Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Eléctrica y electrónica

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Dimensionamiento e implementación de una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa en el distrito de Chorrillos

Para obtener el Título Profesional de Ingeniero de Telecomunicaciones

Elaborado por

Jeenert Celestino Espinoza Valenzuela

0009-0008-5624-7420

Asesor

Mg. Mauricio Pedro Galvez Legua

0000-0002-4845-4218

LIMA – PERÚ

2025

Citar/How to cite	Espinoza Valenzuela [1]
Referencia/Reference Estilo/Style: IEEE (2020)	[1] J. Espinoza Valenzuela, "*Dimensionamiento e implementación de una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa en el distrito de Chorrillos* " [Trabajo de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.

Citar/How to cite	(Espinoza , 2024)
Referencia/Reference Estilo/Style: APA (7ma ed.)	Espinoza, J. (2024). *Dimensionamiento e implementación de una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa en el distrito de Chorrillos* [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.

Dedicatoria

Al incondicional apoyo de mis padres Fidel Espinoza y Elena Valenzuela,

Y hermanos Fidel Espinoza, Oliver Espinoza.

Resumen

La Infraestructura actual del asentamiento humano Navidad de Villa, ubicado en el distrito de Chorrillos, opera sobre una red HFC (Híbrido Fibra Coaxial), lo que resulta baja velocidad de conexión, este tipo de tecnología presenta limitaciones en la prestación de servicios de datos, voz y video, lo que ha impactado negativamente en el desarrollo del trabajo remoto durante la pandemia. En respuesta a esta situación se plantea la modernización de la infraestructura de telecomunicaciones a través del “diseño y la la construcción de una red FTTH (Fibra óptica al Hogar) fundamentada en el la tecnología GPON (Red Óptica Pasiva Gigabit)”. Este método busca optimizar los servicios de telecomunicaciones, proporcionando una mayor velocidad de conexión y reduciendo costos, lo que beneficiará a los usuarios. Se establecerá la infraestructura necesaria que permite la transmisión eficiente de datos, garantizando altos niveles de capacidad, estabilidad y cobertura, emplearemos con un diseño preconectorizado desbalanceado utilizando divisores ópticos (plotters) con dos niveles de splitteria de 1x2 y 1x8. Se concluye que se logró mejorar las velocidades de carga hasta 104.16 Mbps y de descarga hasta de 52.08 Mbps, que permitió, de esta manera, un mejor uso del internet en el asentamiento humano Navidad de Villa.

Palabras Claves: banda ancha, banda de frecuencia, divisores ópticos, parámetros de dimensionamiento, internet fijo, transmisor, receptor, umbrales ópticos, tendido FO aéreo, tendido FO subterráneo, canalización, reflectómetro óptico, power meter.

Abstract

The current infrastructure of the human settlement Navidad de Villa, located in the district of Chorrillos, operates on a HFC network (Hybrid Fiber Coaxial), which results in low connection speed, this type of technology has limitations in the provision of data, voice and video services, which has had a negative impact on the development of remote work during the pandemic. In response to this situation, the modernization of the telecommunications infrastructure is proposed through the “design and construction of an FTTH (Fiber to the Home) network based on GPON (Gigabit Passive Optical Network) technology”. This method seeks to optimize telecommunications services, providing higher connection speed and reducing costs, which will benefit users. For the deployment of the transport network, an unbalanced preconnectorized design using optical splitters (plotters) with two splitter levels of 1x2 and 1x8 will be used. It is concluded that it was possible to improve upload speeds up to 104.16 Mbps and download speeds up to 52.08 Mbps, which allowed, in this way, a better use of the internet in the human settlement Navidad de Villa

Keywords: Broadband, frequency band, optical splitters, sizing parameters, fixed internet, transmitter, receiver, optical thresholds, overhead FO laying, underground FO laying, channeling, optical reflectometer, power meter.

Tabla de Contenido

Pág.

Resumen iv

Abstract v

Introducción xiii

Capitulo I. Parte introductoria del trabajo 1

1.1 Generalidades 1

1.2 Descripción del problema de investigación 2

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

Capitulo II. Marcos teórico y conceptual 5

2.1 Marco teórico 5

2.1.1 Fibra óptica 5

2.1.1.1 Fibra óptica multimodo 7

2.1.1.2 Fibra óptica monomodo 9

2.1.1.3 Ventajas de la fibra óptica 10

2.1.1.4 *Limitaciones de la fibra óptica* 11

2.1.2 Técnicas de trasmisión de fibra óptica 12

2.1.3 Red de acceso de fibra óptica FTTH 14

2.1.3.1 Arquitectura tipo árbol 16

2.1.3.2 Arquitectura tipo bus 17

2.1.3.3 Arquitectura tipo anillo 17

2.1.3.4 Arquitectura tipo árbol con anillo 18

2.1.4 Tecnologías xPON 19

2.1.4.1 Tecnología APON 19

2.1.4.2 Tecnología BPON 19

2.1.4.3 Tecnología GPON 20

2.1.4.4 Tecnología EPON 21

2.1.5 Tecnologías FTTx 22

2.1.5.1 Tecnología FTTN 22

2.1.5.2 Tecnología FTTC 23

2.1.5.3 La tecnología FTTB 24

2.1.5.4 Tecnología FTTH 24

2.2 Marco conceptual 26

2.2.1 Cálculo de potencia de recepción de un enlace FTTH GPON..... 26

2.2.2 Dimensionamiento de una red FTTH utilizando la tecnología GPON 28

2.2.3 Características de equipos de telecomunicaciones en una red FTTH 29

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación 31

3.1 Ubicación geográfica del proyecto 31

3.2 Dimensionamiento del tendido de fibra óptica 32

3.2.1 Diseño de la ruta de la troncal de fibra óptica..... 32

3.2.2 Diseño de la ruta de la red de distribución de fibra óptica 35

3.2.3 Diseño de las rutas de acceso a los abonados 36

3.3 Especificaciones técnicas del proyecto 42

3.3.1 Especificaciones técnicas de la fibra óptica..... 42

3.3.2 Especificaciones técnicas del equipamiento de la red FTTH..... 44

3.3.2.1 Transmisor OLT 44

3.3.2.2 Receptor ONT 46

3.3.2.3 Spliters 47

3.4 Implementación de la red FTTH 49

3.4.1 Implementación del tendido de troncal de fibra óptica 49

3.4.2 Implementación del tendido de distribución de fibra óptica 54

3.4.3 Implementación del tendido de acceso de fibra óptica 56

3.5 Pruebas de la red FTTH 63

3.5.1 Cálculo del presupuesto del enlace óptico, pérdidas de potencia 63

3.5.2 Cálculo de la tasa de velocidad por usuario 69

Capítulo IV. Analísis y discusión de resultados 70

4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico 70

4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico 71

4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico 72

Conclusiones 73

Recomendaciones 74

Referencias bibliográficas 75

Anexos 79

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1 Indicadores de logro de los objetivos. 3

Tabla 2 Comparación entre cableado UTP y Fibra Óptica. 11

Tabla 3 BPON Tasas de transmisión de señal de línea BPON. 20

Tabla 4 GPON Tasas de transmisión de señal. 21

Tabla 5 Comparación de 1G EPON y 10G EPON. 22

Tabla 6 Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x). 26

Tabla 7 Valores de referencia de los medios físicos dependientes (ITU-T G.984.x). 27

Tabla 8 Características de la fibra óptica Dieléctrico. 42

Tabla 9 Características de la fibra óptica. 43

Tabla 10 Características de la fibra Drop G.657 A2. 44

Tabla 11 Especificaciones técnicas del OLT MA5800-X17 de Huawei. 45

Tabla 12 Especificaciones técnicas del ONT EG8141A5 de Huawei. 46

Tabla 13 Especificaciones técnicas del Splitter de 1x8 balanceado. 47

Tabla 14 Especificaciones técnicas del Splitter de 1x2 desbalanceado. 48

Tabla 15 Pérdidas teóricas de diseño. 65

Tabla 16 Pérdidas de los enlaces. 66

Tabla 17 Potencia de recepción en los ONT. 67

Tabla 18 Margen ONT. 68

Tabla 19 Velocidad máxima de transferencia de datos en subida y bajada. 69

Tabla 20 Porcentaje de variación máxima de transferencia de datos en subida y bajada. 69

Tabla 21 Análisis de logro del primer objetivo específico. 70

Tabla 22 Cumplimiento de potencias de recepción en los ONT. 71

Tabla 23 Porcentaje de la velocidad de carga y descarga. 72

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Fabricación de la fibra óptica. 6

Figura 2 Ilustración de un cable óptico. 7

Figura 3 Propagación de los diferentes modos en una fibra multimodo. 8

Figura 4 Propagación a lo largo de una fibra multimodo de índice gradual. 8

Figura 5 Grafico de la dispersión de un pulso de luz por una fibra multimodo 9

Figura 6 Transmisión de la luz a lo largo de una fibra monomodo. 9

Figura 7 Dispersión de un pulso de luz por una fibra monomodo. 10

Figura 8 Enlace punto a punto en un pulso de luz por una fibra monomodo. 12

Figura 9 Tres maneras de trasmisión básica por fibra óptica. 13

Figura 10 Comunicación bidireccional. 14

Figura 11 Superposición de una red WDM. 15

Figura 12 Implementación típica de la superposición de servicios. 16

Figura 13 Topología tipo estrella. 16

Figura 14 Topología tipo bus. 17

Figura 15 Topología tipo anillo. 18

Figura 16 Topología tipo árbol con anillo. 18

Figura 17 Tecnología BPON. 20

Figura 18 Tecnología GPON. 21

Figura 19 Fibra hacia el vecindario. 23

Figura 20 Fibra hacia el gabinete. 23

Figura 21 Fibra hacia el edificio. 24

Figura 22 Fibra hacia la casa. 25

Figura 23 Redes FTTH con FTTC, FTTN, FTTB, VDSL. 25

Figura 24 Representación esquemática del trayecto óptico entre OLT y las ONTs. 28

Figura 25 Diagrama de una red FTTH utilizando el estándar GPON 28

Figura 26 Bloques funcionales del OLT. 29

Figura 27 OLT Huawei MA5801. 29
Figura 28 Bloques funcionales de la ONU. 30
Figura 29 ONT Huawei EG8145v5. 30
Figura 30 Mapa del distrito de Chorrillos. 31
Figura 31 Mapa del asentamiento humano Navidad de Villa. 32
Figura 32 Ubicación del Hub Chorrillos. 32
Figura 33 Ruta del tendido por cámaras. 33
Figura 34 Ruta del tendido por Avenida Paseo de la República. 33
Figura 35 Ruta del tendido por Av. Las Gaviotas hasta calle los Gorriones. 34
Figura 36 Ruta del tendido por Av. Confraternidad. 34
Figura 37 Ruta del tendido por calle Belén. 34
Figura 38 Ruta de distribución al primer Hub Boxs. 35
Figura 39 Ruta de distribución del segundo Hub Boxs. 36
Figura 40 Ruta de distribución del tercer Hub Boxs. 36
Figura 41 Diagrama de la distribución a los abonados del primer distribuidor. 37
Figura 42 Ruta de la distribución a los abonados del primer distribuidor. 37
Figura 43 Ruta de la distribución a los abonados del segundo distribuidor. 38
Figura 44 Ruta de la distribución a los abonados del segundo distribuidor. 38
Figura 45 Diagrama de la distribución a los abonados del tercer distribuidor. 39
Figura 46 Ruta de la distribución a los abonados del tercer distribuidor. 39
Figura 47 Representación de 15 hogares proyectados. 40
Figura 48 Representación de 16 hogares no proyectados. 41
Figura 49 Diagrama de la red FTTH. 41
Figura 50 Diseño de la red FTTH. 42
Figura 51 Cable fibra óptica de 48 hilos. 43
Figura 52 Cable de fibra óptica de 1 Hilo para abonados. 44
Figura 53 OLT MA5800-X17 de Huawei. 45
Figura 54 ONT EG8141A5 de Huawei. 46

Figura 55 Splitter de 1x8. 47
Figura 56 Splitter de 1x2 desbalanceado. 48
Figura 57 Inicio del trabajo con charla de seguridad por 5 minutos. 49
Figura 58 Desinfección de manos. 50
Figura 59 Tendido subterráneo en Av. República de Panamá. 51
Figura 60 Cala en Av. Paseo de la Republica 1725. 51
Figura 61 Empalme recto fibra de 144 hilos. 52
Figura 62 Mufa de empalme recto fibra de 144 hilos. 52
Figura 63 Instalación de postes de 9 m. 53
Figura 64 Despliegue de la red en postes de Luz del Sur. 53
Figura 65 Empalme de Closure en calle Belén. 54
Figura 66 Instalación Closure en calle Belén vista de cerca. 54
Figura 67 Instalación Closure en calle Belén. Vista de panorámica. 55
Figura 68 Tendido de fibra óptica de distribución. 55
Figura 69 Instalación Hub Boxs 2 en calle Belén al frente de la Mz J LT16. 56
Figura 70 Zona sin cobertura debido a oposición vecinal. 57
Figura 71 Caja final pasante número 3. 58
Figura 72 Liniero mostrando sus EPPS completos. 59
Figura 73 Medición de altura con pértiga. 59
Figura 74 Medición de potencia caja terminal 5. 61
Figura 75 Medición de OTDR de una caja terminal final. 61
Figura 76 Medición de OLTS de una caja terminal final 4. 62

Introducción

El uso del internet es requerimiento fundamental. Diariamente, las personas lo emplean para realizar actividades educativas, reuniones de carácter laboral, pago de servicios, redes sociales etc. Por ello, el presente trabajo se enfoca a aumentar su velocidad realizando el dimensionamiento e implementación de red FTHH utilizando la tecnología GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa en el distrito de Chorrillos. Con este aporte, se pretende mejorar la calidad del servicio primordial para el desarrollo de la población, poder interactuar con las distintas plataformas digitales, etc. La presente investigación está dividida por cuatro capítulos.

El primer capítulo, conocido como la sección de introducción donde describe las generalidades, descripción del problema de investigación, los objetivos generales, objetivos específicos e indicadores de logros.

El segundo capítulo, Marcos teórico y conceptual, describe los conceptos relacionados a las redes de fibra óptica, funcionamiento general, tipos de arquitectura de red etc. En el Marco conceptual se detallan los cálculos de presupuestos de atenuación óptica, dimensionamiento de la red FTTH y las características de los equipos de telecomunicaciones a utilizar.

En el tercer capítulo, "Desarrollo del trabajo de investigación," abarca tanto su diseño y dimensionamiento, incluyendo las características técnicas, la implementación de la red FTTH y las pruebas de funcionamiento.

En el cuarto capítulo, "Análisis y discusión de resultados," presenta el grado de cumplimiento de los objetivos, las conclusiones del estudio, recomendaciones, la bibliografía utilizada y los anexos.

Capitulo I. Parte introductoria del trabajo

1.1 Generalidades

En el asentamiento humano Navidad de Villa, ubicado en el distrito de Chorrillos, es de suma importancia contar con un servicio de internet de alta velocidad, porque permite tener un acceso adecuado a diversos servicios de datos, voz y video, que ofrece internet como son la educación a distancia, teletrabajo, telemedicina, entretenimiento, etc.

La población actual del asentamiento humano tiene un acceso de internet de baja velocidad. Este ocasiona que no pueda acceder a los servicios que exigen internet de alta velocidad como videos en alta definición, televisión en HD, descarga y carga de altos volúmenes de información, educación a distancia etc.

Por lo expuesto anteriormente, se propone optimizar el servicio de internet en el asentamiento humano Navidad de Villa, ubicado en el distrito de Chorrillos, a través del diseño y el despliegue de una red FTTH basada en la tecnología GPON. Este estándar se caracteriza por ofrecer altas velocidades de transmisión, lo que facilita un acceso más eficiente y mejorado a los servicios de internet.

Se detalla el dimensionamiento e implementación de la red de trasporte desbalanceada con elementos pasivos, ventanas para la trasmisión de datos, atenuación, margen, sensibilidad; así como características técnicas de los dispositivos de telecomunicaciones necesarios incluyen equipos de medición, empalmadoras, certificadores, entre otros. Estos equipos son fundamentales para garantizar que la red este correctamente instalada validada y mantenida, asegurando que la infraestructura satisfaga los estándares de calidad y rendimiento.

1.2 Descripción del problema de investigación

En esta sección se detalla la problemática que sustenta el estudio, junto con la identificación del problema a resolver y la propuesta de solución.

1.2.1 Situación problemática

El asentamiento humano Navidad de Villa padece de una baja velocidad de internet debido a que la infraestructura existente se basa en una red híbrida de coaxial y fibra óptica (HFC), por lo no se tiene un tendido del 100 % de fibra óptica desde el trasmisor OLT hasta los receptores ONT.

1.2.2 Problema a resolver

Deficiente acceso a internet y una baja calidad en los servicios de datos, voz y video en el asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos.

1.3 Objetivos del estudio

En esta sección, se redactan el objetivo general, los objetivos específicos y los indicadores de logro por cada uno de los objetivos específicos.

1.3.1 Objetivo general

“Dimensionar e implementar una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos”.

1.3.2 Objetivos específicos

Los objetivos específicos que ayudarán a cumplir con el objetivo general serán los siguientes:

1. Dimensionar una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos.
2. Implementar una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos.
3. Mejorar los tiempos de acceso a internet y a los servicios de datos, voz y video.

1.3.3 Indicadores de logro de los objetivos

Tabla 1

Indicadores de logro de los objetivos.

N°	Objetivo Especifico	Indicador de logro	Métrica
1	Dimensionar una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano "Navidad de Villa" del distrito de Chorrillos.	Diagrama de la arquitectura de la red FTTH. Especificaciones técnicas del cableado y equipamiento a emplear en la implementación de la solución.	**Documento** **Documento**
2	Implementar una red FTTH utilizando el estándar GPON para el asentamiento humano "Navidad de Villa" del distrito de Chorrillos.	Potencia de recepción en ONT>= -27dbm.	**Dbm**
3	Mejorar los tiempos de acceso a internet y a los servicios de datos, voz y video	Se mejora en 400% porciento carga Se mejora en 400% porciento descarga	**Porcentaje**

1.4 Antecedentes investigativos

Respecto al tema propuesto, se han realizado varias investigaciones sobre el dimensionamiento y ejecución de conectividad fibra óptica al residencial. De estas investigaciones, se citarán a continuación alguna que tienen relación con el trabajo propuesto.

Pachas (2018) realizó la tesis de investigación denominada "Diseño de una red FTTH con despliegue de fibra óptica mediante el sistema de alcantarillado en el distrito de El Agustino", el autor planteó una propuesta de diseño de una red FTTH basado en un sistema de alcantarillado como alternativa de mejora del consumo de datos para los abonados. Se lleva a cabo un análisis detallado de los requisitos de velocidad de flujo de datos con el propósito de garantizar un desempeño óptimo de la red. Para ello, se sugiere la construcción de una red de utilizando splitters, para ello realiza el dimensionamiento de los puertos GPON a utilizar asociando 1 puerto GPON a un máximo de 32 hogares, determina las rutas de cable de fibra óptica y su distribución, realiza un análisis de dispersión para garantizar la ausencia de interferencias

En el presente trabajo nos enfocaremos con más detalle en la implementación de la red por medio aéreo. Para ello, se emplearán postes existentes de la empresa Luz del Sur y en algunos tramos se instalarán nuevos postes.

Uriel (2021) desarrollo “la tesis, titulada Implementación de una red FTTH para mejorar la calidad del servicio de internet en el distrito de San Juan de Lurigancho, para la empresa Best Cable Perú SAC en el año 2021” propuso optimizar la velocidad de internet utilizando la metodología Scrum, esta metodología se basa en un enfoque iterativo e incremental, permitiendo una entrega continua de valor a través de ciclos de desarrollo cortos llamados sprints. La implementación permitió brindar el servicio de datos a altas velocidades para la cual se realizó la ejecución y despliegue de red, ahora bien, se realizó recopilación de información en, configuración de equipos en la sala de transmisión y su correspondiente validación de potencia en los dispositivos terminales. Se llega a ejecutar con éxito el despliegue de red, realizando configuración de equipos de transmisión y recepción, tendido aéreo y pruebas de potencia en los dispositivos terminales.

Arias (2015) desarrolló la tesis titulada “Diseño de una red FTTH utilizando el estándar GPON en el distrito de Magdalena del Mar” el autor mejoró porcentualmente el acceso a la banda ancha, en relación a otras naciones de Sudamericanos. Para este propósito, se lleva a cabo un diagnóstico integral que abarca tanto la situación presente de la velocidad del flujo de datos como el nivel socioeconómico del distrito. Además, se desarrolla el marco teórico esencial para comprender los términos clave relacionados con el diseño de la red. Luego, se especifican los cálculos asociados al dimensionamiento de red asegurando un desempeño óptimo y eficiente.

Capitulo II. Marcos teórico y conceptual

Este capítulo está dividido en dos partes. En el marco teórico se explican los conceptos de fibra óptica hasta el hogar conocida como FTTH (Fiber To The Home), funcionamiento general, arquitectura de red, redes ópticas pasivas (PON), tecnologías FTTx, instalación de la red FTTH. En el marco conceptual, se especifican los cálculos de la atenuación de tramo, tasa de trasmisión de datos y explicación de los dispositivos instalados en la construcción de la red FTTH.

El siguiente capítulo contiene una descripción general de una red FTTH. Posteriormente, se describe el diseño de una red FTTH, así como sus características más relevantes.

2.1 Marco teórico

Se detallan los conceptos de red de FTTH utilizados en el desarrollo del presente trabajo, los cuales provienen de diversas fuentes académicas.

2.1.1 Fibra óptica

Es un elemento fundamental en las telecomunicaciones modernas. Su estructura, que puede ser de material de vidrio o plástico, la luz pase a través de estos medios mediante una serie de reflexiones internas sucesivas. Este mecanismo es fundamental para transmitir datos a alta velocidad y con baja pérdida de señal. La información se convierte de señales eléctricas a señales luminosas mediante transductores. Estos transductores iniciales transforman la información que se quiere en haces de luz, que se propagan a través del medio óptico. Una vez que la señal llega a su destino, otros transductores realizan la conversión inversa, recuperando la señal original para su uso (Grazzini, 2020, p.15).

