicia Telecom. (2024, enero). *Todo lo que necesitas saber sobre la fibra óptica*. galiciatelecom. <https://www.galiciatelecom.com/blog/todo-lo-que-necesitas-saber-sobre-la-fibra-%C3%B3ptica>
- Gallardo Vázquez, S. (2015). *Elementos de sistemas de telecomunicaciones*. Paraninfo.
- Geronimo, C. (2024, enero). *Manual de comunicaciones por fibras ópticas*. academia. [https://www.academia.edu/40525169/Manual\\_Comunicaciones\\_OPTICAS](https://www.academia.edu/40525169/Manual_Comunicaciones_OPTICAS)
- Huidobro Moya, J. (2014). *Telecomunicaciones. Tecnologías, Redes y Servicios*. Grupo Editorial RA-MA. <http://surl.li/sfvgrw>
- intelbras (2024, enero). *Splitter Óptico Balanceado 1x8 con conector SC/APC*. intelbras. <https://www.intelbras.com/es/splitter-optico-balanceado-1x8-con-conector-sc-afc-xfs-182>
- ITU-T G.652 (2016). *Características de las fibras y cables ópticos monomodo*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652/es>
- ITU-T G.694.2 (2003). *Planes espectrales para las aplicaciones de multiplexación por división de longitud de onda: Plan de multiplexación por división aproximada de longitud de onda*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.694.2-200312-I/es>

- ITU-T G.984.1 (2008). *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-l/es>
- Irving (2024a, enero). *Tutorial de red óptica pasiva*. community.fs. <https://community.fs.com/es/article/passive-optical-network-tutorial.html>
- Irving (2024b, enero). *Visión general de la tecnología DWDM y los componentes del sistema DWDM*. community.fs. <https://community.fs.com/es/article/an-overview-of-dwdm-technology-and-dwdm-system-components.html>
- Kim, J. (2024, enero). *Fibra Óptica: ¿Qué es? ¿Y, cómo funciona?* dgtlinfra. <https://dgtlinfra.com/fiber-optics/>
- López, E. (2023, julio). *FTTH Course - Module 1*. Researchgate. <https://www.researchgate.net/profile/Eduardo-Lopez-Pastor-2>
- OPTRAL (2024, enero). *PKP Cable holgado multitubo*. optral. <https://optral.com/producto/pkp>
- Prat, J. (2008). *Next-generation FTTH passive optical networks*. Springer Science.
- Promax (2024, marzo). *Historia de la fibra óptica (III): Transmisión*. blogdepromax. <http://surl.li/sfvjc>
- Quezada, H. E. (2021). *Diseño de una red FTTH mediante el estándar GPON para la mejora de la calidad de servicio de internet en los hogares en el distrito de Chorrillos* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio Institucional Digital UNAC. <https://repositorio.unac.edu.pe/handle/20.500.12952/6605?locale-attribute=es>
- Sánchez, E. A. (2021). *Diseño y simulación de una red FTTH sobre GPON y la factibilidad de implementar el servicio de banda ancha en Monte Sinaí* [Tesis de licenciatura,

Universidad Católica de Santiago de Guayaquil]. Repositorio Digital UCSG.  
<http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/17162>

Seminario, R. Y. (2021). *Diseño de una red piloto FTTH utilizando estándar GPON, en modalidad de conmutación de datos por paquetes para el distrito de Miraflores-Lima* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura]. Repositorio Digital UNP.  
<https://repositorio.unp.edu.pe/items/7beaa893-5c15-46bf-ab96-d71c317c28f7>

Sparado, S. (2016). *Redes de fibra óptica*. Editorial de la Universitat Oberta de Catalunya

STL Tech. (2024, marzo). *Tipos de fibra óptica*. stl.tech. <https://stl.tech/blog/types-of-optical-fiber/>

SuperFiber (2024, marzo). *Productos de Fibra Óptica*. superfiber. <https://superfiber.pe/>

V.SOL. (2024, marzo). *¿En qué se diferencia xPON de EPON/GPON?*. vsolcn.  
<https://es.vsolcn.com/blog/xpon-vs-epon-vs-gpon.html>