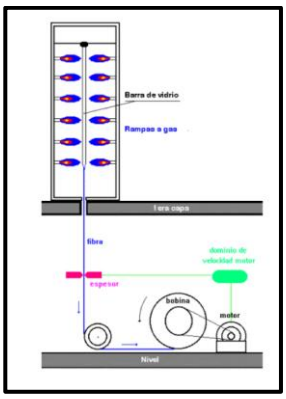
Los circuitos ópticos están hechos de filamentos de vidrio o plástico que transmiten señales que viajan a través de ellos continuamente de un extremo a otro, incluso alrededor

de curvas y esquinas. Hoy en día, las fibras ópticas se pueden utilizar en redes globales, así como en pequeños entornos independientes (como sistemas de procesamiento de datos en aviones), al igual que las líneas de cobre tradicionales. La red troncal óptica sirve como un ejemplo de esto (Rodríguez, 2009, p.6).

El proceso de producción de fibra óptica implica unir una varilla de vidrio cilíndrica que está montada concéntricamente con un tubo. La barra obtenida se utilizará verticalmente en una torre de un segundo piso que se calienta mediante rampas de gas. A continuación, el vidrio se estirará y se enrollará en una bobina antes de cubrirlo con una capa protectora que tiene un espesor de aproximadamente 230 um. Con una, esta varilla de 1 metro de longitud puede utilizarse para estirar una fibra monomodo de aproximadamente 150 km de longitud (Rodríguez, 2009, p. 7)

Figura 1

Fabricación de la fibra óptica.

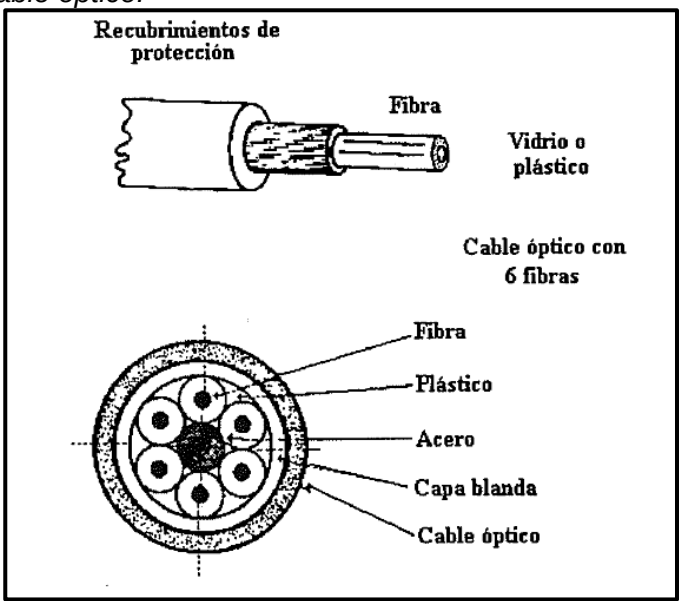


Nota: Tomado de Rodríguez (2009, p.7).

“Las fibras ópticas pueden tener uno o varios recubrimientos plásticos, pueden estar acompañadas de uno o varios alambres de acero para darles rigidez mecánica, o estar agrupadas en cables de fibras ópticas” (Jardon & Linares, 1995, p.10).

Figura 2

Ilustración de un cable óptico.



Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.10).

2.1.1.1 Fibra óptica multimodo

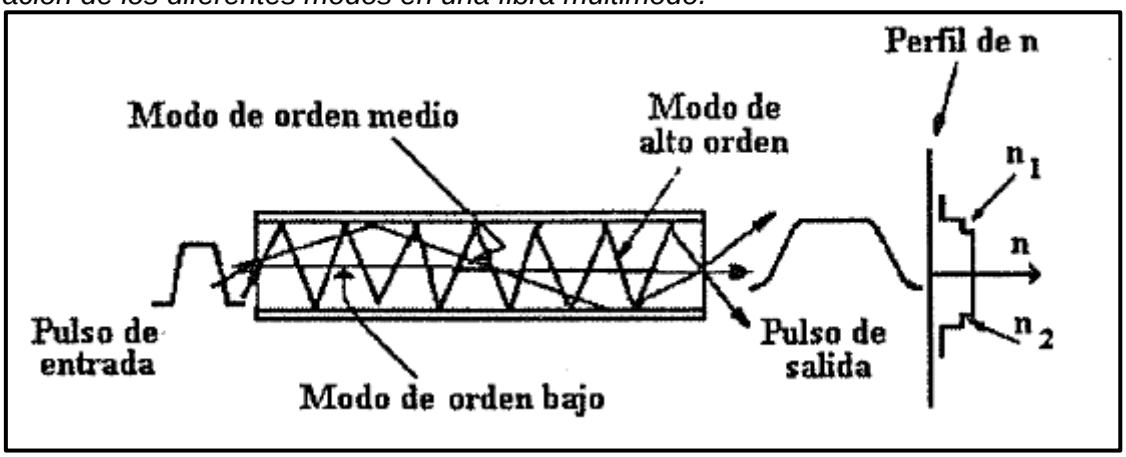
"La fibra óptica multimodo es un tipo de cable de transmisión de datos que permite la propagación simultánea de múltiples modos de luz a través de su núcleo, el cual es más amplio en comparación con la fibra monomodo. Debido a esta característica, es ideal para conexiones de corta y media distancia, ya que presenta una mayor dispersión modal, lo que puede limitar su alcance en comparación con la fibra monomodo. Su uso es común en redes locales (LAN), sistemas de video vigilancia y aplicaciones donde se requiere un alto ancho de banda en distancias relativamente cortas. (Keiser, 2022, p. 50).

La fibra óptica multimodo se divide de la siguiente manera:

Multimodo de Índice abrupto: La fibra óptica de índice escalonado es un tipo de fibra multimodo que se caracteriza por contar con un núcleo cuyo índice de refracción se mantiene constante, mientras que el revestimiento que lo rodea posee un índice de refracción inferior. Esta estructura provoca que los rayos de luz se desplacen en trayectorias zigzagueantes dentro del núcleo, reflejándose bruscamente en los límites entre el núcleo y el revestimiento” (Keiser, 2022, p. 58).

Figura 3

Propagación de los diferentes modos en una fibra multimodo.



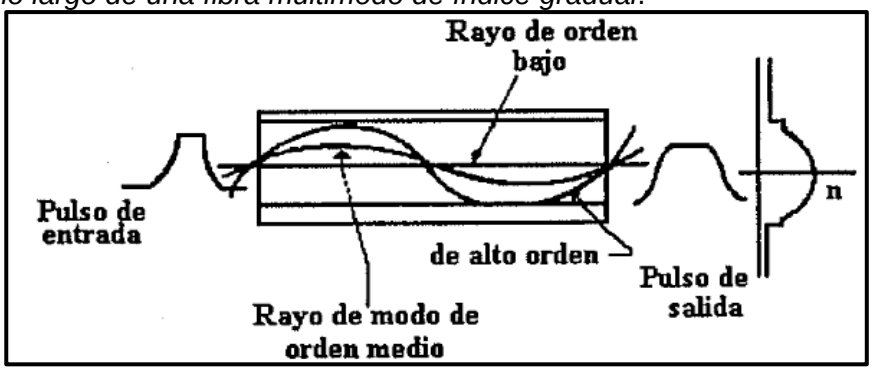
Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p. 31).

Multimodo de índice gradual: Es en la que “el núcleo posee un perfil de índice de refracción que varía de manera gradual desde el centro hasta el revestimiento, lo que reduce la dispersión modal y mejora la transmisión de la señal" (Keiser, 2022, p. 60).

Esta variación permite que los haces de luz sigan trayectorias curvas en lugar de reflejarse abruptamente, lo que reduce la dispersión modal y mejora la eficiencia de la transmisión (Keiser, 2022, p. 60)

Figura 4

Propagación a lo largo de una fibra multimodo de índice gradual.

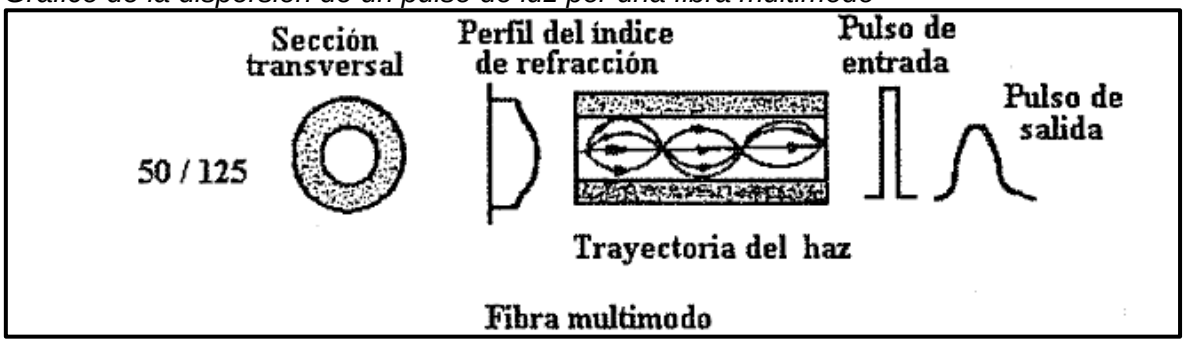


Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.32).

A continuación, se muestra dispersión de un pulso de luz por una fibra multimodo con un núcleo de 50 micras y recubrimiento de 125um.

Figura 5

Gráfico de la dispersión de un pulso de luz por una fibra multimodo



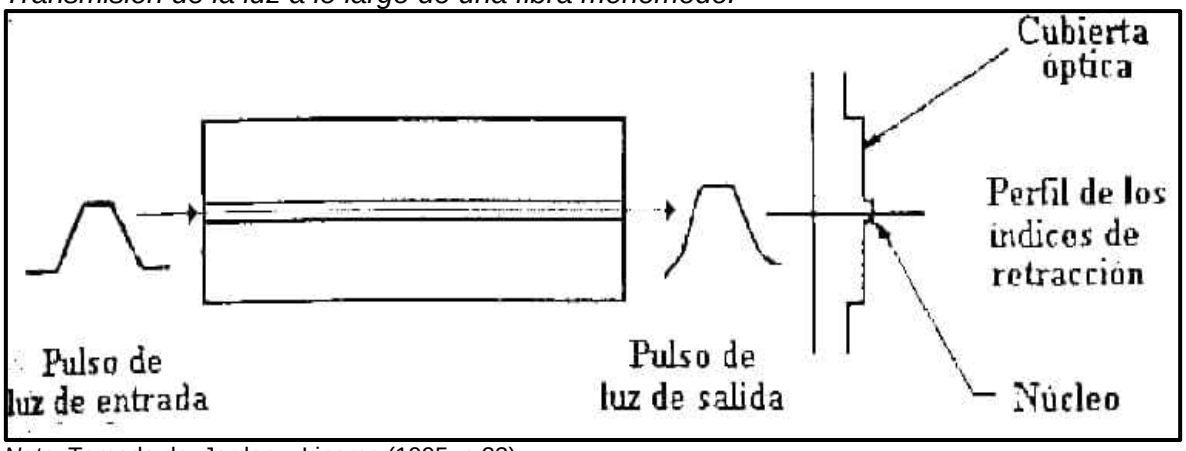
Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.34).

2.1.1.2 Fibra óptica monomodo

Es un canal que permite la propagación de luz a través de un único modo, lo cual es viable debido a su núcleo de pequeño diámetro. Esta característica minimiza la dispersión modal, permitiendo una transmisión más eficiente a largas distancias y con un alto ancho de banda. Debido a su baja atenuación y estabilidad en la señal, la fibra monomodo es ampliamente utilizada en redes de telecomunicaciones, enlaces de larga distancia y sistemas que requieren elevada trasferencia de datos" (Keiser, 2022, p. 45).

Figura 6

Transmisión de la luz a lo largo de una fibra monomodo.

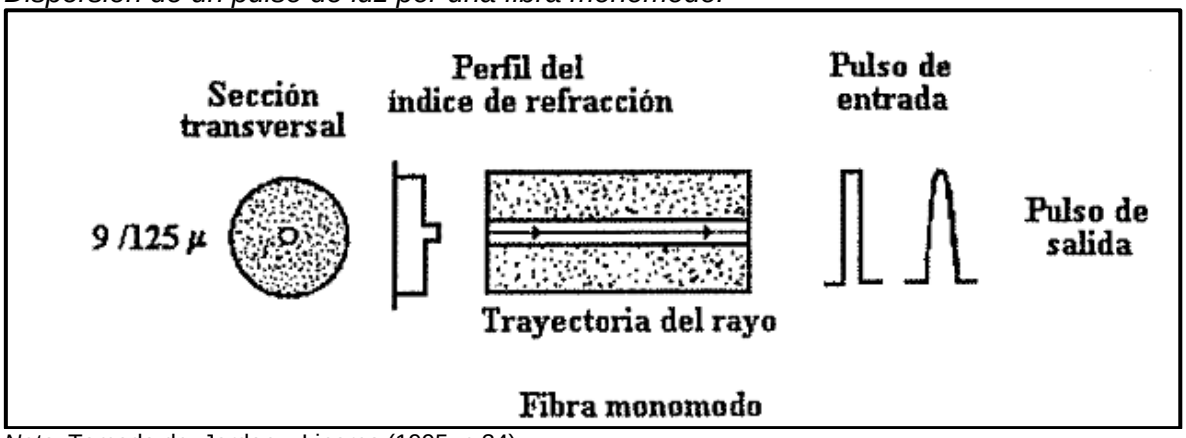


Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.33).

A continuación, se muestra dispersión de un pulso de luz por una fibra monomodo, con un núcleo de 9 micras y recubrimiento de 125um.

Figura 7

Dispersión de un pulso de luz por una fibra monomodo.



Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.34).

2.1.1.3 Ventajas de la fibra óptica

A continuación, se describe algunas de las ventajas de la fibra óptica.

- **Mayor ancho de banda**: la fibra es un medio físico que puede manejar muchas canales independientes a la vez, debido a su alta capacidad de trasmisión información, permite manejar muchos canales independientes de manera simultánea.
- **Bajas perdidas**: Se pueden realizar líneas de 50 km sin estaciones repetidoras gracias a la baja atenuación y baja dispersión de la fibra óptica.
- **Tamaño reducido**: La instalación de un canal de comunicaciones es adecuada debido al pequeño diámetro de una fibra óptica. Estas se pueden instalar en medios aéreos, subterráneos, sala de computadoras para conexiones entre equipos, etc.
- **Inmunidad radio frecuencia (RFI) y a las interferencias electromagnéticas (EMI) y de:** las fibras ópticas que solo permiten que la luz viaje a través de ellas son perfectas para la transmisión EM/RFI porque no irradian y no se ven afectas por energía electromagnética de ningún tipo.

Tabla 2

Comparación entre cableado UTP y Fibra Óptica.

Cuestiones de implementación	Cableado UTP	Cableado de fibra óptica
Ancho de banda admitido	10Mb/s-10GB/s	10Mb/s-10GB/s
Distancia	Relativamente corta (de 1 a 100m)	Relativamente extensa (de 1 a 100000m)
Inmunidad a EMI y RFI	Baja	Alta (totalmente inmune)
Inmunidad a los peligros eléctricos	Baja	Alta (totalmente inmune)
Costos de medios y conectores	Menores	Mayores
Habilidades de instalación requeridas	Menores	Mayores
Precauciones de seguridad	Menores	Mayores

Nota: https://www.syscomblog.com/2016/08/cableados-verticales-backbone-de-fibra.html (Cableados verticales de cables Ópticos).

2.1.1.4 *Limitaciones de la fibra óptica*

A continuación, se describen algunas limitaciones en el uso de la fibra óptica.

- **Alto costo de instalación**: La implementación de infraestructuras de fibra óptica requiere una inversión significativa en materiales y mano de obra especializada (Keiser, 2022).
- **Fragilidad del material**: Las fibras ópticas, especialmente las de vidrio, son más frágiles que los cables de cobre, lo que las hace susceptibles a daños durante la instalación o por tensiones mecánicas (Keiser, 2022).
- **Dificultad en la reparación**: Si un cable de fibra óptica se rompe, su reparación es más compleja y costosa en comparación con los cables de cobre. Se requieren herramientas y técnicas especializadas, como la fusión de fibras o el uso de conectores de alta precisión. - (Keiser, 2017).
- **Sensibilidad a factores ambientales:** Aunque inmune a interferencias electromagnéticas, la fibra óptica puede verse afectada por factores ambientales extremos, como humedad o exposición a químicos, que degradan su rendimiento con el tiempo. (Keiser, 2022).

2.1.2 Técnicas de trasmisión de fibra óptica

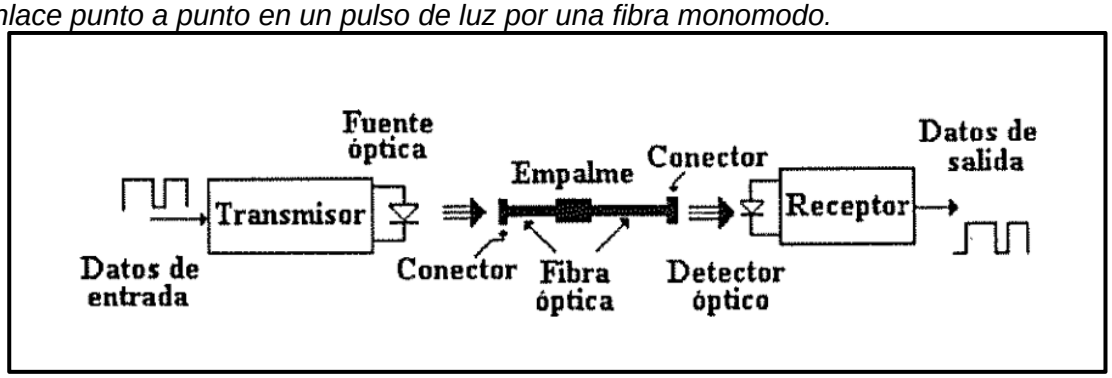
La información en este tipo de tecnología se transmite en forma de ondas electromagnéticas guiadas o rayos de luz. Las ondas son idénticas, salvo por su frecuencia de funcionamiento. Estos sistemas, al igual que los sistemas de comunicación por radio, necesitan transductores para acondicionar la señal utilizable que se envía y se recibe. Los sistemas necesitan transductores, al igual que los sistemas de comunicaciones por radio, para acondicionar la señal útil que se envía y recibe. El transductor es necesario para que el transmisor transforme las ondas de luz en ondas de voltaje y corriente. El transmisor para transformar las ondas de luz en ondas de voltaje y corriente necesita un transductor. (Jardon & Linares, 1995, p.5).

En un sistema de comunicaciones basado en fibra óptica, los principales componentes incluyen las fuentes ópticas, los cables de fibra óptica, los conectores. Los dispositivos que convierten las señales de voltaje y corriente en emisiones de luz se conocen como fuentes ópticas. Los empalmes de fibras ópticas se denominan empalmes. El transmisor y el receptor suelen estar conectados a la fibra óptica mediante conectores. (Jardon & Linares, 1995, p.9).

A continuación, se presenta esquema de un sistema de telecomunicaciones mediante fibra óptica en arquitectura punto a punto.

Figura 8

Enlace punto a punto en un pulso de luz por una fibra monomodo.

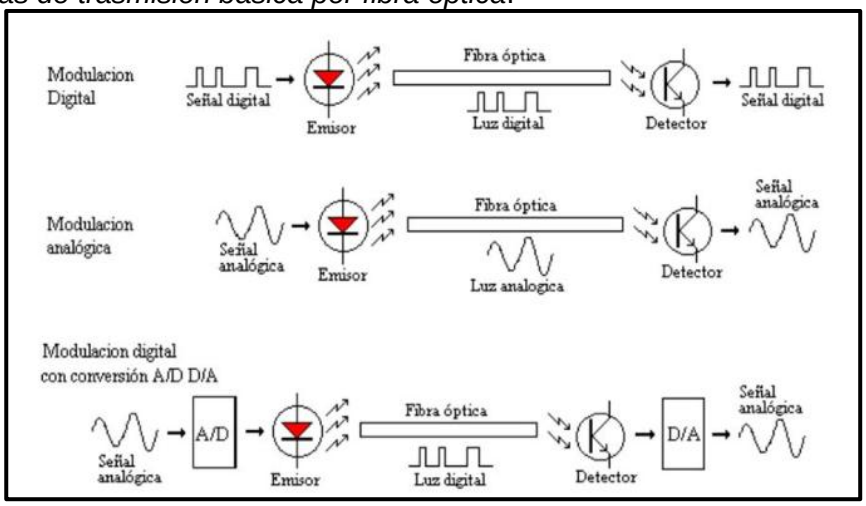


Nota: Tomado de Jardon y Linares (1995, p.5).

Para la transmisión de datos es necesario contar con una fuente de luz, como un láser o un diodo LED. Conectada a la fibra, la luz modificada se envía al otro extremo, donde es captada por un detector óptico, que luego recupera la señal original. (Grazzini, 2020, p.21).

Figura 9

Tres maneras de trasmisión básica por fibra óptica.



Nota: de Grazzini (2020, p.21).

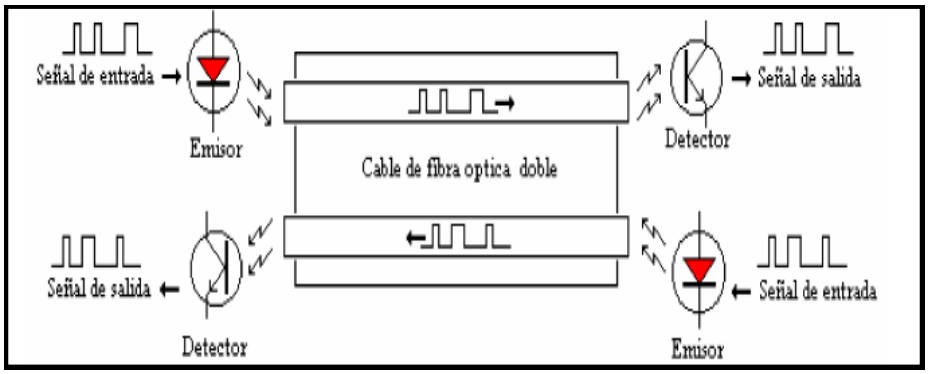
La modulación en fibra óptica se refiere al proceso mediante el cual se varían ciertos parámetros de la señal luminosa, como la intensidad, la fase o la frecuencia, con el fin de codificar y transmitir información a través del medio óptico. (Grazzini, 2020, p.22).

- La modulación digital en fibra óptica es un proceso mediante el cual se ajustan determinados parámetros de la señal luminosa, como la intensidad, la fase o la frecuencia, con el propósito de representar y transmitir datos en formato binario.
- La modulación analógica en fibra óptica consiste en la variación continua de parámetros de la señal luminosa, como la amplitud, la fase o la frecuencia, de acuerdo con la señal de información, permitiendo la transmisión eficiente de datos.
- Para resolver el problema de la modulación analógica, se puede convertir la señal analógica a digital A/D, después de modular digitalmente la fuente de transmisión utilice un convertidor D/A para recuperar la señal original.

La transmisión bidireccional la transmisión bidireccional por fibra óptica es un proceso en el cual la comunicación de datos se lleva a cabo en ambos sentidos a través de un mismo enlace, utilizando técnicas como la multiplexación en longitud de onda o la división temporal para optimizar el uso. Este enfoque optimiza el uso del medio de transmisión, reduciendo la cantidad de fibra requerida y mejorando la eficiencia en redes de telecomunicaciones" (Keiser, 2022, p. 90)

Figura 10

Comunicación bidireccional.



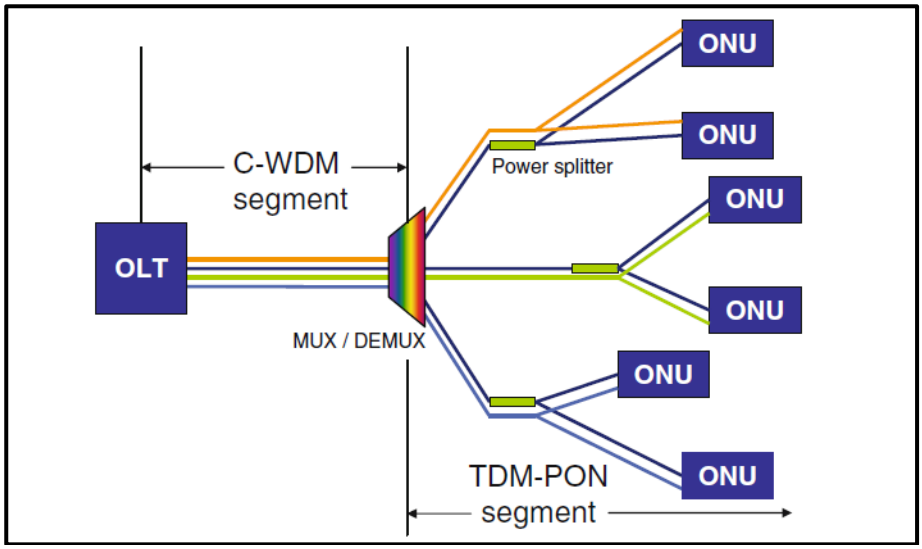
Nota: Tomado de Grazzini (2020, p.22).

2.1.3 Red de acceso de fibra óptica FTTH

Una red de acceso de fibra óptica al hogar es una infraestructura de telecomunicaciones en la que el cable óptico se extiende hasta la vivienda del cliente, distribuyendo una transmisión de datos de gran velocidad y optimizando el desempeño de las prestaciones de internet, voz y video. La tecnología FTTH elimina las limitaciones de las redes tradicionales basadas en cobre, garantizando un rendimiento óptimo y facilitando la expansión de aplicaciones avanzadas en telecomunicaciones" (Keiser, 2022, p. 115).

Figura 11

Superposición de una red WDM.



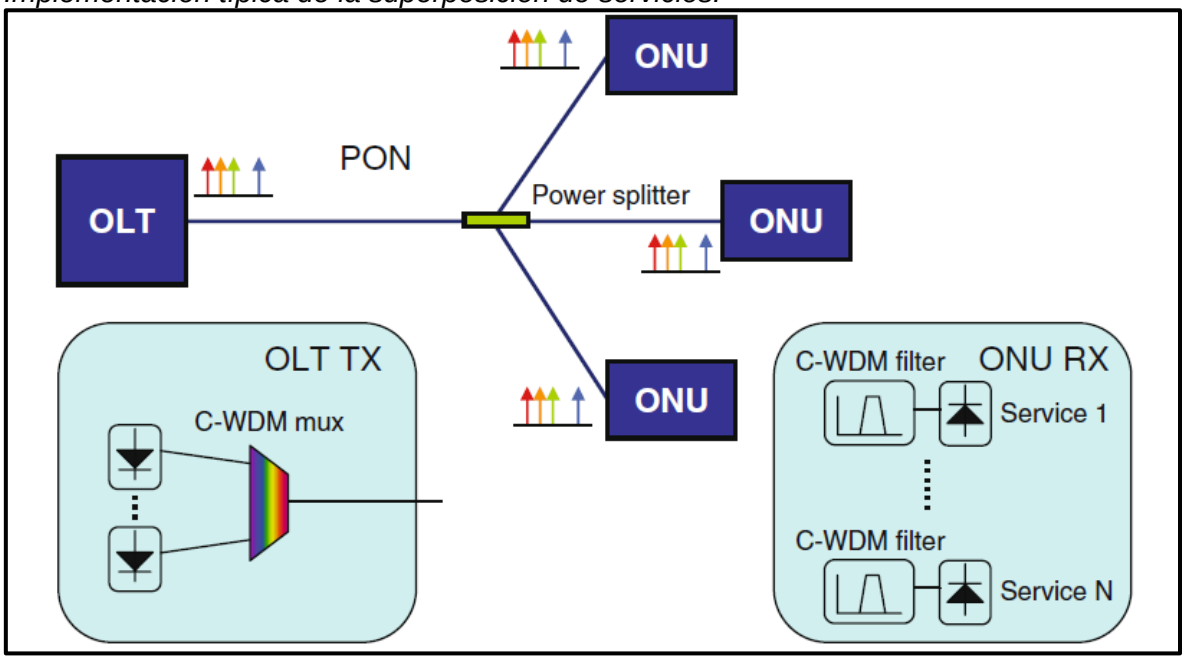
Nota: Tomado de Prat (2008, p.14).

Un uso interesante del CWDM en el acceso es ofrecer diferentes servicios en diferentes canales, la capacidad de red aumenta por un factor igual número de longitud de onda utilizada, lo que posibilita un incremento proporcional en la cantidad de servicios planificados. El equipo CWDM está ubicado en la OLT y las ONT, los filtros CWDM en la ONT de multiplexan los diferentes servicios que se entregan. Al mismo tiempo, diferentes interfaces CWDM en la OLT trasmiten los diferentes servicios que se ofrecen. Diferentes servicios de video, datos, voz pueden ser entregados utilizando diferentes longitudes de onda (Prat, 2008, p.15).

Este un método que permite la “transmisión simultánea de varias señales ópticas, cada una con una longitud de onda distinta, a través de una única fibra. Esta técnica optimiza el uso del ancho de banda y mejora la eficiencia”. (Prat, 2008, p.15).

Figura 12

Implementación típica de la superposición de servicios.



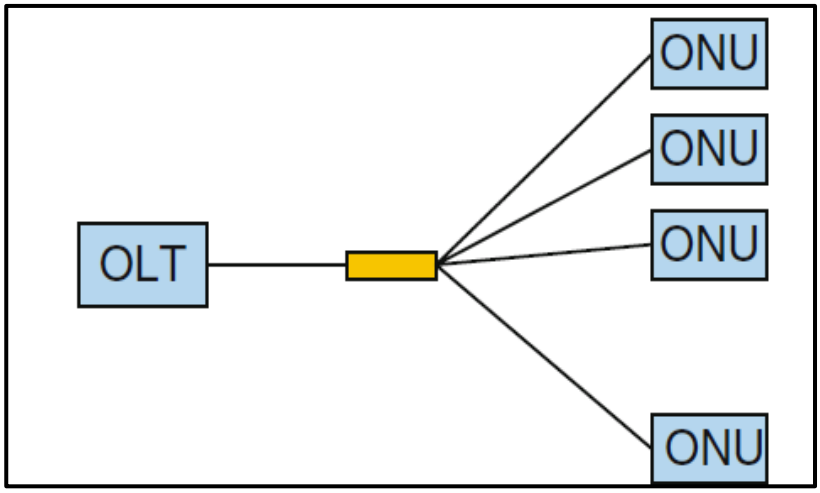
Nota: Tomado de Prat (2008, p.15).

2.1.3.1 Arquitectura tipo árbol

Señala que el más utilizado en redes de acceso utiliza una sola fibra desde el OLT a un punto de división intermedio, a partir de este punto de división, hay una fibra para cada ONT conectada a la red. (Prat, 2008, p. 26).

Figura 13

Topología tipo estrella.



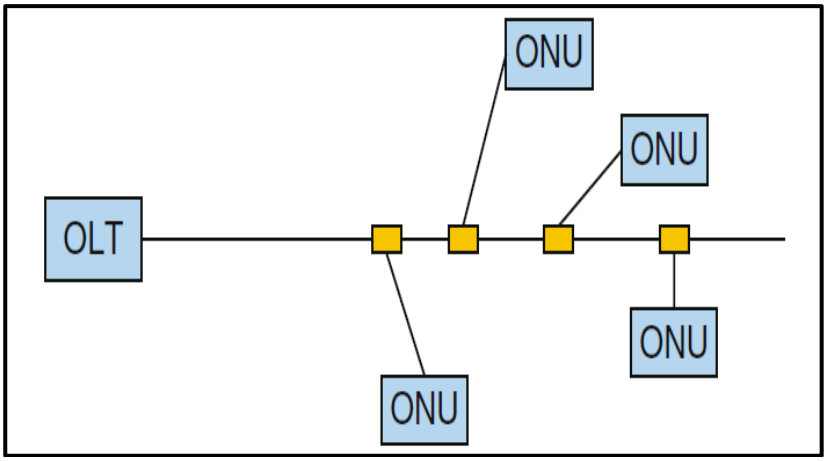
Nota: Tomado de Prat (2008, p.26).

2.1.3.2 Arquitectura tipo bus

Una red de arquitectura tipo bus es un sistema de comunicación en el que todos los nodos están conectados a un único medio de transmisión compartido, generalmente un cable principal, permitiendo la transmisión y recepción de datos de manera secuencial entre los dispositivos conectados (Prat, 2008, p. 28).

Figura 14

Topología tipo bus.



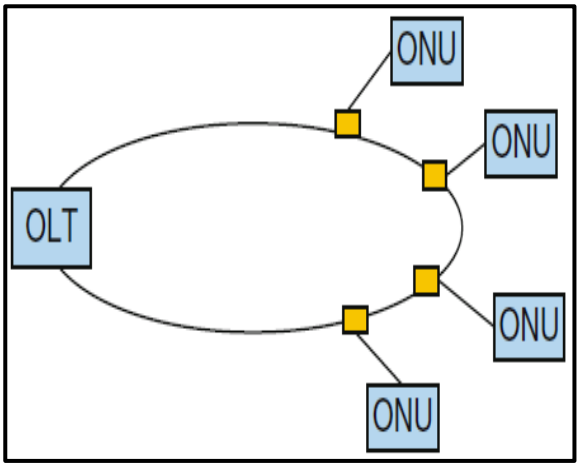
Nota: Tomado de Prat (2008, p.28).

2.1.3.3 Arquitectura tipo anillo

Una red de arquitectura tipo anillo es una topología en la que los nodos están conectados en serie formando un circuito cerrado, permitiendo que los datos circulen en una o ambas direcciones a través del anillo, lo que mejora la tolerancia a fallos y la eficiencia en la transmisión el más ampliamente utilizado usado debidos a su eficiencia de transmisión y confianza. Como hay dos formas posibles de llegar a la OLT, todavía es posible establecer y mantener un enlace de datos en caso de corte de fibra óptica. Sin embargo, requiere que se utilice dos fibras en el OLT y equipos ONT más capacidad de conmutación para poder enviar y recibir las señales que se transmiten desde dos direcciones del anillo de fibra óptica (Prat, 2008, p.28).

Figura 15

Topología tipo anillo.



Nota: Tomado de Prat (2008, p.26).

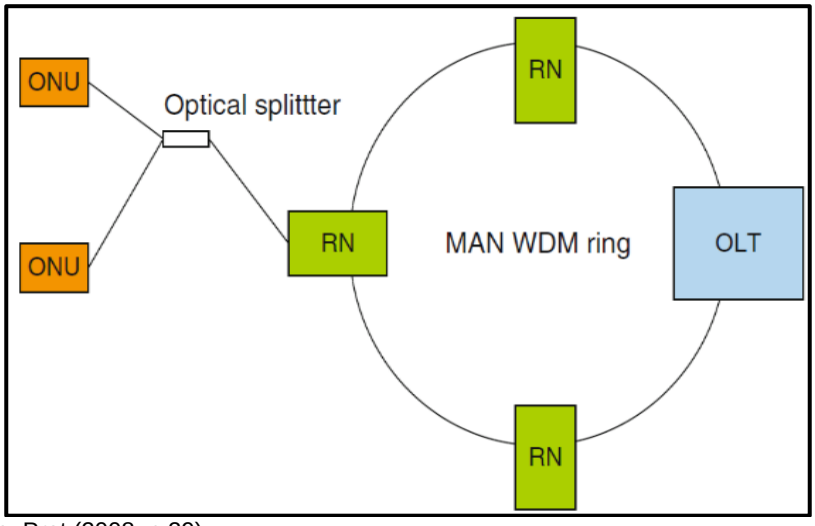
.

2.1.3.4 Arquitectura tipo árbol con anillo

Esta topología es idéntica a la topología estrella con la diferencia que dos fibras están conectadas a las OLT con fines de redundancia. En caso que una fibra se corta, el otro se puede utilizar para trasmitir. Sin embargo, al desplegar la estructura, estas dos deben de instalarse en troncales separadas para evitar que ambas se corten al mismo tiempo (Prat, 2008, p.29).

Figura 16

Topología tipo árbol con anillo.



Nota: Tomado de Prat (2008, p.29).

2.1.4 Tecnologías xPON

El despliegue de PON (*Passive Optical Network*) se da para satisfacer la demanda de la banda ancha a un costo aceptable con redes de acceso óptico. FTTx (*Fiber to the x*) es utilizado por la mayoría de operadores de comunicaciones como solución a la mayor demanda de ancho de banda y, entre las alternativas de FTTx, se prefiere PON por sus ventajas de costo y rendimiento (Weinstein, Yuanqiu & Wang, 2012, p.53).

2.1.4.1 Tecnología APON

Según Weinstein (2012) “Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network (APON) es un tipo de red óptica pasiva que utiliza el modo de transferencia asincrónica (ATM) para la transmisión de datos” (p.53).

Su infraestructura permite gestionar el ancho de banda de manera eficiente, permitiendo la distribución eficiente de servicios como internet, telefonía y transmisión de video. Gracias a su capacidad de segmentación de datos en celdas de tamaño fijo, APON mejora la calidad del servicio y la priorización del tráfico en redes de telecomunicaciones (Weinstein et al.,2012, p.53).

2.1.4.2 Tecnología BPON

Según Weinstein (2012) “Broadband Passive Optical Network (BPON) es una técnica de trasmisión de redes ópticas pasivas que utiliza el modo de transferencia asincrónica (ATM) para gestionar eficientemente el tráfico de datos” (p.55).

BPON incorpora soporte para múltiples longitudes de onda y mecanismos de asignación dinámica de recursos, lo que mejora la calidad del servicio y optimiza la eficiencia en redes de telecomunicaciones (Weinstein et al., 2012, p.55).

Tabla 3

BPON Tasas de transmisión de señal de línea BPON.

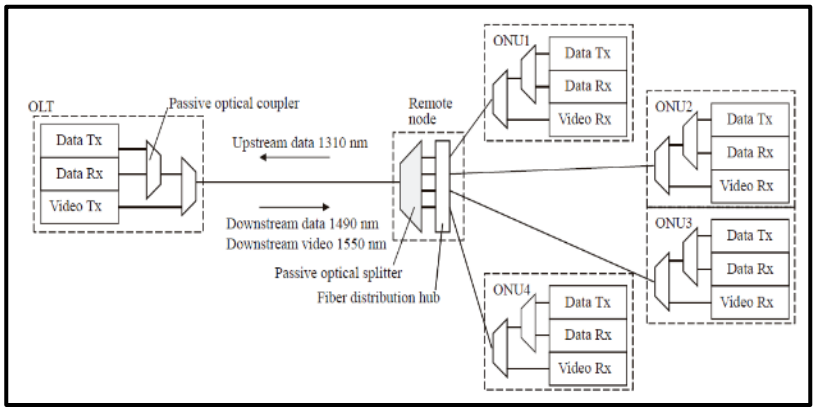
Downstream (Mbps)	Upstream (Mbps)
155.52	155.52
622.08	155.52
622.08	622.08
1244.18	155.52
1244.18	622.08

Nota: Tomado de Weinstein et al. (2012, p.55).

A continuación, se muestra un diagrama de la tecnología BPON.

Figura 17

Tecnología BPON.



Nota: Tomado de Weinstein et al. (2012, p. 55).

2.1.4.3 Tecnología GPON

La tecnología Gigabit “Passive Optical Network (GPON) es una tecnología de red de acceso que emplea fibra óptica y un esquema de transmisión basado en TDM y WDM, permitiendo conectar múltiples usuarios a través de una única fibra alimentadora de fibra óptica”, (Keiser, 2022, p.56).

“GPON proporciona velocidades de hasta 2,5 Gbps en sentido descendente y 1,25 Gbps en sentido ascendente, lo que la convierte en una solución óptima para la distribución de servicios como internet, telefonía y televisión digital en una única infraestructura de red” (Weinstein et al., 2012, p. 68).

Tabla 4

GPON Tasas de transmisión de señal.

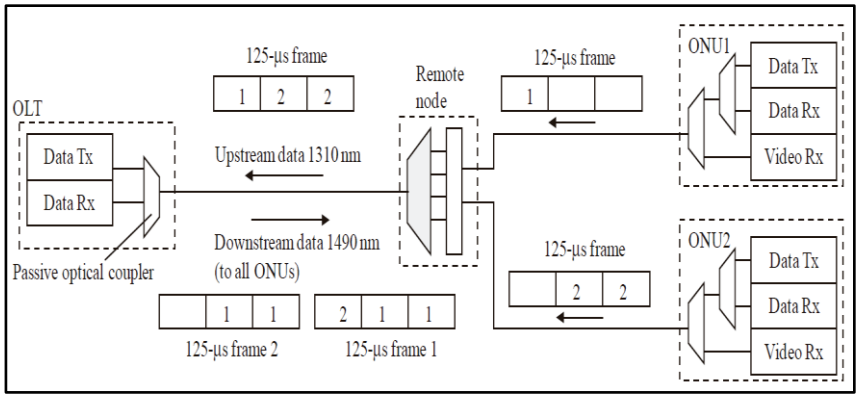
Downstream (Gbps)	Upstream
1.24416	155.52, 622.08, 1244.16 Mbps
2.48832	155.52, 622.08, 1244.16, 248,832 Mbps
9.95328	2.48832 Gbps

Nota: Tomado de Weinstein et al. (2012, p. 69).

A continuación, según Stephen et al. (2012) se muestra un ejemplo de tecnología GPON.

Figura 18

Tecnología GPON.



Nota: Tomado de Weinstein et al. (2012, p. 69).

2.1.4.4 Tecnología EPON

"Es una tecnología Ethernet (EPON) Passive Optical Network es un tipo de red óptica, que utiliza una arquitectura basada en paquetes. EPON ofrece velocidades simétricas de 1 Gbps tanto en sentido ascendente como descendente, garantizando una comunicación estable y de alto rendimiento sin necesidad de conversiones de protocolo adicionales" (Weinstein et al., 2012, p. 75).

Tabla 5

Comparación de 1G EPON y 10G EPON.

	Data Rate (Gbps)			Line			
	Upstream	Downstream	FEC	Coding	Tx Type and Launch Power (dbm)		
1G-EPON	1.25	1.25	Optional RS(255, 239)	8b/10b	PX10: OLT: (−3,2) ONU: (−1,4)	PX20: OLT: (2,7) ONU: (−1,4)	
10G-EPON	10.3125	10.3125	Enabled RS(255, 223)	64b/66b	PR10: OLT: EML (1,4) ONU: DML (−1,4)	PR20: OLT: EML+AMP (5,9) ONU: DML (−1,4)	PR30: OLT: EML (2,5) ONU: HP DML (4,9)
	1.25	10.3125	Enabled RS(255, 223)	64b/66b	PRX10: OLT: EML (1,4) ONU: DML (−1,4)	PRX20: OLT: EML+AMP (5,9) ONU: DML (−1,4)	PRX30: OLT: EML (2,5) ONU: DML (6,5.6)

Nota: Tomado de Weinstein et al. (2012, p. 76).

2.1.5 Tecnologías FTTx

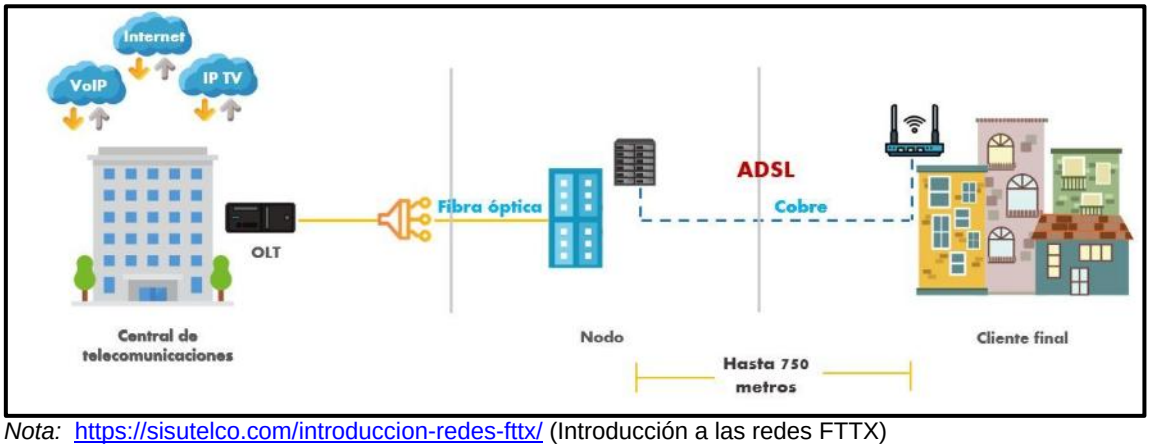
La conexión de abonados mediante fibra óptica puede adoptar varias formas. Las principales tecnologías de la familia FTTx son las siguientes:

2.1.5.1 Tecnología FTTN

Es una tecnología Fiber to the Node (FTTN) extiende la fibra óptica hasta un nodo cercano a los abonados. Desde este punto, la conexión hasta los hogares o empresas se completa utilizando cableado de cobre, como líneas DSL o coaxiales. Aunque este enfoque mejora la velocidad y capacidad de transmisión respecto a las redes totalmente basadas en cobre, el rendimiento final puede verse afectado por la distancia entre el nodo y el usuario. FTTN se emplea comúnmente en la modernización de infraestructuras existentes, ofreciendo una solución intermedia entre las redes de cobre tradicionales y los despliegues totalmente ópticos (Weinstein et al., 2012, p. 76).