WDC Networks (2024, enero). *ONT GPON G-0425G-C*. wdcnet. <http://surl.li/sfvpy>

Worton (2024, enero). *¿Qué debemos saber acerca de la tecnología CWDM?*  
community.fs. <https://community.fs.com/es/article/what-to-know-about-cwdm-technology.html>

YCICT (2024, enero). *ZTE ZXA10 C320 OLT*. ycict. <https://www.ycict.net/es/products/zte-zxa10-c320-olt/>

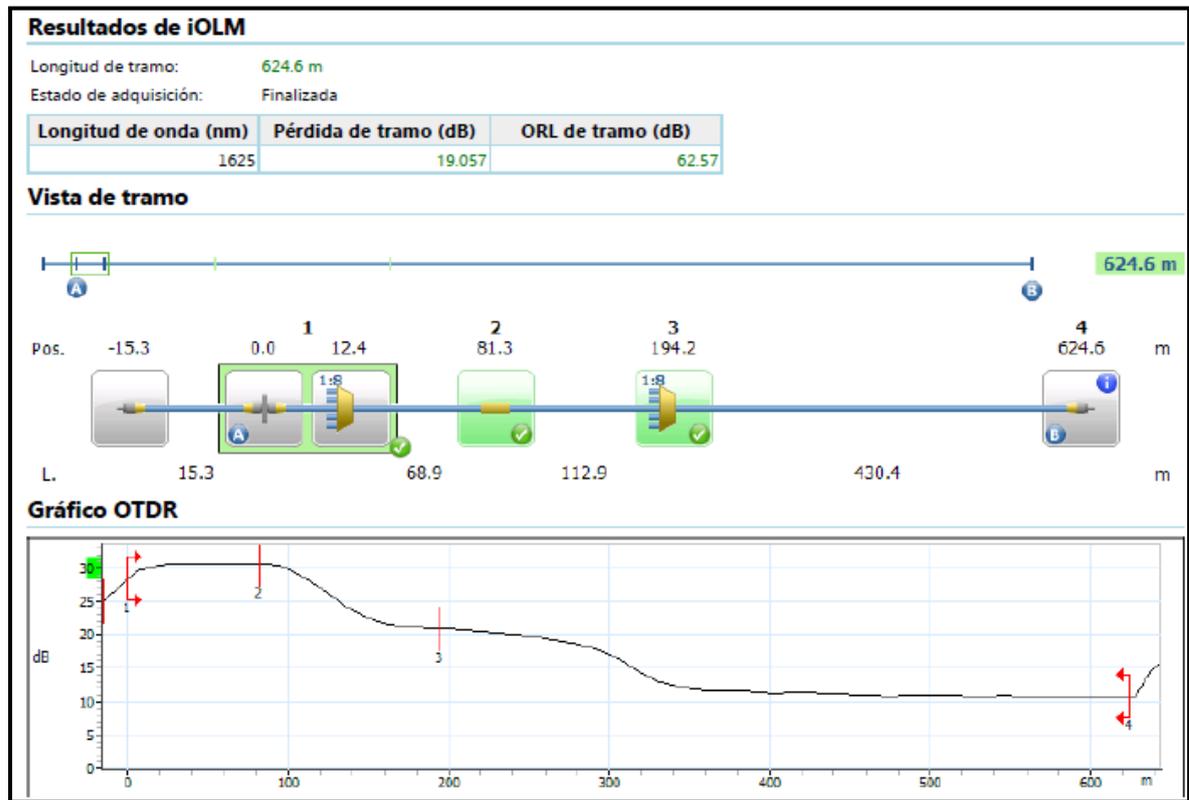
## **Anexos**

Anexo 1: Certificación del CTO 10 y CTO 17 .....	1
--	---

## Anexo 1

### Certificación del CTO 10 y CTO 17

Medición de iOLM con OTDR del CTO 10 perteneciente al splitter D04.



Medición de iOLM con OTDR del CTO 17 perteneciente al splitter D05.