Figura 19

Fibra hacia el vecindario.



Nota: https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/ (Introducción a las redes FTTX)

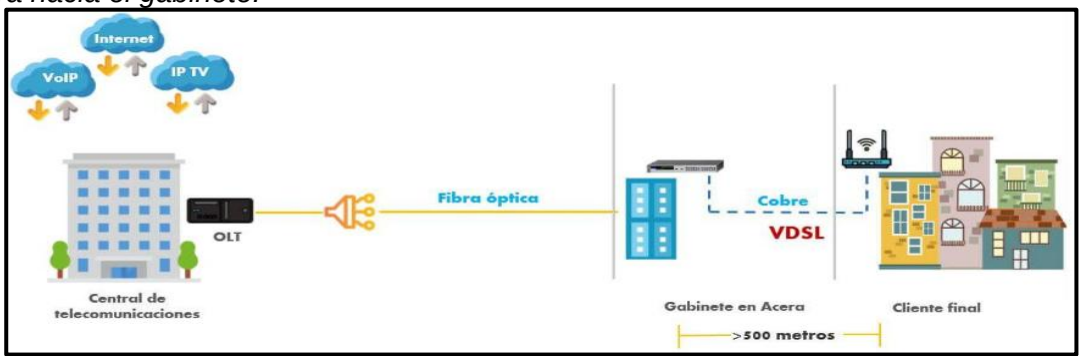
2.1.5.2 Tecnología FTTC

"Es tecnología Fiber to the Curb (FTTC) que extiende el cableado hasta una ubicación cercana al usuario, como una caja de distribución en la calle o en la acera." (Weinstein et al., 2012, p. 75).

Desde ese punto, la conexión se completa mediante cables de cobre o coaxiales, permitiendo ofrecer servicios de banda ancha con mayores velocidades en comparación con las infraestructuras tradicionales de cobre. Esta solución representa un equilibrio entre rendimiento y costos, ya que mejora significativamente la capacidad de transmisión sin requerir una instalación completamente óptica hasta el usuario final" (Weinstein et al., 2012, p. 75).

Figura 20

Fibra hacia el gabinete.



Nota: https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/ (Introducción a las redes FTTX).

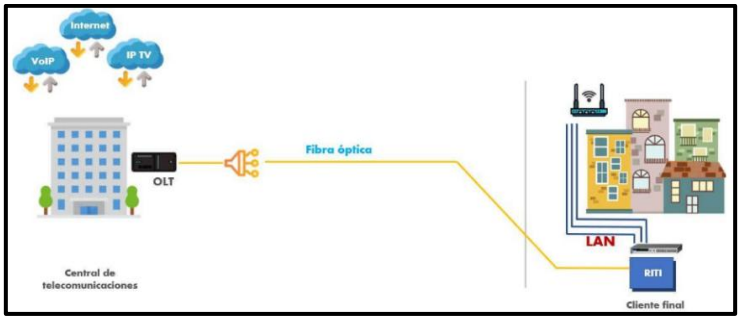
2.1.5.3 La tecnología FTTB

"Es una tecnología Fiber to the Building (FTTB) que despliega de fibra óptica hasta un edificio o complejo residencial, desde donde la distribución del servicio a cada unidad se realiza mediante cables de cobre, coaxiales o redes Ethernet. (Weinstein et al., 2012, p. 78)".

Este enfoque mejora significativamente la velocidad y estabilidad de la conexión en comparación con las infraestructuras completamente basadas en cobre, aunque su rendimiento final puede depender del tipo de cableado utilizado dentro del inmueble. FTTB es una alternativa eficiente para proporcionar acceso de alta velocidad en entornos urbanos con múltiples usuarios en un mismo edificio. (Weinstein et al., 2012, p. 78).

Figura 21

Fibra hacia el edificio.



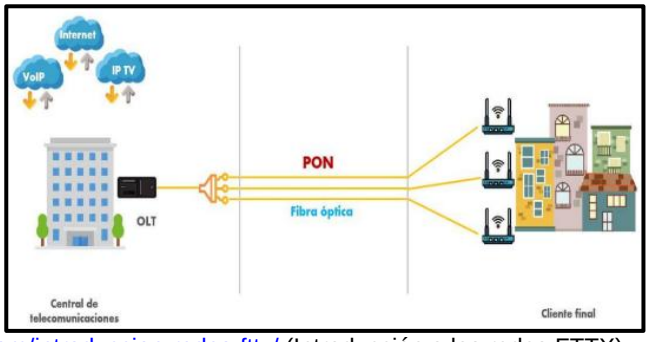
Nota: https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/ (Introducción a las redes FTTX).

2.1.5.4 Tecnología FTTH

La tecnología Fiber to the Home (FTTH) es un tipo de red de acceso en la que la fibra óptica se extiende directamente hasta el abonado final. Esta infraestructura elimina la dependencia del cobre u otros medios tradicionales en la última milla, permitiendo conexiones de alta velocidad con mayor estabilidad y menor latencia. FTTH es una de las soluciones más avanzadas para el acceso a internet, ya que optimiza la capacidad de transmisión de datos y facilita la integración de servicios (Weinstein et al., 2012, p. 80).

Figura 22

Fibra hacia la casa.

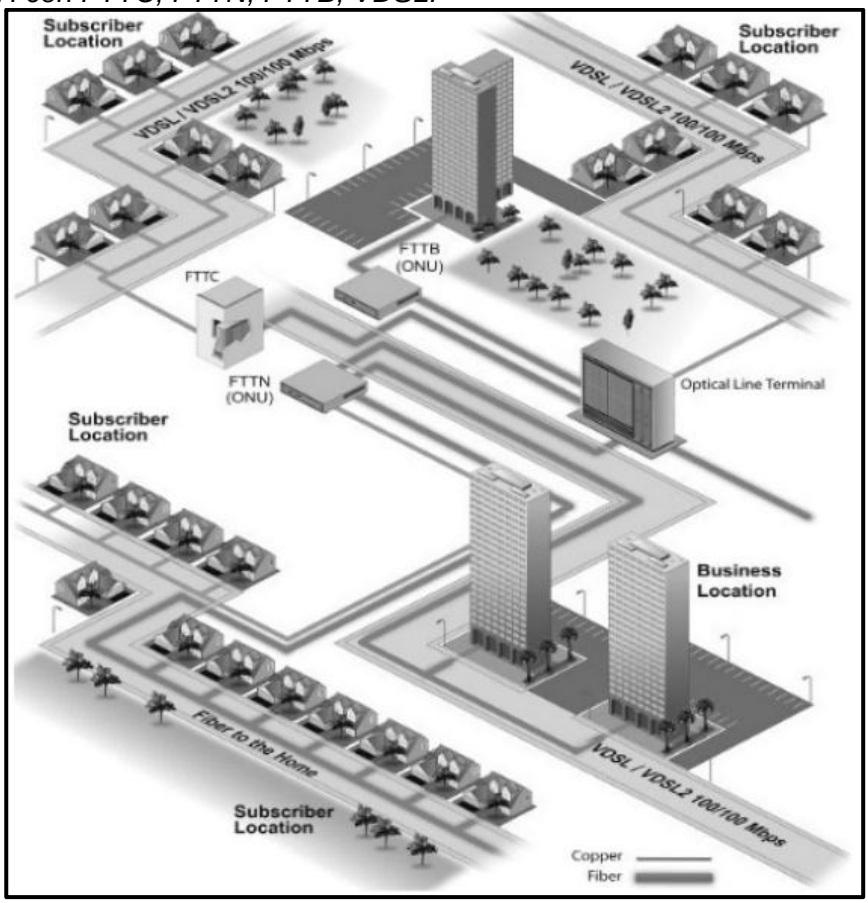


Nota: https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/ (Introducción a las redes FTTX).

A continuación, se muestra un ejemplo de redes FTTx:

Figura 23

Redes FTTH con FTTC, FTTN, FTTB, VDSL.



Nota: https://dgtlinfra.com/fiber-to-the-home-ftth/ (Fiber to the Home a comprehensuce guide).

2.2 Marco conceptual

Se detallan los cálculos de presupuesto de atenuación de óptica, las características del simulador *Optisystem* para simular enlaces ópticos y la descripción de los principales equipos de telecomunicaciones para redes FTTH a emplearse en el diseño del presente proyecto.

2.2.1 Cálculo de potencia de recepción de un enlace FTTH GPON

Describimos la metodología a seguir para estimar la potencia de recepción en un enlace FTTH. Para lo cual vamos a emplear a modo de ejemplo los parámetros indicados en la siguiente tabla:

Tabla 6

Parámetros para certificar una red FTTH GPON (ITU-T G.984.x).

Norma ITU-T G 984.x				
ITU-T G.984.1 (ITU-T, 2011)	Características generales.	Arquitectura del sistema OAM. Tipos de interfaz: servicio, usuario. Alcance lógico.	Tipos de servicio. Tasa física de transmisión y recepción. Rendimiento del sistema.	
ITU-T G.984.2 (ITU-T, 2012)	Medios físicos dependientes.	**Parámetros Class B+**	**ONT**	**OLT**
		Potencia óptica máxima	+ 5 dBm	+ 5 dBm
		Potencia óptica mínima	+0,5 dBm	+1,5 dBm
		Sensibilidad mínima	-27 dBm	-28 dBm
		Potencia óptica mínima de sobrecarga	- 8 dBm	- 8 dBm
ITU-T G.984.3 (ITU-T, 2014)	Convergencia de transmisión	Subcapas GPON TC Rango	Formato de trama Seguridad Ancho de Banda Dinámico. Operaciones, administración y mantenimiento.	
ITU-T G.984.4 (ITU-T, 2011)	Gestión ONT, especificación de la interfaz de control.	Interoperabilidad entre OLTs y ONTs de diferentes proveedores.		
ITU-T G.984.5 (ITU-T, 2014)	Mejoramiento de banda.	Define longitudes de onda reservados para las señales de servicio adicionales utilizando WDM en la futura red GPON. Especifica los requisitos técnicos para la aplicación del filtro de longitud de onda en la ONT.		
ITU-T G.984.6 (ITU-T, 2012)	Mayor alcance.	Describe los parámetros de la arquitectura y la interfaz para los sistemas GPON con mayor alcance.		

Nota: https://n9.cl/ab9s3 (Validación de arquitectura GPON normativa UIT-T G.984).

A continuación, se muestran los valores normativos de los medios físicos en ITU-T G.984.x de la red de distribución óptica.

Tabla 7

Valores de referencia de los medios físicos dependientes (ITU-T G.984.x).

Medios físicos dependientes.	
Máxima velocidad Downstream:	2,488 Gbit/s.
Máxima velocidad Upstream:	1,244 Gbit/s.
Máximo alcance físico	20 Km
Máximo alcance lógico	60 Km
Atenuación en puntos de fusión.	≤ 0,30 dB
Atenuación en conectores mecánicos.	≤ 0,50 dB
Atenuación en conectores.	≤ 0,75 dB
Atenuación en mangas.	≤ 0,15 dB
Margen de seguridad	+3 dB
Atenuación λ = 1310 nm	0,35 dB/Km
Atenuación λ = 1550 / 1490 nm	0,22 dB/Km
Divisor óptico (splitter)	
1:64	≤ 20,5 dB
1:32	≤ 17,5 dB
1:16	≤ 13,8 dB
1:8	≤ 10,6 dB
1:4	≤ 7,5 dB
1:2	≤ 3,8 dB

Nota: https://n9.cl/ab9s3 (Validación de arquitectura GPON normativa UIT-T G.984)

"Teóricamente, un OLT y un ONT pueden estar conectados a una determinada distancia. Esta depende de la potencia de transmisión (Pt) del equipo OLT, la pérdida total en la trayectoria (L) hasta el ONT y la sensibilidad del equipo ONT (Pr)", (ITU-T, Recomendación G.984.2, 2003). Ecuación 1.

$$Pr= Pt-L>=-27dbm \qquad (1)$$

Procedemos a calcular las pérdidas que sufre la señal óptica, los parámetros a considerar aquí son atenuación de *splitters*, atenuación por longitud del enlace, atenuación de punto de empalme, atenuación de conectores. Ecuación 2

$$L=L\ cable+Lsplitter+Lfusion+Lconector \qquad (2)$$

L cable: Pérdida asociada a la atenuación en cada tramo de fibra óptica.

L *splitter*: Pérdida generada por la división de la señal óptica en los divisores

L fusión: Pérdida ocasionada en los empalmes por fusión de fibras ópticas.

L conector: Pérdida derivada del acoplamiento y alineación en los conectores.

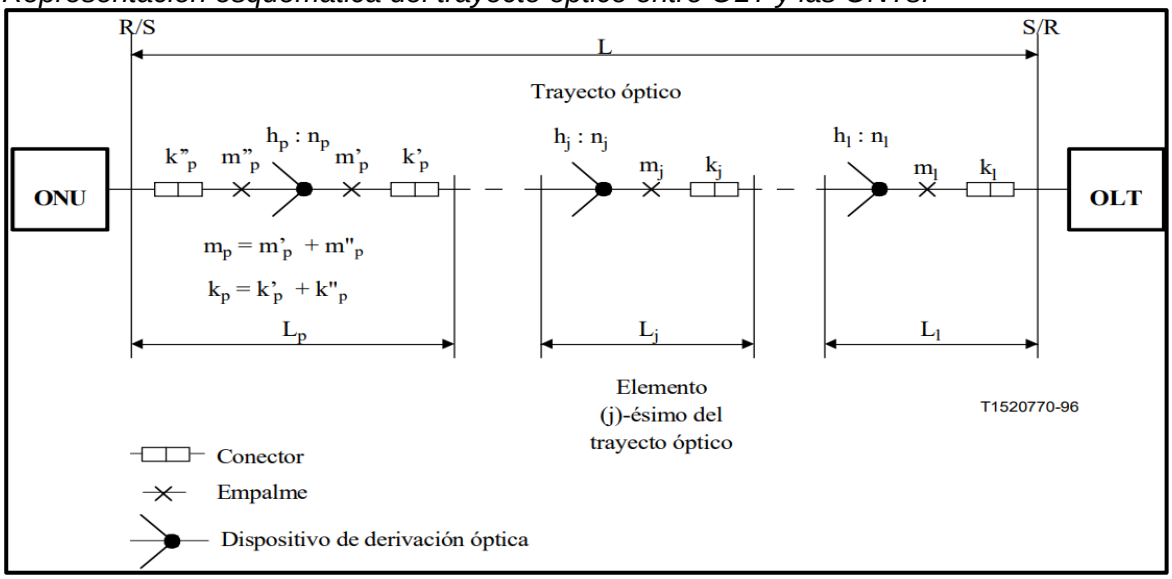
De esta manera, calculamos la Pr, donde este tiene que ser mayor que -27dbm (sensibilidad mínima del ONT).

2.2.2 Dimensionamiento de una red FTTH utilizando la tecnología GPON

Para el dimensionamiento de la red, vamos elaborar un diagrama de arquitectura de red FTTH utilizando los parámetros descritos en el subcapítulo 2.1.1 y el cálculo de Pr

Figura 24

Representación esquemática del trayecto óptico entre OLT y las ONTs.

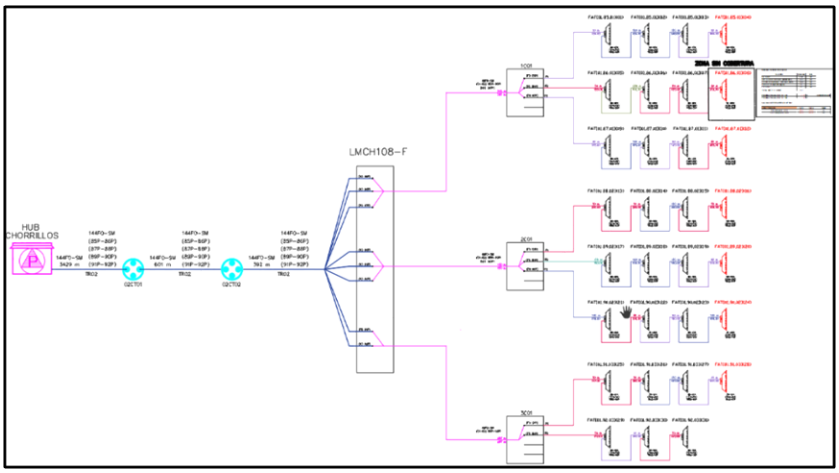


Nota: https://n9.cl/87ba5 (Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales)

En la siguiente figura 25 se presenta un esquema de la red FTTH

Figura 25

Diagrama de una red FTTH utilizando el estándar GPON.



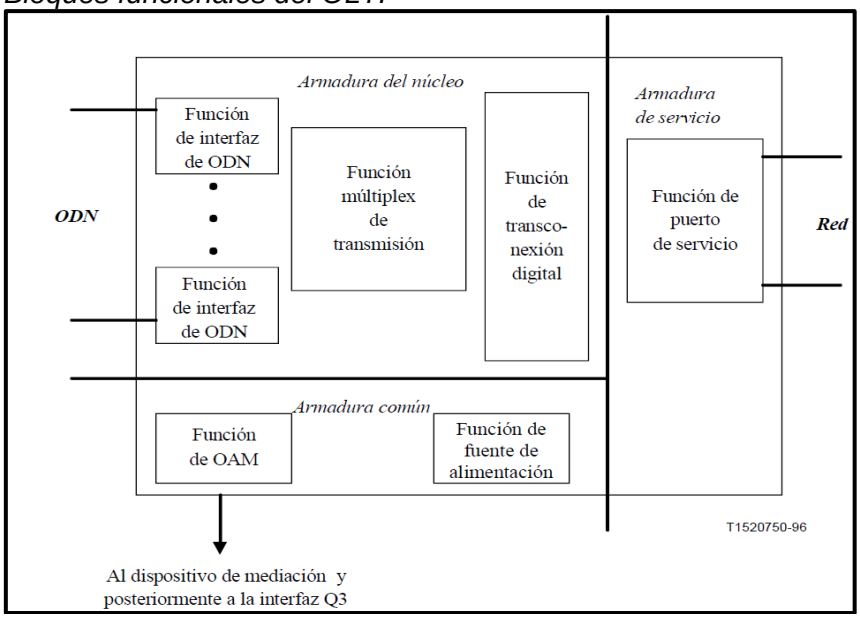
2.2.3 Características de equipos de telecomunicaciones en una red FTTH

El equipamiento que se emplea se encuentran ubicados en la sala de transmisiones, casa de los abonados. A continuación, se muestran los principales equipos:

OLT – Optical line termination: es un equipo fundamental en infraestructuras de fibra óptica pasivas (PON), ubicado en NODO central del operador. Su función principal es convertir señales ópticas en eléctricas y viceversa, permitiendo la distribución eficiente del ancho de banda mediante técnicas de multiplexación (Keiser, 2022, p. 130).

Figura 26

Bloques funcionales del OLT.



Nota: https://n9.cl/3w46be (Sistemas de línea óptica para redes de acceso).

A continuación, en la figura 27 se muestran un equipo OLT.

Figura 27

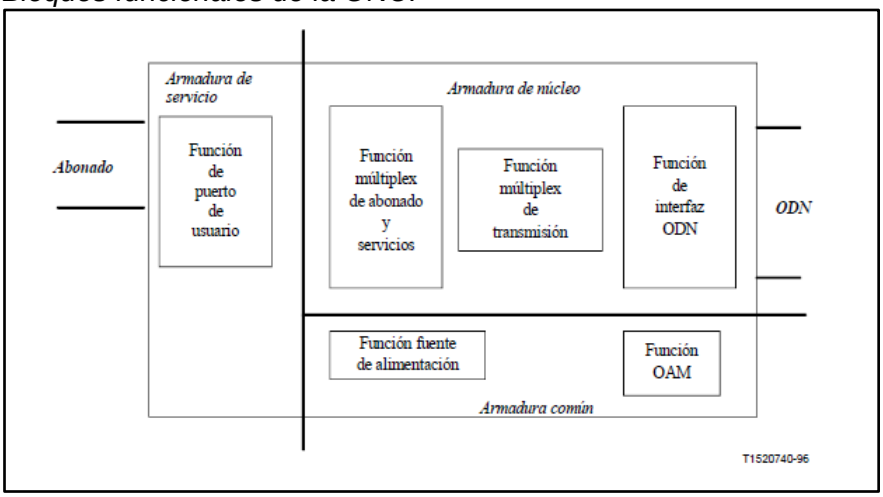
OLT Huawei MA5801.

Nota: https://n9.cl/vs6hf (Huawei Optixaccess MA5801)

ONT (*Optical Network Termination*): es un dispositivo ubicado en el extremo del usuario dentro de una red de fibra óptica pasiva (PON). Su función principal es convertir la señal óptica proveniente del terminal de línea óptica (OLT) en señales eléctricas que pueden ser utilizadas por los equipos del usuario, como computadoras, teléfonos o televisores (Keiser, 2022, p. 135).

Figura 28

Bloques funcionales de la ONU.

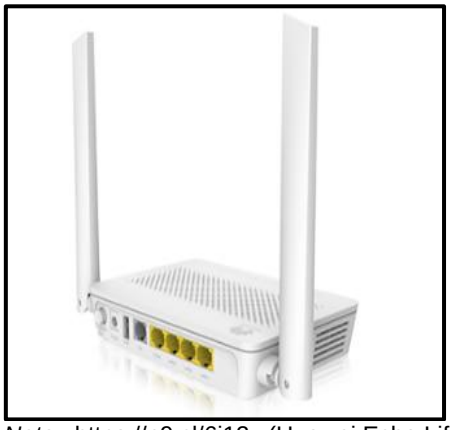


Nota: https://1f8a81b9b0707b63-19211.webchannel-proxy.scarabresearch.com/es/publications/ITU-T/Pages/default.aspx (Sistemas de línea óptica para redes de acceso).

A continuación, en la figura 2.28 se muestran un equipo ONT.

Figura 29

ONT Huawei EG8145v5.



Nota: https://n9.cl/6j12v (Huawei Echo Life EG8145V5).

Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

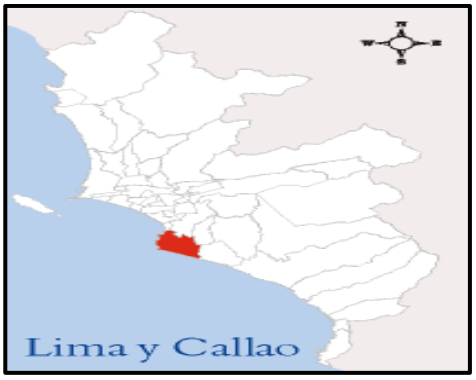
El desarrollo de esta investigación se realizará el dimensionamiento y la implementación de una red de acceso FTTH basada en el estándar GPON dentro del comunidad Navidad de Villa, situada en el distrito de Chorrillos. En este trabajo será incluido el área de tendido, diagrama unifilar, cálculo de perdidas ópticas, cálculo de velocidad de carga y descarga.

3.1 Ubicación geográfica del proyecto

La localidad Navidad de Villa se encuentra dentro del distrito de Chorrillos, esta se encuentra en la provincia de Lima, Perú. Está ubicado en la zona sur de la ciudad de Lima, limitando con los distritos de Barranco, Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, además de tener una extensa costa frente al océano Pacífico. Su población total asciende a 373 habitantes.

Figura 30

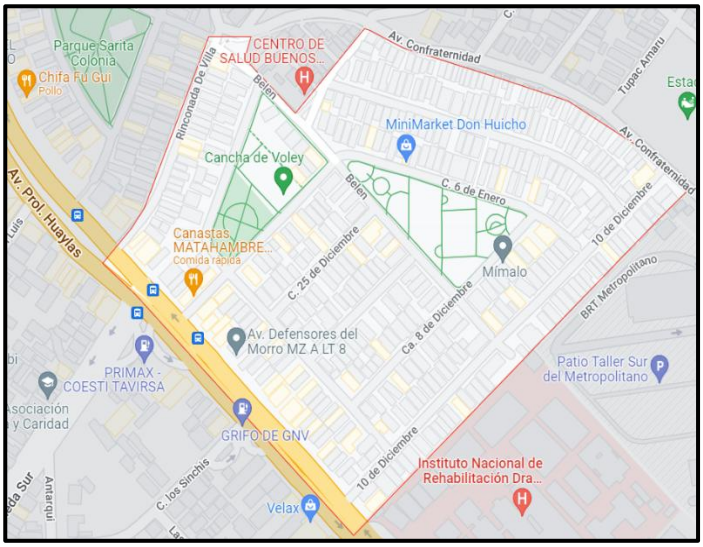
Mapa del distrito de Chorrillos.



Nota: Google Maps.

Figura 31

Mapa del asentamiento humano Navidad de Villa.



Nota: Google Maps.

3.2 Dimensionamiento del tendido de fibra óptica

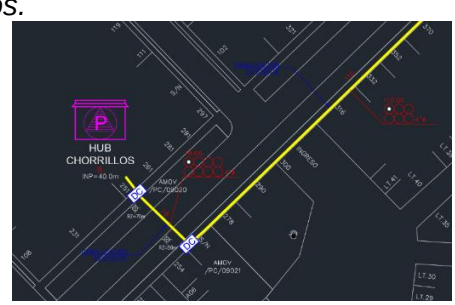
Seguidamente, se detalla el dimensionamiento del despliegue de fibra óptica en la localidad Navidad de Villa del distrito de Chorrillos.

3.2.1 Diseño de la ruta de la troncal de fibra óptica

Partiendo de OLT comenzará el despliegue de la fibra óptica, el mismo se encuentra dentro HUB Chorrillos (sala de equipos de Claro) ubicado en av. Fernando Terán 251. El tendido será de 4.780 km hasta llegar al asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos.

Figura 32

Ubicación del Hub Chorrillos.



El tendido tendrá una ruta subterránea mediante cámaras de 3.752 km pasando por cámaras.

- La ruta comenzará por cámaras desde av. Fernando Terán 251, Jr. Carlos Mellet Vargas hasta Avenida paseo de la República.

Figura 33

Ruta del tendido por cámaras.

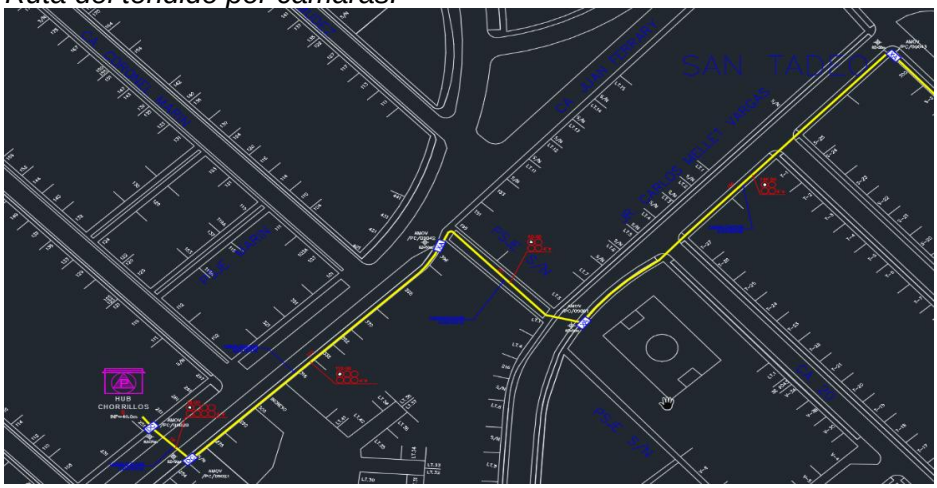
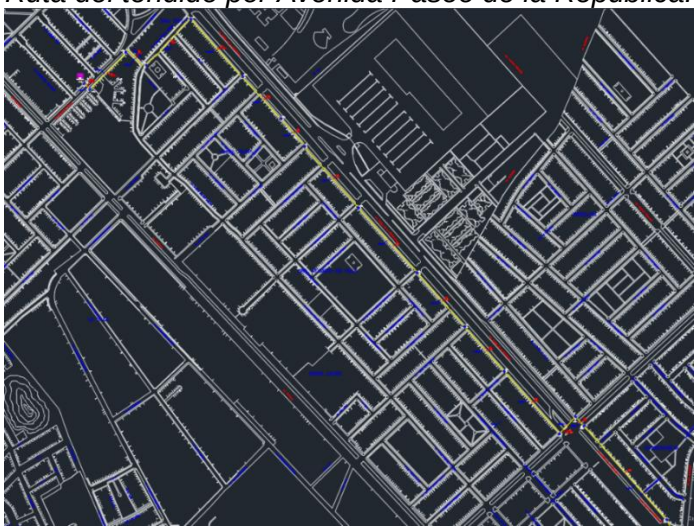


Figura 34

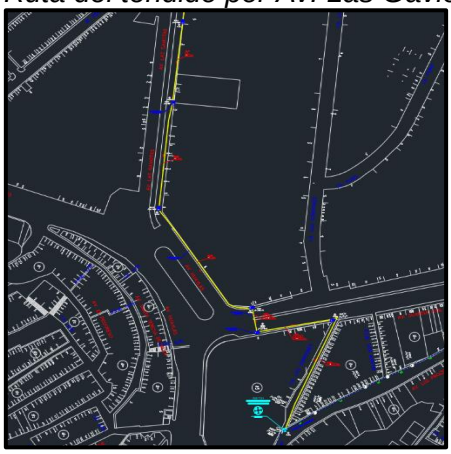
Ruta del tendido por Avenida Paseo de la República.



- La ruta continua por cámaras por la av. Las Gaviotas, av. Huayllas, av. Guardia Civil, y llega a calle Los Gorriones donde se instalará una mufa para continuar la ruta aérea.

Figura 35

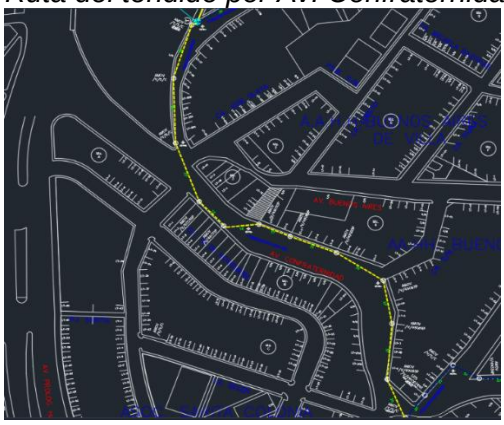
Ruta del tendido por Av. Las Gaviotas hasta calle los Gorriones.



- El tendido seguirá una ruta aérea de 0.992 km mediante por postes de luz del sur y postes proyectado y continua por postes eléctricos alquilados a la empresa de luz del sur por Av. Confraternidad.

Figura 36

Ruta del tendido por Av. Confraternidad.



- La ruta continua por calle Belén mediante postes izados por América móvil hasta el FDT (*Trunk distribution fiber*).

Figura 37

Ruta del tendido por calle Belén.

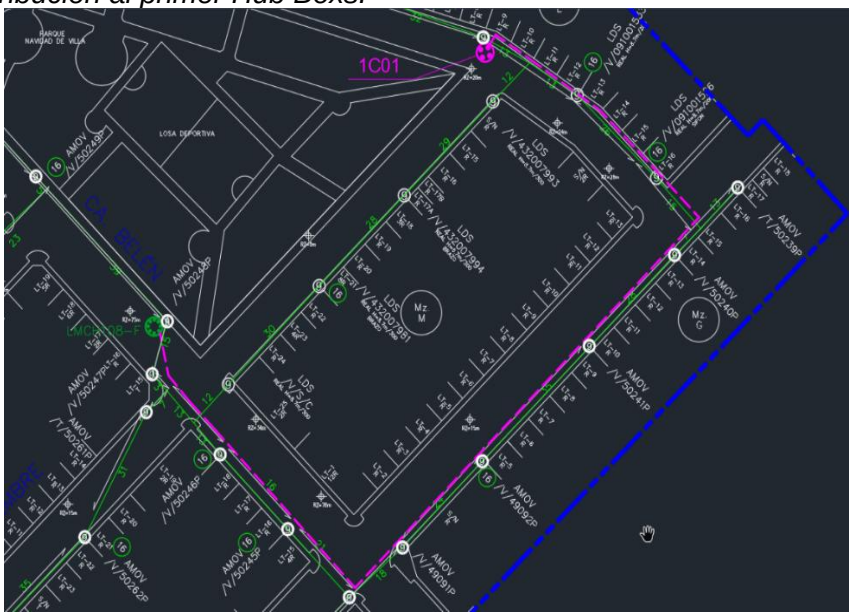
3.2.2 Diseño de la ruta de la red de distribución de fibra óptica

A continuación, detallamos la ruta de distribución del tendido de fibra óptica del asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos. Se realizó tres distribuciones con un conductor óptico de 48 hilos, cada distribución llegara a un dispositivo denominado Hub Boxs (Terminal box distributor), que es el encargo de realizar las distribuciones finales a los abonados.

A continuación, se aprecia la ruta de distribución al primer Hub Boxs, esta tiene un recorrido aéreo de 305m.

Figura 38

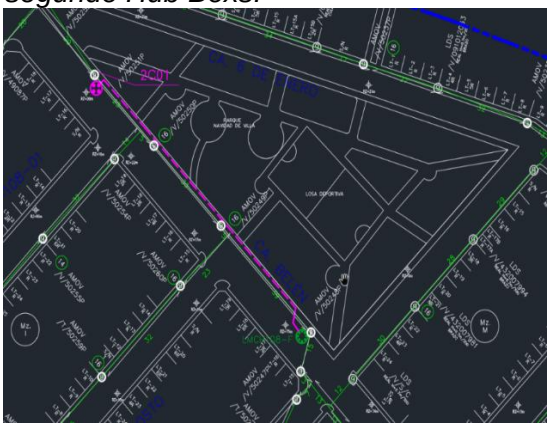
Ruta de distribución al primer Hub Boxs.



A continuación, se aprecia la ruta de distribución al segundo Hub Boxs. Esta tiene un recorrido aéreo de 150 m.

Figura 39

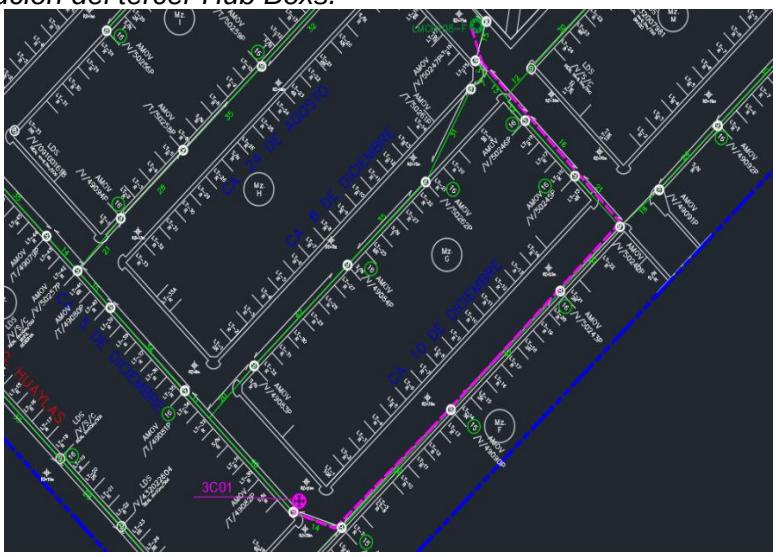
Ruta de distribución del segundo Hub Boxs.



A continuación, se aprecia la ruta de distribución al tercer Hub Boxs. Esta tiene un recorrido aéreo de 267 m.

Figura 40

Ruta de distribución del tercer Hub Boxs.



3.2.3 Diseño de las rutas de acceso a los abonados

A continuación, las rutas de accesos a los abonados en el asentamiento humano Navidad de Villa. Esta se realiza mediante *Drops*, los cuales son cables de fibra óptica de un hilo de 50 m representado de color rojo, 80 m representado de color violeta, 100 m representado de color azul, 150 m representado de color turquesa y 250 m representado de color verde.

Por cada distribuidor salen 3 corridas, cada una de estas conformada por 3 cajas terminales pasantes de 8 salidas y 1 caja terminal final de 8 salidas pre conectorizadas mediante 4 *Drops* de diferente longitud. Las cajas terminales pasantes poseen 2 *splitter* uno de 1x8 balanceado y otro de 1x2 desbalanceado, las cajas terminales finales poseen 1 *splitter* uno de 1x8 balanceado.

A continuación, se aprecia el primer distribuidor con 3 corridas preconectorizadas con sus cajas terminales pasante y finales con cables *Drops* de diferente longitud.

Figura 41

Diagrama de la distribución a los abonados del primer distribuidor.

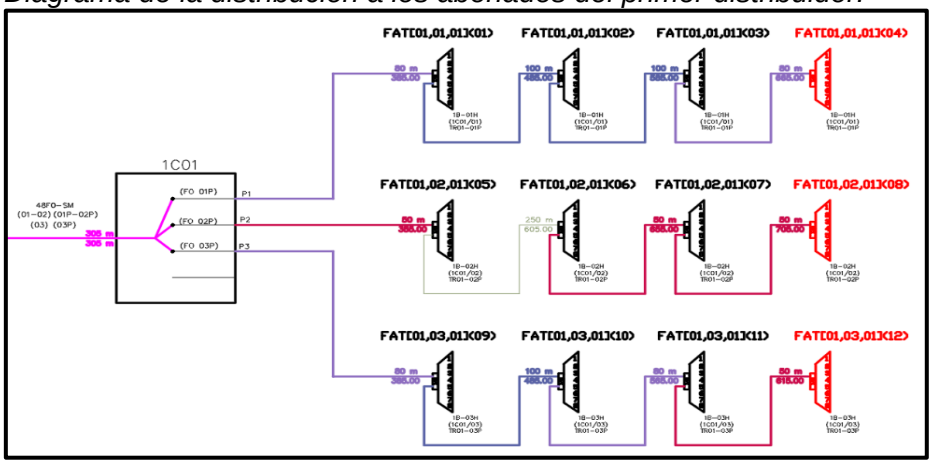
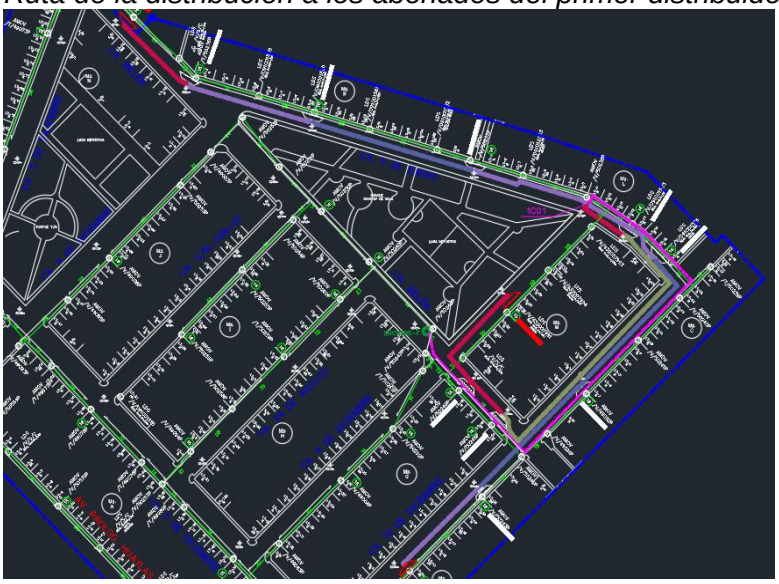


Figura 42

Ruta de la distribución a los abonados del primer distribuidor.



A continuación, se aprecia el segundo distribuidor con 3 corridas preconectorizadas con sus cajas terminales pasante y finales con cables Drops de diferente longitud.

Figura 43

Ruta de la distribución a los abonados del segundo distribuidor.

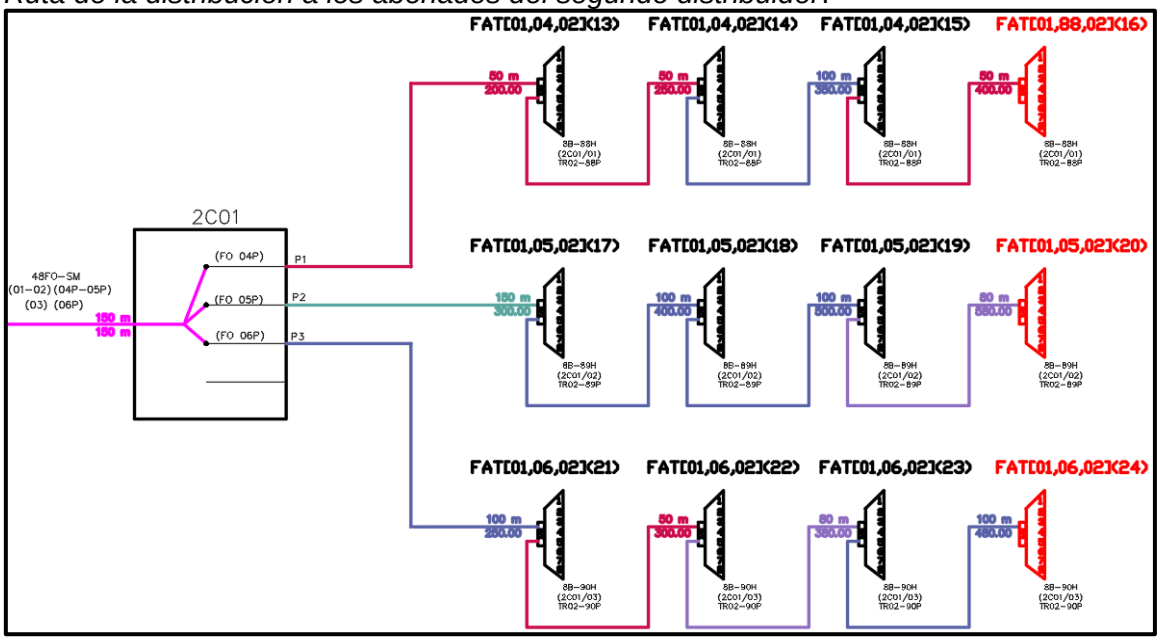
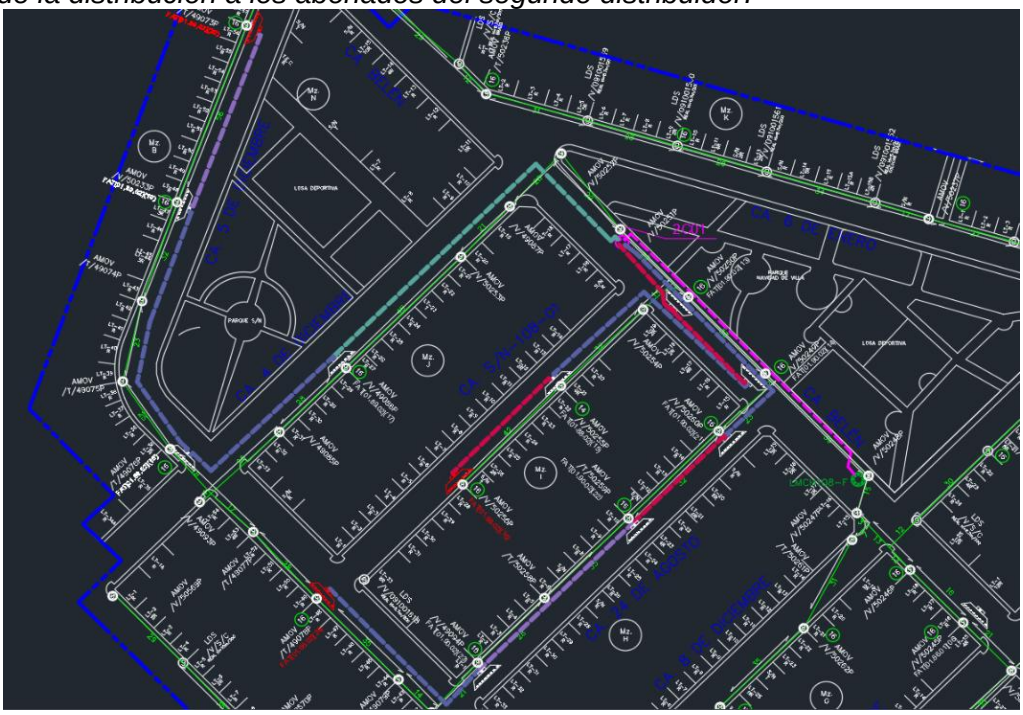


Figura 44

Ruta de la distribución a los abonados del segundo distribuidor.



A continuación, se aprecia el tercer distribuidor con 2 corridas preconectorizadas con sus cajas terminales pasante y finales con cables Drops de diferente longitud.

Figura 45

Diagrama de la distribución a los abonados del tercer distribuidor.

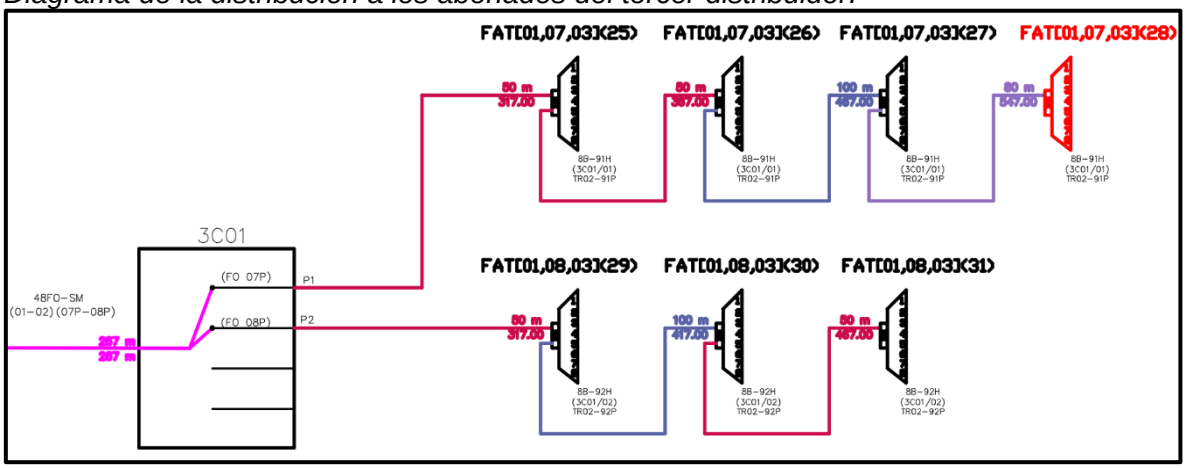
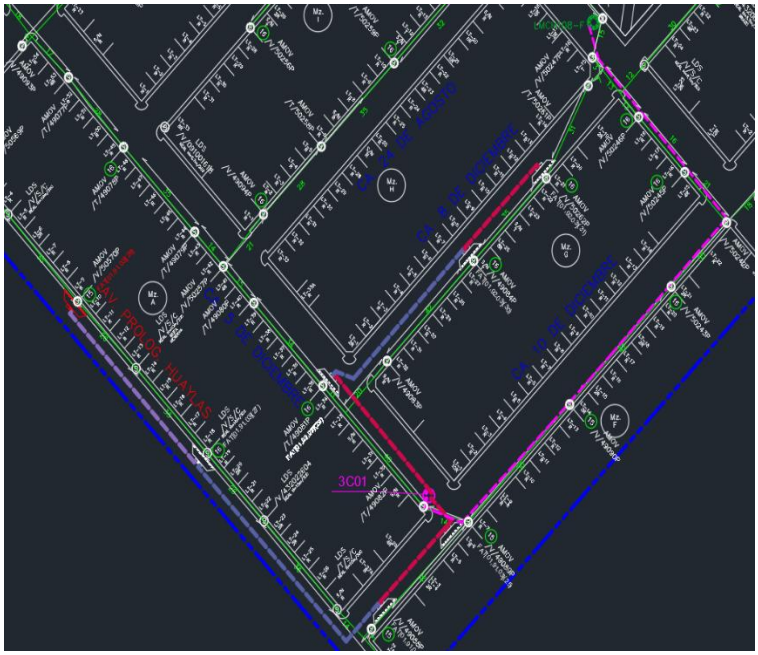


Figura 46

Ruta de la distribución a los abonados del tercer distribuidor.

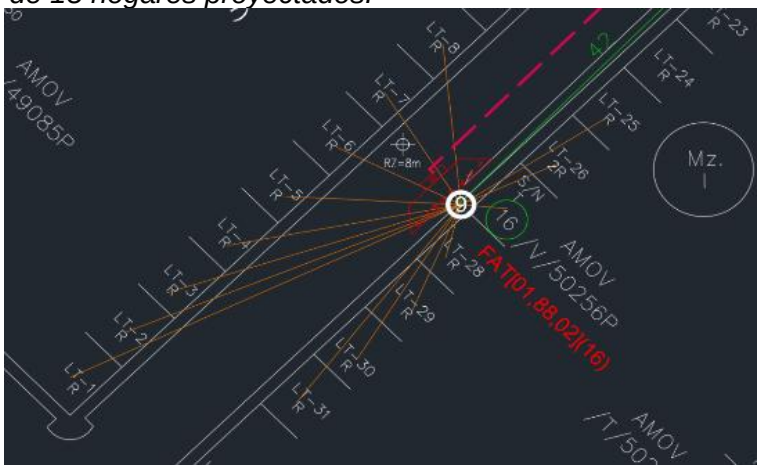


Se realizó un conteo de 490 HPs (*Home Project*) en el asentamiento humano Navidad de Villa, de los cuales se proyecta dimensionar 474Hps y se proyecta dejar sin cobertura 16 HPs; debido a la oposición vecinal para el izado de postes en la calle 8 de diciembre del LT16 al LT21.

A continuación, se muestra la representación de 15 de los hogares proyectos en la caja terminal final número 16 que, cada R representa un hogar proyectado.

Figura 47

Representación de 15 hogares proyectados.



La siguiente representación gráfica muestra 16 de los hogares proyectos en la caja terminal final número 8, que quedara sin cobertura debido oposición vecinal para el izado de postes en la calle 8 de diciembre del LT16 al LT21. Cada R representa un hogar no proyectado.

Figura 48

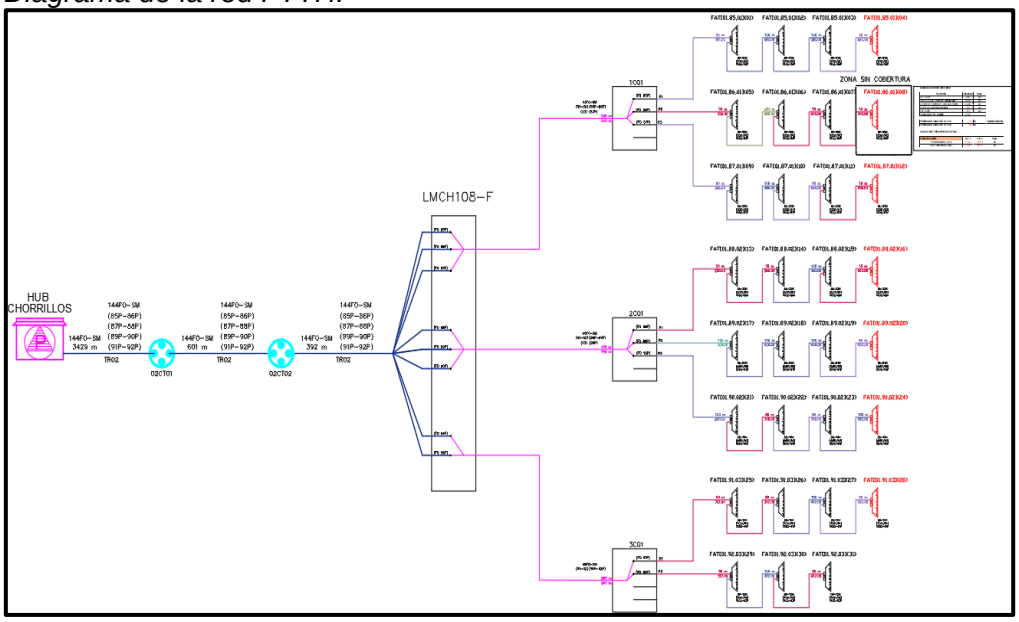
Representación de 16 hogares no proyectados.

En el transcurso de esta investigación se instalarán 30 cajas terminales, cada una con 8 salidas, con el objetivo de proporcionar servicio a 240 viviendas de un total de 490 hogares proyectados.

La siguiente representación gráfica muestra el diagrama unifilar que ilustra el diseño de la red FTTH en el asentamiento humano Navidad de Villa.

Figura 49

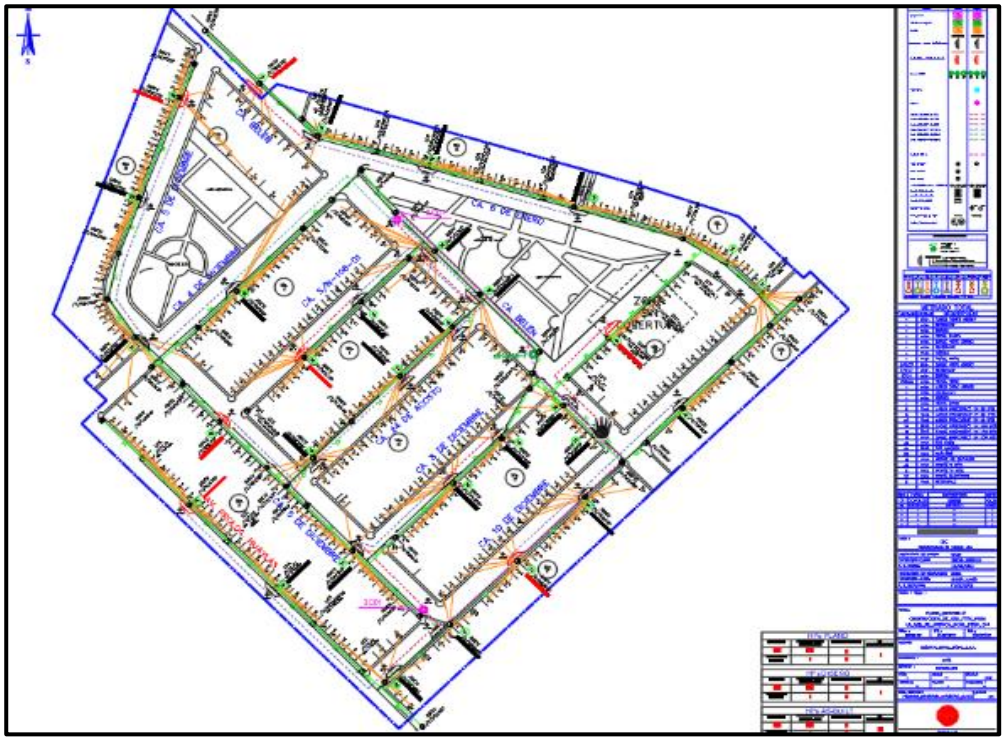
Diagrama de la red FTTH.



Seguidamente, se presenta el diseño de la red FTTH

Figura 50

Diseño de la red FTTH.



3.3 Especificaciones técnicas del proyecto

Seguidamente, se detallan las características del cableado de la red y de los equipos utilizados en el proyecto.

3.3.1 Especificaciones técnicas de la fibra óptica

Para el tendido de la troncal se utilizará un conductor óptico de 144 hilos y para la distribución un conductor óptico de 48 hilos con las siguientes especificaciones.

Tabla 8

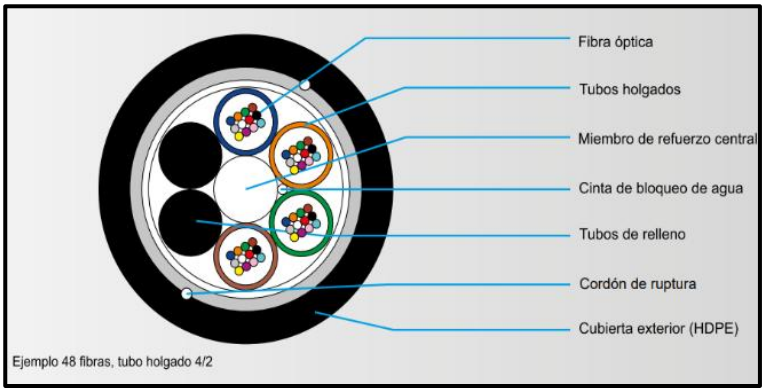
Características de la fibra óptica Dieléctrico.

Tipo de fibra	Diámetro exterior(mm)	Tubo holgado	Número de fibras
G.652 D	11±0.5	1/5	12
G.652 D	11±0.5	2/4	24
G.652 D	11±0.5	3/3	36
G.652 D	11±0.5	4/2	48
G.652 D	11±0.5	6/0	72
G.652 D	12.5±0.5	8/0	96
G.652 D	15±0.5	12/0	144

Nota: https://n9.cl/yyeyy (Cable de fibra óptica adss).

Figura 51

Cable fibra óptica de 48 hilos.



Nota: https://n9.cl/yyeyy (Cable de fibra óptica adss).

Tabla 9

Características de la fibra óptica.

Características	12	24	36	48	72	96	144
Resistencia al aplastamiento (N)			2000				
Radio mínimo de curvatura (mm)			20 veces el diámetro exterior				
Coeficiente de atenuación (dB/km)			≤ 0.36 @ 1310 nm y ≤ 0.23 @ 1550 nm				
Temperatura de operación (°C)			- 30 a +70				
SPAN (m)			100				
Espesor cubierto exterior (mm)			1.5				
Refuerzos			Refuerzo central de FRP y Aramida				
Peso (± 10 kg/km)			80			110	170
Diámetro exterior (± 0.5 mm)			11			12.5	15

Nota: https://n9.cl/yyeyy (Cable de fibra óptica adss).

- La fibra óptica que se utilizará para unir las cajas terminales y para la acometida al abonado será tipo G.657 A2 de un hilo denominado Drop.

Tabla 10

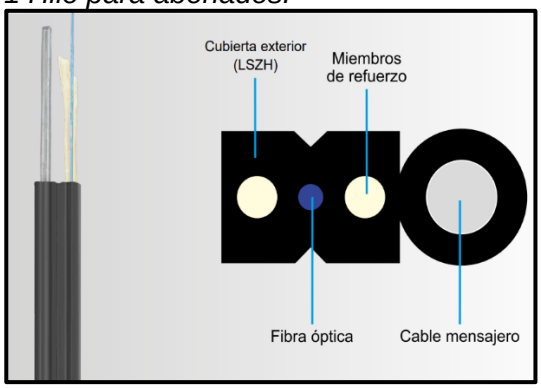
Características de la fibra Drop G.657 A2.

Características	
Número tubos	-
Resistencia al aplastamiento (N)	1000
Resistencia a la tensión (N)	600
Radio mínimo de curvatura (mm)	20 veces el diámetro exterior
Temperatura de operación (°C)	- 20 a +70
Coeficiente de atenuación (dB/km)	≤ 0.36 @ 1310 nm y ≤ 0.24 @ 1550 nm
Refuerzos	Mensajero de acero de 1.1 mm y 2 refuerzos de aramida
Peso	18
Dimensiones (± 0.2 mm)	2 x 5

Nota: https://n9.cl/yyeyy (Conductor óptico adss).

Figura 52

Cable de fibra óptica de 1 Hilo para abonados.



Nota: https://n9.cl/yyeyy (Cable de fibra óptica adss).

3.3.2 Especificaciones técnicas del equipamiento de la red FTTH

Seguidamente, se describen las características técnicas de los componentes de la red FTTH.

3.3.2.1 Transmisor OLT

Para este proyecto, se utiliza el transmisor OLT MA5800-X17 de *Huawei*, es un terminal de línea óptica (OLT) de última generación diseñado para redes de acceso de alta

capacidad. Este dispositivo cuenta con 17 ranuras de servicio y ofrece un rendimiento de hasta 200 Gbit/s por ranura, permitiendo una conmutación total del sistema de 7 Tbit/s.

Figura 53

OLT MA5800-X17 de Huawei.

Nota: https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/OLT (Huawei SmartAX MA5800).

Tabla 11

Especificaciones técnicas del OLT MA5800-X17 de Huawei.

Concepto	Especificaciones
Slot para OLTS	17 slot disponibles
Dimensiones	493.00 mm x 287 mm x 486 mm (sin incluir soportes de montaje)
Máximo número de puertos	272 x GPON 816 x GE/FE 136 x 10G GPON 136 x 10G GE
Capacidad de conmutación del sistema	7 Tbit/s
Número máximo de direcciones MAC	262.143
Número máximo de entradas ARP / Routing	64.000
Rango voltaje	-38.4V DC a -72V DC
Funciones de la Capa 2	Reenvío VLAN + MAC, reenvío SVLAN + CVLAN, PPPoE + y DHCP opción 82
Funciones de la Capa 3	Ruta estática, RIP / RIPng, OSPF / OSPFv3, IS-IS, BGP / BGP4 +, ARP, relé DHCP y VRF
Temperatura de trabajo	-40°C to +65°C

Nota: https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/OLT (Huawei SmartAX MA5800).

3.3.2.2 Receptor ONT

El Huawei EchoLife EG8141A5 es un equipo terminal de red óptica (ONT) diseñado para conexiones GPON en entornos de acceso a banda ancha. Cuenta con un puerto Gigabit Ethernet (GE), tres puertos Fast Ethernet (FE) y un puerto POTS para servicios de telefonía. Además, soporta conectividad Wi-Fi en la banda de 2.4 GHz, lo que permite una cobertura eficiente en redes domésticas o empresariales

Figura 54

ONT EG8141A5 de Huawei.

Nota: https://aire.ec/producto/huawei-eg8141a5/ (EchoLife EG8141A5).

Tabla 12

Especificaciones técnicas del ONT EG8141A5 de Huawei.

Parámetros	**EchoLife EG8141A5**
Dimensiones (alto x ancho x D)	152 x 105 x 30 mm
El peso	192 g
La temperatura de funcionamiento	0°C a +40°C
Humedad de funcionamiento	El 5% de HR de 95% de HR (sin condensación)
La entrada del adaptador de alimentación	100 a 240 V CA, 50 Hz / 60 Hz
Fuente de alimentación del sistema	11 V a 14 V CC, 1, 5 A
El consumo de energía Staticb	3.1W
Consumo de energía máximo	7, 5 W
Los puertos	1 BOTES + 1 + 3 GE FE + Wi-Fi 2.4G
Conector óptico	SC/APC
Los indicadores	PON/potencia/LOS/LAN/TEL/WLAN/WPS

Nota: https://aire.ec/producto/huawei-eg8141a5/ (EchoLife EG8141A5).

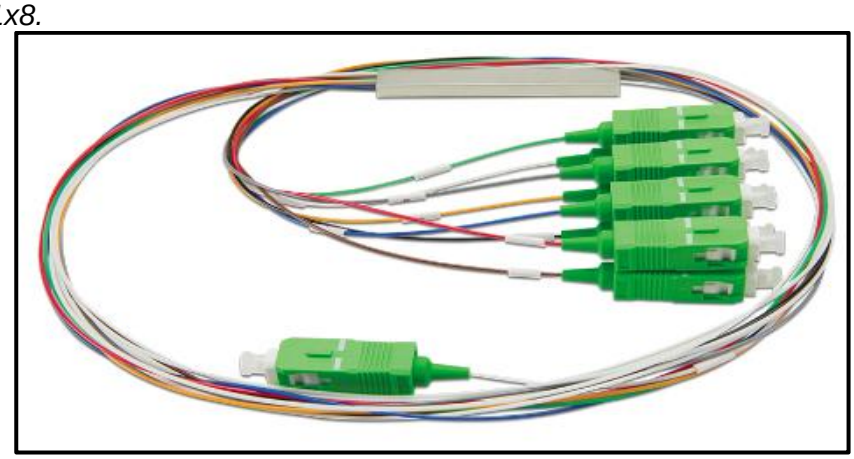
3.3.2.3 Spliters

A continuación, detallaremos las especificaciones técnicas de splitter de 1x8 balanceado y 1x2 desbalanceado.

- Se utilizará un splitter óptico balanceado de 1x8 con terminación SC/APC.

Figura 55

Splitter de 1x8.



Nota: https://latic.lat/producto/splitter-optico-1x8-plc-sc-apc/ (Splitter óptico conectorizado).

Seguidamente, se describen las características técnicas.

Tabla 13

Especificaciones técnicas del Splitter de 1x8 balanceado.

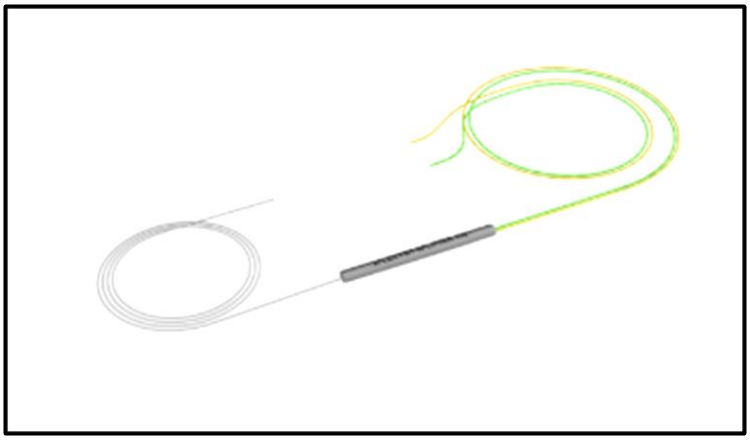
Longitud de onda		**1260 a 1650 nm**	**1260 a 1650 nm**	**1260 a 1650 nm**	**1260 a 1650 nm**
Fibra óptica		G.657.A1 – Monomodo	G.657.A1 – Monomodo	G.657.A1 – Monomodo	G.657.A1 – Monomodo
Pérdida de inserción*		≤ 4,0 dB	≤ 7,3 dB	≤ 10,5 dB	≤ 13,7 dB
Uniformidad*		≤ 0,6 dB	≤ 0,7 dB	≤ 0,8 dB	≤ 1,2 dB
PDL*		0,2 dB	0,2 dB	0,2 dB	0,25 dB
Directividad*		≥ 55 dB	≥ 55 dB	≥ 55 dB	≥ 55 dB
Pérdida de retorno*		≥ 50 dB	≥ 50 dB	≥ 50 dB	≥ 50 dB
Dimensiones de los cables	Entrada	1,5 m	1,5 m	1,5 m	1,5 m
	Salidas	0,6 m	0,6 m	0,6 m	0,6 m
	Diámetro de los cables	0,9 mm	0,9 mm	0,9 mm	0,9 mm
Tipo del conector		SC	SC	SC	SC
Pulido		UPC o APC	UPC o APC	UPC o APC	UPC o APC
Pérdida por inserción (IL)		≤ 0,3 dB – Clase III	≤ 0,3 dB – Clase III	≤ 0,3 dB – Clase III	≤ 0,3 dB – Clase III
Pérdida de retorno (RL)	Categoría C (UPC)	≥ 50 dB	≥ 50 dB	≥ 50 dB	≥ 50 dB
	Categoría D (APC)	≥ 60 dB	≥ 60 dB	≥ 60 dB	≥ 60 dB

Nota: https://n9.cl/pdp27 (Splitter óptico conectorizado).

- Para el proyecto utilizaremos Splitter (Divisor Óptico) desbalanceado tipo FBT, 1x2, 30/70 para fusión (sin conectores).

Figura 56

Splitter de 1x2 desbalanceado.



Nota: https://n9.cl/5shqlo (Splitter óptico desbalanceado30/70).

A continuación, se detallan sus especificaciones técnicas

Tabla 14

Especificaciones técnicas del Splitter de 1x2 desbalanceado.

Características
Tamaño Reducido (Φ2.4×25 mm)
Longitud de Onda: 1300 ~ 1500 nm
Alta estabilidad y confiabilidad
Baja PDL
Baja pérdida
Cumple con Telcordia GR1209 y GR1221
Temperatura de Operación (°C): -40 ~ +85
PDL (dB): ≤0.15
Directividad (dB): ≥50
Pérdida de Inserción (dB): ≤6.10/2.10
30/70
Grado A
Aplicaciones:
FTTx/GPON
Sistemas de comunicación ópticos
Pruebas y Mediciones

Nota: https://n9.cl/7wy02g (Splitter óptico desbalanceado30/70).

3.4 Implementación de la red FTTH

3.4.1 Implementación del tendido de troncal de fibra óptica

El despliegue se realizó cumpliendo las normativas de tendido de FO. Este comienza realizando una charla breve de 5 min, donde tocan temas de seguridad como trabajos en altura, mordedura de can, trabajos en lugares confinados, trabajos con herramientas de corte etc.; también se identifican los peligros, riesgos en la zona de trabajo y las medidas de control que se tomarán como el uso de arnés de seguridad, señalizar la zona de trabajo, lavado de manos con agua y jabón etc. Luego, se realiza el llenado el ATS (Analís de trabajo seguro) donde detallan las actividades a realizar, se identifican los peligros, se ponderan el nivel de riesgo en bajo, medio y alto, se describen las medidas de control, se realiza el *check list* de los Epps (casco, lentes dieléctricos chaleco, arnés, botas dieléctricas etc.) de los colaboradores, y, finalmente, la firman los técnicos y firma la obra el jefe de cuadrilla y supervisor de obra como responsables de la obra.

Figura 57

Inicio del trabajo con charla de seguridad por 5 minutos.

Se realizó la implementación utilizando los protocolos de bioseguridad. Este consta de la medición de temperatura, lavado y desinfección de las manos, desinfección de las botas de seguridad, vehículos, uso obligatorio de mascarilla, distanciamiento social, etc.,

Los protocolos de seguridad se realizaron todos los días como medida de acción frente a masivos contagios y muertes que ocasionó la pandemia por el virus COVID-19.

A continuación, se muestra la desinfección de manos del jefe de obra. Se muestra también el uso de la mascarilla de ambos colaboradores.

Figura 58

Desinfección de manos.

Se realizó el tendido de fibra de 144 hilos desde el HUB de Chorrillos ubicado en Av. Fernando Terán 25. Se realizó un primer tramo 3752m por cámaras.

Figura 59

Tendido subterráneo en Av. República de Panamá.

En la avenida Paseo de la Republica 1725, se encontró una obstrucción subterránea que no dejaba pasa la fibra óptica; por lo que se tuvo que realizar una cala para desobturar el ducto y continuar con el tendido subterráneo.

Figura 60

Cala en Av. Paseo de la Republica 1725.

Se realizó un empalme en calle los gorriones LT26 para continuar el tendido por ruta aerea de 1028 m hasta llegar al asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos. Para ello, se utilizan postes de luz de sur y postes izados de Claro.

Figura 61

Empalme recto fibra de 144 hilos.

A continuación, se muestra el empalme realizado en una mufa de 144 hilos.

Figura 62

Mufa de empalme recto fibra de 144 hilos.

Para el tendido aereo se realizó la instalación de postes de Claro.

Figura 63

Instalación de postes de 9 m.

.

También, para el tendido aéreo, se utilizaron postes de la empresa eléctrica Luz del Sur. Este se realizó con estructura constituida por una porta escaleras anclada por tacos, señalizada por conos y bastones de seguridad.

Figura 64

Despliegue de la red en postes de Luz del Sur.

3.4.2 Implementación del tendido de distribución de fibra óptica

Se procede primero a realizar la instalación de *closure,* donde se realiza el empalme de 8 hilos para luego su distribución a los 3 *Hub Boxs* mediante tendido aéreo de fibra óptica de 48 hilos.

Figura 65

Empalme de Closure en calle Belén.

A continuación, muestra ya el dispositivo instalado en calle Belén vista cerca.

Figura 66

Instalación Closure en calle Belén vista de cerca.

A continuación, se muestra la vista panorámica del dispositivo instalado en calle Belén.

Figura 67

Instalación Closure en calle Belén. Vista panorámica.

Para el tendido de distribución se utilizó una fibra óptica de 48 hilos. Fue realizada con postes de Luz del Sur y postes de Claro.

Figura 68

Tendido de fibra óptica de distribución.

Se procedió a realizar la instalación de 3 *Hub boxs*. El primero, en calle 6 de enero MZ LT9, donde se empalmó los hilos 1 al 3 de la fibra óptica de 48 hilos. El segundo H*ub Boxs* se instaló en calle Belén al frente de la MZ J LT16, donde se empalmó los hilos 4 al 6 de la fibra óptica de 48 hilos. Finalmente, se instaló en el tercer *Hub Boxs* en calle 5 de noviembre, Mz. A LT28 LT16, donde se empalmó los hilos 7 al 8 de la fibra óptica de 48 hilos.

Figura 69

Instalación Hub Boxs 2 en calle Belén al frente de la Mz J LT16.

3.4.3 Implementación del tendido de acceso de fibra óptica

Se realizó el tendido de *Drops* donde se dejó 30 cajas terminales con 8 salidas para los accesos a los abonados.

Las cajas terminales con pasante y finales. Las cajas terminales pasantes tienen un *splitter* desbalanceado de 1x2 y un *splitter* balanceado de 1x8, las cajas terminales finales tienen un *splitter* balanceado de 1x8.

En la implementación de red FTTH, es frecuente que exista oposición, por parte de los vecinos, al izado de postes y posterior tendido de fibra óptica. Los vecinos argumentan que ya hay muchos cables de telefonía, que las calles ya están llenas de postes y sugieren que la construcción de redes de internet sea de manera subterránea. Ante esta

problemática, se realizan asambleas donde se exponen los beneficios de la velocidad del internet, muchas veces se llega a consensos y, en otras, se da servicio de internet solo por sectores donde desean el servicio de internet de alta velocidad.

En calle 8 de diciembre Mz. M LT16 al LT21, se dejó sin cobertura debido que los vecinos de ese sector pequeño se oponían fervientemente al despliegue de la red. Se opusieron a la instalación de 1 poste, debido a eso el área quedó sin cobertura, por ende, sin servicio de internet, voz y video.

A continuación, se muestra una caja terminal pasante instalada en poste de Claro.

Figura 70

Zona sin cobertura debido a oposición vecinal.

A continuación, se muestra una caja terminal pasante instalada en poste de Claro.

Figura 71

Caja final pasante número 3.

Cabe mencionar que los trabajos realizados con los postes de Luz del Sur fueron supervisados por la empresa Tecsur, garantizando la integridad de los trabajadores cuando se realiza los trabajos en altura. La empresa supervisora garantiza la separación mínima requerida entre los cables de fibra óptica y los conductores de baja tensión., hacer cumplir la alturas en los cruces de calle, cruce de avenida, etc., con la ayuda de la pértiga utilizada para medir la distancia del piso la catenaria del cable de FO, uso de equipamiento de protección personal que consta de una línea de vida, arnés, eslinga, casco categoría E, barbiquejo, guantes dieléctricos, lentes, botines dieléctricos, uso de porta escalera, llenado de la charla de 5 min diario, identificación de peligros y la seguridad de los colaboradores personal del tendido, realizan la revisión de los estados de los Epps de trabajadores etc.

Cabe mencionar que el supervisor de Luz del Sur puede paralizar la obra si la cuadrilla no cuenta con los Epps completos, carnet de identificación, SCTR (seguro comentario de trabajo de riesgo), Epps en el estado, etc. Terminada la jornada de trabajo, se firma el cuaderno de obra dando cerrado el trabajo sin accidentes.

A continuación, se muestra un personal de tendido con todos sus EPPS.

Figura 72

Liniero mostrando sus EPPS completos.

En la supervisión de Luz del Sur, se incide en las mínimas alturas en los cruces de calle, cruces de avenida. Esto sirve para garantizar que camiones que pasan por las calles y/o avenidas no se lleve la fibra óptica instalada. Estas mediciones se realizan en los 2 postes extremos al cruce y en el cruce mismo. La distancia mínima para cruce de calles es de 5.50 m y para cruce de avenida es de 6.5 m según la normativa de Luz del Sur.

A continuación, se muestra la medición de la altura del suelo a la línea de FO tendida en la calle utilizando la pértiga.

Figura 73

Medición de altura con pértiga.

Terminado el tendido de distribución para abonados, se realizan mediciones ópticas para garantizar que la señal de datos y video que se dejan en las cajas terminales estén dentro de los niveles de permitidos para un adecuado servicio de internet y video. Llevar a cabo pruebas exhaustivas y precisas permite asegurar un alto nivel de satisfacción en los clientes. Además, este proceso contribuye a proporcionar una ventaja competitiva en el mercado.

Para este trabajo se realizan 3 tipos de mediciones. La primera de medición de potencia, la segunda medición de OTDR (refractómetro óptico en el dominio del tiempo) y, finalmente, medición de OLTS (óptica los test set), es un instrumento de alta precisión diseñado para medir la pérdida total de potencia óptica

La primera que se hizo fue medición con el *Power Metter* (medidor de potencia). es un instrumento utilizado en telecomunicaciones para medir la intensidad de la señal en estructura de comunicación óptica. Su finalidad es detectar y cuantificar la intensidad óptica en diferentes longitudes de onda, proporcionando valores precisos que permiten evaluar la calidad de transmisión y las pérdidas en el enlace.

Es importante, antes de proceder con la medición, hacer la limpieza de los conectores del jumper de prueba. Para ello, se utiliza alcohol isopropílico con paños libres de pelusa, el conector se limpia realizando movimientos circulares, de no realizar la limpieza adecuada obtendremos resultados irreales debido a que se aumentara atenuación producto de la suciedad del conector.

A continuación, se muestra la medición de la caja terminal 5 de nuestro proyecto con un resultado de -14.98 dbm, que se encuentra dentro del rango permito de nuestro diseño.

Figura 74

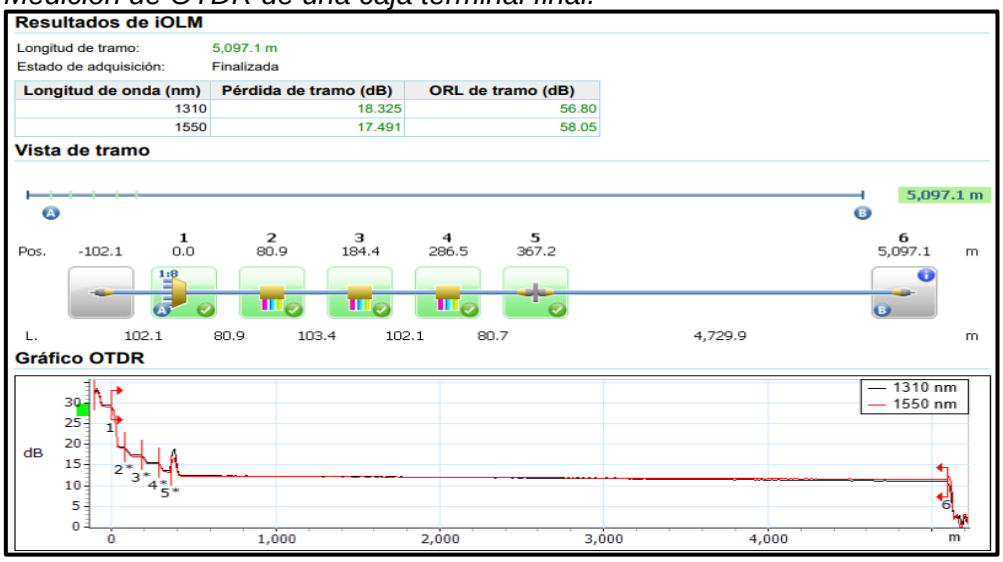
Medición de potencia caja terminal 5.

La segunda medición es con OTDR, este equipo trasmite señales luminosas a través del conductor óptico y la detección de la señal reflejada debido a discontinuidades, empalmes o pérdidas en el enlace. Esta herramienta permite identificar la ubicación y magnitud de fallos como cortes, atenuaciones excesivas o reflejos, facilitando el mantenimiento y la certificación de redes ópticas.

En las mediciones de OTDR se realizan una medición solo en las cajas terminales finales; es decir, en cada final de ramal, estas mediciones se realizan frecuencia de 1310 nm y 1550 nm. Para su ejecución, se establecieron los umbrales correspondientes tanto de empalme 0.3 db, conector 0.5db, *splitter* 1x8 balanceado 10.5 db, perdida de tramo.

Figura 75

Medición de OTDR de una caja terminal final.



La tercera medición es con OLTS. Lo utilizamos para cuantificar la atenuación total en un tramo de fibra óptica su funcionamiento se basa en la emisión de una señal óptica desde una fuente de luz en un extremo del cable y el cálculo de la potencia óptica recibida extremo opuesto, lo que nos permitirá evaluar la atenuación de la señal a lo largo del enlace. Este dispositivo es esencial para la certificación de redes de fibra óptica, asegurando que cumplan con los estándares de transmisión.

Para este trabajo, se ubicó la fuente de luz en la central de Chorrillos de América móvil, ubicada a 5 km del asentamiento humano Navidad de Villa y se emitieron señales con frecuencia de onda de 1310 nm, 1550 nm, 1625 nm y, en el extremo opuesto, un dispositivo de medición de potencia que reflejaba las pérdidas de tramo en las 3 longitudes de onda mencionadas.

Figura 76

Medición de OLTS de una caja terminal final 4.

Informe OLTS

Aprobación

ID de trabajo: **FTTH P CHORRILLOS**
Cliente: **AMERICA MOVIL**
Empresa: **CICSA**
Nombre de archivo: **LMCH 108 -F-P_FAT 04.olts**

Ubicaciones

	Oficina central (CO)	Premisas (Pr.)
Operador	JORGE RONCAL	NARCISO CHIPANA ZAGA
Modelo	MAX-945-SM3-EA	FTB-945-SM3-EA
Número de serie	1159617	1169876
Fecha de calibración	19/09/2018 (UTC)	9/09/2020 (UTC)

Resultados

Identificador	Longitud de onda (nm)	Pérdida máxima (dB)	Margen de pérdida (dB)	Pérdida CO->Pr. (dB)	Pérdida Pr.->CO (dB)	ORL CO (dB)	ORL Pr. (dB)	Longitud (m)	Fecha/hora
LMCH 108 -F-P_FAT 04_PUERTO1	↑ 1310	19.13	5.87	19.15	19.12	34.05	57.14	5,112.6	5/01/2022, 08:09:43
	↓ 1550	18.11	6.89	18.04	18.19	35.68	58.55		
	1625	18.70	6.30	18.66	18.73	36.55	59.84		
LMCH 108 -F-P_FAT 04_PUERTO2	↑ 1310	19.13	5.87	19.15	19.12	34.05	56.85	5,111.6	5/01/2022, 08:10:00
	↓ 1550	18.12	6.88	18.05	18.19	35.68	58.87		
	1625	18.70	6.30	18.67	18.73	36.54	60.88		
LMCH 108 -F-P_FAT 04_PUERTO3	↑ 1310	19.14	5.86	19.15	19.12	34.05	56.86	5,112.7	5/01/2022, 08:10:12
	↓ 1550	18.12	6.88	18.05	18.19	35.69	57.71		
	1625	18.70	6.30	18.68	18.73	36.54	59.95		

3.5 Pruebas de la red FTTH

3.5.1 Cálculo del presupuesto del enlace óptico, pérdidas de potencia

La potencia de recepción se determina restando la potencia de transmisión del OLT. menos las pérdidas en el trayecto al atravesar el cable de fibra óptica, como se aprecia en la ecuación 3.

$$Pr=Pt \qquad (3)$$

La atenuación experimentada por la señal óptica a lo largo del recorrido, los parámetros a considerar son atenuación por longitud del enlace, atenuación de *splitter*, de los empalmes y de los conectores, como se aprecia en la ecuación 4.

$$L=L\ cable+Lsplitter+Lfusion+Lconectores \qquad (4)$$

El cálculo de la perdida de los *splitters* dependerá de la caja terminal donde se encuentre.

De las especificaciones técnicas de la tabla 9, el *splitter* desbalanceado que usaremos es 30/70 donde la perdida de la primera salida es de 6.2db y perdida de la segunda salida es de 2.1db, se detalla de la siguiente manera.

- Perdida primera caja terminal pasante: pérdida de los *splitter* 1x2 salida 1 + *splitter* 1x8.
- Perdida segunda caja terminal pasante: pérdida *splitter* 1x2 salida 1 + Perdida *splitter* 1x2 salida 2 + Perdida *splitter* 1x8
- Perdida tercera caja terminal pasante: pérdida *splitter* 1x2 salida 1 + 2* pérdida *splitter* 1x2 salida 2 + pérdida *splitter* 1x8
- Perdida caja terminal final: 3* pérdida *splitter* 1x2 salida 2 + pérdida *splitter* 1x8

El cálculo de la pérdida total por conectores dependerá de la caja terminal donde se encuentre y la del conector en el ODF (Ordenador de fibra óptica), se detalla de la siguiente manera.

- Pérdida primera caja terminal pasante: pérdida del conector ODF+ pérdida del conector del FDT + pérdida Conector del Hub boxs + pérdida del conector de caja terminal.
- Pérdida segunda caja terminal pasante: pérdida del conector ODF + pérdida del conector del FDT + pérdida conectora del Hub boxs + 2*pérdida del conector de caja terminal.
- Pérdida tercera caja terminal pasante: pérdida del Conector ODF + pérdida del Conector del FDT + pérdida Conector del Hub boxs+ 3*pérdida del Conector de caja terminal.
- Pérdida cuarta caja terminal: pérdida del Conector ODF + pérdida del Conector del FDT + pérdida Conector del Hub boxs + 4*pérdida del Conector de caja terminal.

  La pérdida de la acometida al abonado se está dado por
- La pérdida de la acometida al abonado: pérdida del Drop de 100m para acometida + pérdida en conexión en la receta + pérdida 10m de cable de Jumper SC/APC que conecta al ONT.
- Las pérdidas por fusiones: pérdida de fusión por empalme recto + pérdida de fusión en el FDT + pérdida por fusión en el Hub Boxs.

La pérdida de los Drops dependerá de la caja terminal donde se encuentre esta se determinará la cantidad y medidas de los Drops se detalla de la siguiente manera.

- Pérdida de Drops de primera caja terminal pasante: pérdida de 1 Drops
- Pérdida de Drops de la segunda caja terminal pasante: pérdida de 2 Drops
- Pérdida de Drops de la tercera caja terminal pasante: pérdida de 3 Drops
- Pérdida de Drops de primera caja terminal: pérdida de 4 Drops

Tabla 15

Pérdidas teóricas de diseño.

Atenuaciones estimadas	(Parámetros según el fabricante en Db)
Cable (dB/Km)	0.36
Empalmes/(dB)	0.1
Conectores (dB)	0.5
Pérdida de Conector en la Roseta (dB)	0.6
Splitter de 1x2 Desbalanceado 30/70 (dB)	6.1/2.1
Splitter de 1x8 Balanceado (dB)	10.5

Nota: https://n9.cl/ab9s3 (normativas de redes GPON UIT-T G.984)

Aquí se presenta la tabla que detalla la pérdida de cada uno de los enlaces.

Tabla 16

Pérdidas de los enlaces.

Pérdida de enlace	Pérdida de la FO de la Troncal de 144 hilos	Pérdida Fo de distribución al HUB BOXS	Pérdida Drops de distribución al abonado	Pérdida de splitters	Pérdida de Fusión	Pérdida-da de Conector	Pérdida de Acometi-da al abonado	Pérdida Total en DB
L1	1.59156	0.1098	0.0288	16.7	0.3	2	0.6396	21.37
L2	1.59156	0.1098	0.0648	18.8	0.3	2.5	0.6396	24.006
L3	1.59156	0.1098	0.1008	20.9	0.3	3	0.6396	26.642
L4	1.59156	0.1098	0.1296	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.071
L5	1.59156	0.1098	0.018	16.7	0.3	2	0.6396	21.359
L6	1.59156	0.1098	0.477468	18.8	0.3	2.5	0.6396	24.418
L7	1.59156	0.1098	0.557046	20.9	0.3	3	0.6396	27.098
L9	1.59156	0.1098	0.0288	16.7	0.3	2	0.6396	21.37
L10	1.59156	0.1098	0.2864808	18.8	0.3	2.5	0.6396	24.227
L11	1.59156	0.1098	0.4138056	20.9	0.3	3	0.6396	26.955
L12	1.59156	0.1098	0.4933836	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.434
L13	1.59156	0.054	0.018	16.7	0.3	2	0.6396	21.303
L14	1.59156	0.054	0.159156	18.8	0.3	2.5	0.6396	24.044
L15	1.59156	0.054	0.318312	20.9	0.3	3	0.6396	26.803
L16	1.59156	0.054	0.39789	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.283
L17	1.59156	0.054	0.054	16.7	0.3	2	0.6396	21.339
L18	1.59156	0.054	0.39789	18.8	0.3	2.5	0.6396	24.283
L19	1.59156	0.054	0.557046	20.9	0.3	3	0.6396	27.042
L20	1.59156	0.054	0.6843708	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.57
L21	1.59156	0.054	0.036	16.7	0.3	2	0.6396	21.321
L22	1.59156	0.054	0.054	18.8	0.3	2.5	0.6396	23.939
L23	1.59156	0.054	0.0828	20.9	0.3	3	0.6396	26.568
L24	1.59156	0.054	0.1188	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.004
L25	1.59156	0.09612	0.018	16.7	0.3	2	0.6396	21.345
L26	1.59156	0.09612	0.036	18.8	0.3	2.5	0.6396	23.963
L27	1.59156	0.09612	0.072	20.9	0.3	3	0.6396	26.599
L28	1.59156	0.09612	0.1008	16.8	0.3	3.5	0.6396	23.028
L29	1.59156	0.09612	0.018	16.7	0.3	2	0.6396	21.345
L30	1.59156	0.09612	0.054	18.8	0.3	2.5	0.6396	23.981
L31	1.59156	0.09612	0.072	20.9	0.3	3	0.6396	26.599

A continuación, calcularemos la potencia de recepción en cada ONT. Para ello, se reemplaza la perdida de los enlaces en la ecuación 1. La potencia de trasmisión la tomaremos de la tabla 6, como vemos en la fórmula 1.

$$P(\text{recepción}) = T(\text{transmisión}) - L \qquad (1)$$

Tabla 17

Potencia de recepción en los ONT.

Cálculo potencia de recepción	Potencia de trasmisión en el OLT en DBm	Pérdida total del en la en lace DB	Potencia de recepción en ONT en DBm
Pr 1	5	21.36976	-16.36976
Pr 2	5	24.00576	-19.00576
Pr 3	5	26.64176	-21.64176
Pr 4	5	23.07056	-18.07056
Pr 5	5	21.35896	-16.35896
Pr 6	5	24.418428	-19.418428
Pr 7	5	27.098006	-22.098006
Pr 9	5	21.36976	-16.36976
Pr 10	5	24.2274408	-19.2274408
Pr 11	5	26.9547656	-21.9547656
Pr 12	5	23.4343436	-18.4343436
Pr 13	5	21.30316	-16.30316
Pr 14	5	24.044316	-19.044316
Pr 15	5	26.803472	-21.803472
Pr 16	5	23.28305	-18.28305
Pr 17	5	21.33916	-16.33916
Pr 18	5	24.28305	-19.28305
Pr 19	5	27.042206	-22.042206
Pr 20	5	23.5695308	-18.5695308
Pr 21	5	21.32116	-16.32116
Pr 22	5	23.93916	-18.93916
Pr 23	5	26.56796	-21.56796
Pr 24	5	23.00396	-18.00396
Pr 25	5	21.34528	-16.34528
Pr 26	5	23.96328	-18.96328
Pr 27	5	26.59928	-21.59928
Pr 28	5	23.02808	-18.02808
Pr 29	5	21.34528	-16.34528
Pr 30	5	23.98128	-18.98128
Pr 31	5	26.59928	-21.59928

A continuación, el M(Margen) del enlace se calcula como la diferencia del mínimo de potencia óptica que un receptor puede detectar y procesar denominada sensibilidad del ONT (S) y atenuación total experimentada en la trayectoria de transmisión (Pr), como vemos en la ecuación 5.

M(Margen)=S(sensibilidad)-Pr (5)

Tabla 18

Margen ONT.

Cálculo del Margen	Sensibilidad del ONT en DBm	Potencia de Recepción en ONT en DB	Margen del enlace en DB
M 1	-27	-16.36976	-10.63024
M 2	-27	-19.00576	-7.99424
M 3	-27	-21.64176	-5.35824
M 4	-27	-18.07056	-8.92944
M 5	-27	-16.35896	-10.64104
M 6	-27	-19.418428	-7.581572
M 7	-27	-22.098006	-4.901994
M 9	-27	-16.36976	-10.63024
M 10	-27	-19.2274408	-7.7725592
M 11	-27	-21.9547656	-5.0452344
M 12	-27	-18.4343436	-8.5656564
M 13	-27	-16.30316	-10.69684
M 14	-27	-19.044316	-7.955684
M 15	-27	-21.803472	-5.196528
M 16	-27	-18.28305	-8.71695
M 17	-27	-16.33916	-10.66084
M 18	-27	-19.28305	-7.71695
M 19	-27	-22.042206	-4.957794
M 20	-27	-18.5695308	-8.4304692
M 21	-27	-16.32116	-10.67884
M 22	-27	-18.93916	-8.06084
M 23	-27	-21.56796	-5.43204
M 24	-27	-18.00396	-8.99604
M 25	-27	-16.34528	-10.65472
M 26	-27	-18.96328	-8.03672
M 27	-27	-21.59928	-5.40072
M 28	-27	-18.02808	-8.97192
M 29	-27	-16.34528	-10.65472
M 30	-27	-18.98128	-8.01872
M 31	-27	-21.59928	-5.40072

3.5.2 Cálculo de la tasa de velocidad por usuario

A continuación, se muestra el cuadro de velocidad máxima de transferencia de datos en subida y bajada asignada a cada usuario

Tabla 19

Velocidad máxima de transferencia de datos en subida y bajada.

	Interfaz de conexión designada	Numero de ONTs proyectados para los abonados	Máxima Rapidez de descarga en Mbps	Máxima Rapidez de carga en Mbps
Hub boxs 1	HILO 85	32	78.125	39.0625
	HILO 86	24	104.1666667	52.08333333
	HILO 87	32	78.125	39.0625
Hub boxs 2	HILO 88	32	78.125	39.0625
	HILO 89	32	78.125	39.0625
	HILO 90	32	78.125	39.0625
Hub boxs 3	HILO 91	32	78.125	39.0625
	HILO 92	24	104.1666667	52.08333333

La velocidad de carga es de 10Mbps y la velocidad de descarga es de 4Mbps a las que pueden acceder los abonados del asentamiento humano Navidad de Villa. Luego de la implementación, la velocidad a las que podrán acceder los abonados aumenta en los siguientes porcentajes.

Tabla 20

Porcentaje de variación máxima de transferencia de datos en subida y bajada.

	Puerto asignado	Porcentaje máximo de variación de bajada en Mbps	Porcentaje máximo de variación de subida Mbps Mbp
Hub boxs 1	HILO 85	781%	977%
	HILO 86	1042%	1302%
	HILO 87	781%	977%
Hub boxs 2	HILO 88	781%	977%
	HILO 89	781%	977%
	HILO 90	781%	977%
Hub boxs 3	HILO 91	781%	977%
	HILO 92	1042%	1302%

Capítulo IV. Analísis y discusión de resultados

En esta sección se detalla el logro de los objetivos específicos., considerando los criterios de éxito y los parámetros establecidos, los cuales han sido desarrollados y explicadas en el subcapítulo correspondiente.

4.1 Cumplimiento del primer objetivo específico

Se llego a dimensionar una red FTTH basado en la tecnología GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa. Los indicadores de éxito incluyen la elaboración de un diagrama que represente la arquitectura de la red FTTH, así como la descripción detallada de las especificaciones técnicas del cableado y del equipamiento

Se realizó el diagrama de la arquitectura de red, este fue explicado en detalle en el capítulo 3.2.

Se realizó la descripción de las especificaciones técnicas del cableado y equipamiento en el capítulo 3.3. Se dan mayores alcances en el anexo 1.

Tabla 21

Análisis de logro del primer objetivo específico.

Indicador de logro	Métrica	Cumplimiento
a) Diagrama de la arquitectura de la red FTTH.	**Documento**	**OK**
b) Especificaciones técnicas del cableado y equipamiento a emplear en la implementación de la solución.	**Documento**	**OK**

4.2 Cumplimiento del segundo objetivo específico

Se implemento una red FTTH utilizando la tecnología GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa, cuyo indicador de logro es la potencia de recepción en el ONT>=-27dbm. A continuación, se muestran las potencias de recepción en los ONT.

Tabla 22

Cumplimiento de potencias de recepción en los ONT.

Cálculo potencia de recepción	Potencia de recepción en ONT en DBm	Cumplimiento
Pr 1	-16.36976	**OK**
Pr 2	-19.00576	**OK**
Pr 3	-21.64176	**OK**
Pr 4	-18.07056	**OK**
Pr 5	-16.35896	**OK**
Pr 6	-19.418428	**OK**
Pr 7	-22.098006	**OK**
Pr 9	-16.36976	**OK**
Pr 10	-19.2274408	**OK**
Pr 11	-21.9547656	**OK**
Pr 12	-18.4343436	**OK**
Pr 13	-16.30316	**OK**
Pr 14	-19.044316	**OK**
Pr 15	-21.803472	**OK**
Pr 16	-18.28305	**OK**
Pr 17	-16.33916	**OK**
Pr 18	-19.28305	**OK**
Pr 19	-22.042206	**OK**
Pr 20	-18.5695308	**OK**
Pr 21	-16.32116	**OK**
Pr 22	-18.93916	**OK**
Pr 23	-21.56796	**OK**
Pr 24	-18.00396	**OK**
Pr 25	-16.34528	**OK**
Pr 26	-18.96328	**OK**
Pr 27	-21.59928	**OK**
Pr 28	-18.02808	**OK**
Pr 29	-16.34528	**OK**
Pr 30	-18.98128	**OK**
Pr 31	-21.59928	**OK**

En función de los resultados mencionados en la tabla anterior, se verifica que se cumplieron satisfactoriamente los umbrales del segundo objetivo específico propuesto.

4.3 Cumplimiento del tercer objetivo específico

Se mejoro los tiempos de acceso a internet y a los servicios de datos, voz y video, cuyo indicador de éxito es tener que mejorar en 400 % la velocidad de subida y bajada.

Después de realizar los cálculos se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 23

Porcentaje de la velocidad de carga y descarga.

	Abonados en su hilo asignado	Porcentaje variación de velocidad máxima de descarga en Mbps	Porcentaje variación de velocidad máxima de carga en Mbps	Cumplimiento
Hub boxs 1	**HILO 85**	781%	977%	**OK**
	HILO 86	1042%	1302%	**OK**
	HILO 87	781%	977%	**OK**
Hub boxs 2	**HILO 88**	781%	977%	**OK**
	HILO 89	781%	977%	**OK**
	HILO 90	781%	977%	**OK**
Hub boxs 3	**HILO 91**	781%	977%	**OK**
	HILO 92	1042%	1302%	**OK**

Como puede verificarse en la tabla anterior, el porcentaje de variación de carga y descarga después de la implementación de la red FTTH a las que pueden acceder los abonados del asentamiento humano Navidad de Villa es mayor al 400%; por lo tanto, se concluye que se ha cumplido el tercer objetivo específico.

Conclusiones

AA continuación, se describen las conclusiones en función de la experiencia vivida en el dimensionamiento e implementación del presente proyecto.

- Se dimensionó una red FTTH con la tecnología GPON para el acceso a la banda ancha para el asentamiento humano Navidad de Villa del distrito de Chorrillos, teniendo en consideración las especificaciones técnicas cableado y equipamiento.
- Se elaboró un diagrama de arquitectura de red para el dimensionamiento de una red FTTH utilizando la tecnología GPON.
- Se implementó una red FTTH utilizando la tecnología GPON para el asentamiento humano con potencia de recepción en el ONT mayores que -27dbm.
- Se implementó una red FTTH utilizando la tecnología GPON para el asentamiento humano Navidad de Villa con un margen de hasta -10.65db.
- Como resultado de la implementación del proyecto, se logró velocidades de carga hasta 104.16 Mbps y de descarga hasta de 52.08 Mbps.
- Como resultado de la implementación del proyecto se mejoró los tiempos de carga hasta 10 veces en comparación del servicio encontrado para acceso a internet y a los servicios de datos, voz y video.
- Como resultado de la implementación del proyecto se mejoró los tiempos de descarga hasta 13 veces en comparación del servicio encontrado para acceso a internet y a los servicios de datos, voz y video.

Recomendaciones

En función al desarrollo del presente proyecto y de la experiencia adquirida, se hacen las siguientes recomendaciones:

- En este trabajo, se ha dimensionado mediante una arquitectura tipo árbol, se recomienda realizarla con una arquitectura árbol con anillo para que tenga redundancia así podrá tener un respaldo cuando se tenga una avería.
- En este trabajo se dejó una zona sin cobertura debido a la oposición vecinal por el plantado de postes y por la presencia de mucho cableado aéreo existente, por lo que se recomienda realizar la construcción de micro canalizado para el despliegue en zonas donde hay oposición.
- Se realizó calas en el proceso de construcción para desobturar los ductos existentes. Se recomienda la limpieza y poner hilos guía de los ductos existentes antes del despliegue para no tener tiempo muertos a la hora del despliegue de la red.
- Se realizó un diseño preconectorizado desbalanceado desde los distribuidores para abonados, en el Hub box se realizó 8 empalmes y 8 empalmes en el FDT. Se recomienda realizar un diseño preconectorizado desbalanceado desde el FDT donde se realizará 8 empalmes en total, así mejorar los tiempos en la construcción de la red FTTH.

Referencias bibliográficas

Abdalla Abdelgader, M., Rodriguez, J., y Elfergani, I. (2020). *Optical and wireless convergence for 5G networks*. John Wiley. https://www.researchgate.net/publication/335607579_Optical_and_Wireless_Convergence_for_5G_Networks

Aire.ec. (s.f.). *HUAWEI EG8141A5*. Aire.ec. https://aire.ec/producto/huawei-eg8141a5/

Arias de la cruz, J. (2015). *Diseño de una red FTTH utilizando el estándar GPON en el distrito de Magdalena del Mar* [Tesis de Grado, Universidad Catolica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP . https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7506

Bottacchi, S. (2021). *Handbook of High-Order Optical Modulations:Signal and Spectra for Coherent Multi-Terabit Optical Fiber Transmission*. Springer. https://www.academia.edu/111719339/Handbook_of_High_Order_Optical_Modulations?uc-sb-sw=111040178

Divliansky, I. (2020). *Advances in High-Power Fiber and Diode Laser Engineering.* Stevenage.

Farmer, J. (2017). *FTTx networks: technology implementation and operation.* Morgan Kaufmann. https://dokumen.pub/fttx-networks-technology-implementation-and-operation-1st-edition-9780128004586-9780124201378.html

Farmer, J., Brian, L., Bourg, K. y Wang, W. (2017). *FTTx Networks:Technology Implementation and Operation*. Elsevier Science. https://www.researchgate.net/publication/319099662_FTTx_Networks_Technology_Implementation_and_Operation

2 Flex Telecom. (s.f.). *Splitter desbalanceado 1x2 70/30 sin conector*. 2 Flex Telecom. https://2flex.com.br/produto/splitter-desbalanceado-1x2-70-30-s-conector/

García Lara, E. (2021). *Implementación de una red FTTH para mejorar la calidad del servicio de Internet en el distrito de San Juan de Lurigancho, para la empresa Best Cable Perú Sac en el año 2021* [Tesis de Grado, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional UTP . https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/4983

Grazzini, H. (2020). *Fibras ópticas Conceptos teoricos y aplicaciones prácticas.* Universitas.

Huawei Carrier. (s.f.). *Optical Line Terminal (OLT)*. Huawei Carrier. https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/OLT

Huawei Enterprise. (s.f.). *EchoLife EG8145V5*. Huawei Enterprise. https://n9.cl/6j12v

Huawei Enterprise España. (s.f.). *SmartAX MA5801-FL16*. Huawei Enterprise España. https://e.huawei.com/es/products/fixed-network/access/olt/ma5801-fl16

INCOM. (s.f.). *Catálogo de Fibra Óptica*. INCOM. https://n9.cl/yyeyy

Janevski, T. (2014). *NGN architectures, protocols, and services.* Wiley.

Jardon Aguilar, H. y Linares, R. (1995). *Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas.* Alfaomega.

Keiser, G. (2022). *Optical Fiber Communications.* McGraw-Hill Education.

Kim, J. (2024, enero 15). *Fiber to the Home (FTTH): A Comprehensive Guide*. Dgtl Infra. https://dgtlinfra.com/fiber-to-the-home-ftth/

Latic Latinoamérica. (s.f.). *Splitter óptico 1x8 PLC-SC/APC*. Latic Latinoamérica. https://n9.cl/pdp27

Massimo, T., ChangGee, K. y Georgios. E. (2017). *Fiber-Wireless Convergence in Next-Generation Communication Networks Systems, Architectures, and Management*. Springer International Publishing AG.

Pachas Matías, J. (2018). *Diseño de una red FTTH con despliegue de fibra óptica mediante el sistema de alcantarillado en el distrito de El Agustino* [Tesis de Grado, Universidad Catolica del Perú]. Repositorio de Tesis PUCP . https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13945

Prat, J. (2008). *Next-Generation FTTH Passive Optical Networks.* Springer Science.

Recomendación UIT-T G.902 (1996, enero). *Redes de acceso óptico para el soporte de servicios que funcionan con velocidades binarias equivalentes.* ITU. https://www.itu.int/rec/dologin_pub.asp?lang=s&id=T-REC-G.982-199611-I!!PDF-S&type=items

Rodríguez, Y. (2009). *Fibra óptica.* Santa Fe. https://www.academia.edu/36616115/Fibra_%C3%B3ptica_Fibra_%C3%B3ptica

Singh Chandramani, K. (2021). *Advances in smart communication and imaging systems:select proceedings of MedCom.* Goyal.

SYSCOM. (2016, 18 de agosto). *Cableados Verticales 'Backbone' de Fibra Óptica*. SYSCOM Blog. https://www.syscomblog.com/2016/08/cableados-verticales-backbone-de-fibra.html

SYSCOM Colombia. (s.f.). *Splitter (Divisor Óptico) Desbalanceado tipo FBT, 1x2, 30/70 para fusión (sin conectores)*. SYSCOM Colombia. https://n9.cl/7wy02g.

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (s.f.). *Publicaciones del UIT-T*. Unión Internacional de Telecomunicaciones. https://www.itu.int/es/publications/ITU-T/Pages/default.aspx

Unión Internacional de Telecomunicaciones. (1996). *Recomendación G.982: Óptica para sistemas de fibra hasta el hogar* (ITU-T G.982). https://www.itu.int/rec/T-REC-G.982-199611-I

Vargas, C.(2020, septiembre). *Introducción a las redes FTTX.* SISUTELCO.https://sisutelco.com/introduccion-redes-fttx/

Warier S. (2017). *The ABCs of fiber optic communication.* Artech House.

Weinstein Stephen, B.,Yuanqiu, L. y Wang, T. (2012). *The Comsoc Guide To Passive Optical Networks.* Board.

Yu, J. y Chi, N. (2020). *Optical and wireless convergence for 5G networks.* Springer Singapore.

Anexos

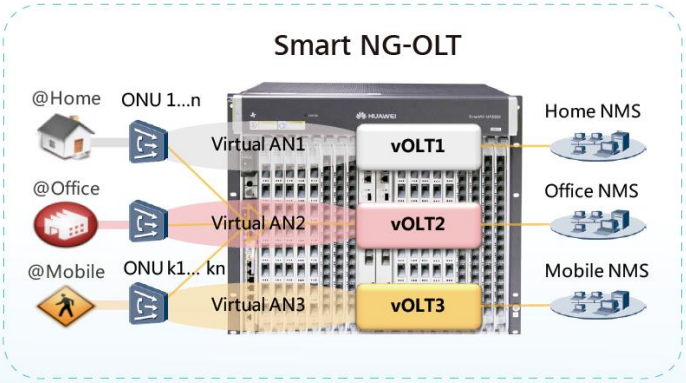
Anexo 1: Especificaciones técnicas del equipamiento..... 1

Anexo 1

Especificaciones técnicas del equipamiento

- Capacidades inteligentes de OLT

- MA5800 hardware features a programmable network processor (NP) chipset. This provides SDN-based smart service support, enabling the rapid rollout of new services.
- The MA5800's virtual access network feature enables one physical access network to be virtualized and partitioned logically. This supports carriers' smart operations such as differential multi-service operations and network wholesale to retail service providers, thus achieving agile service deployment.



- Parámetros del Interfaz del ONT

GPON port	Ethernet port
• Class B+ • Receiver sensitivity: -27 dBm • Overload optical power: -8 dBm • Wavelengths: US 1310 nm, DS 1490 nm • Wavelength blocking filter (WBF) of G.984.5 • Flexible mapping between GEM Port and TCONT • GPON: consistent with the SN or password authentication defined in G.984.3 • Bi-directional FEC • SR-DBA and NSR-DBA	• Ethernet port-based VLAN tags and tag removal • 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission • QinQ VLAN • Limit on the number of learned MAC addresses • MAC address learning • GE: Auto-adaptive 10 Mbit/s, 100 Mbit/s or 1000 Mbit/s • FE: Auto-adaptive 10 Mbit/s or 100 Mbit/s
WLAN	**POTS port**
• IEEE 802.11 b/g/n • 2 x 2 MIMO • Antenna gain: 5 dBi • WMM • Multiple SSIDs • WPS • Air interface rate: 300 Mbps	• Maximum REN: 4 • G.711A/μ, G.729a/b and G.722 encoding/decoding • T.30/T.38/G.711 fax mode • DTMF • Emergency calls (with the SIP protocol)