

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



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

**Diseño de una red FTTH-GPON para brindar servicio de internet  
en un asentamiento humano**

Para obtener el Título Profesional en Ingeniero de Telecomunicaciones

Elaborado por

Luis Felipe Quispe Guevara

 [0009-0000-5692-7946](https://orcid.org/0009-0000-5692-7946)

Asesor

MSc. Ing. Marcial Antonio López Tafur

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

Lima – Perú

2024

---

Citar/How to cite	Quispe Guevara [1]
Referencia/Reference	[1] L. Quispe Guevara, " <i>Diseño de una red FTTH-GPON para brindar servicio de internet en un asentamiento humano</i> " [Trabajo de Suficiencia Profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

---



---

Citar/How to cite	(Quispe, 2024)
Referencia/Reference	Quispe, L. (2024). <i>Diseño de una red FTTH-GPON para brindar servicio de internet en un asentamiento humano</i> . [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

---

### ***Dedicatoria***

*A mis padres, hermanos y mi novia Roxana que me brindaron su apoyo incondicional. Han estado ahí siempre, en los momentos que más los he necesitado, para motivarme, constantemente, en alcanzar mis anhelos.*

## Resumen

En el presente trabajo sobre el diseño de una red FTTH-GPON brindará el servicio de internet en un asentamiento humano, donde la propuesta de solución para que los hogares puedan acceder a un mejor ancho de banda fija, especialmente, en asentamientos humanos que tienen una alta brecha digital. En la actualidad, existe la necesidad de mejorar las velocidades en el ancho de banda fija para el acceso del servicio de internet residencial, siendo la mejor opción diseñar una red FTTH con tecnología GPON, que muestra disponibilidad, diseño de red, cálculo de potencia, velocidad de transmisión y extensión de la red, factores que promueven soluciones que benefician a los clientes. Al culminar el trabajo de suficiencia profesional se muestran los hallazgos sobre por qué la red FTTH es una mejor alternativa técnica y económica, en comparación a las tecnologías convencionales HFC y xDSL. A su vez, se presentará una evaluación financiera que mostrará un retorno de inversión y rentabilidad esperada en 3 años, determinando que la red FTTH satisface las necesidades técnicas y económicas para los hogares. Se concluye que las redes de FTTH reducen la brecha digital, especialmente, en los lugares más alejados como asentamientos humanos donde la población no tiene acceso a un servicio de internet de alta velocidad.

Palabras clave — Red FTTH, GPON, banda ancha fija y brecha digital.

## **Abstract**

This professional sufficiency thesis presents a proposed solution so that households can access better fixed bandwidth, especially in human settlements that have a high digital divide. Currently there is a need to improve fixed bandwidth speeds for access to residential internet service, the best option being to design an FTTH network with GPON technology, which shows availability, network design, power calculation, transmission speed and network extension, factors that promote solutions that benefit residents. Upon completion of the professional proficiency work, the results will be shown on why the FTTH network is a better technical and economic alternative compared to conventional HFC and xDSL technologies. In turn, a financial evaluation will be presented that will show a return on investment and expected profitability in 3 years, determining that the FTTH network meets the technical and economic needs for homes. It is concluded that FTTH networks reduce the digital divide, especially in the most remote places such as human settlements where the population does not have access to a high-speed internet service.

Keywords — FTTH network, GPON, fixed broadband and digital divide.

## Contenido

	Pág.
Resumen.....	iv
Abstract.....	v
Introducción.....	xii
Capítulo I. Parte introductoria del trabajo .....	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2 Descripción del problema de investigación .....	1
1.3 Objetivos del estudio .....	1
1.3.1 Objetivo general .....	1
1.3.2 Objetivos específicos .....	2
1.4 Antecedentes investigativos.....	2
Capítulo II. Marco teórico y conceptual.....	5
2.1 Marco teórico .....	5
2.1.1 Fibra óptica .....	5
2.1.2 Esquema básico de un sistema de transmisión por fibra óptica .....	6
2.1.3 Mecanismos de reflexión y refracción.....	7
2.1.4 Apertura numérica.....	9
2.1.5 Generalidades de la fibra óptica.....	11
2.1.6 Introducción a las redes FTTx .....	18
2.1.7 FTTH: <i>Fibee To The Home</i> o Fibra hasta la casa.....	19
2.1.8 Arquitectura de una red FTTH.....	21
2.2 Marco conceptual.....	22
2.2.1 OLT ( <i>Optical Line Terminal</i> ) .....	22
2.2.2 SFP C++ .....	24
2.2.3 ODF ( <i>Optical Distribution Frame</i> ) .....	25
2.2.4 Cable de fibra óptica PKP .....	27
2.2.5 Caja de empalme .....	28

2.2.6 Caja de distribución óptica .....	29
2.2.7 Splitter óptico .....	31
2.2.8 CTO (Caja de terminación óptica).....	32
2.2.9 Drop preconectorizado.....	33
2.2.10 ONT ( <i>Optical Network Termination</i> ).....	34
2.2.11 Enrutador central ( <i>Router</i> ).....	35
2.2.12 Grupo electrógeno.....	36
2.2.13 Instalación de redes FTTH.....	36
Capítulo III. Desarrollo del trabajo de Investigación.....	40
3.1 Esquema general de una red FTTH .....	40
3.1.1 Planta interna.....	40
3.1.2 Planta externa.....	40
3.1.3 Usuario .....	41
3.2 Esquema específico de una red FTTH.....	41
3.3 Plano de una red FTTH en un asentamiento humano .....	55
Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados.....	62
4.1 Estimación de costos.....	62
4.1.1 Estimación de costo de materiales y equipos.....	62
4.1.2 Estimación de costos por mano de obra .....	63
4.2 Diagrama de Gantt.....	64
4.3 Coordinación entre áreas de trabajo.....	65
Conclusiones.....	66
Recomendaciones.....	67
Referencias bibliográficas .....	68
Anexos.....	70

## Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Norma ITU-T G.652 Características físicas de las fibras monomodo.....	17
Tabla 2: Norma ITU-T G.652 Características geométricas de las fibras monomodo .....	17
Tabla 3: Norma ITU-T G.652 Características ambientales de las fibras monomodo. ....	18
Tabla 4: Norma ITU-T G.652 Características mecánicas de las fibras monomodo. ....	18
Tabla 5: Redes FTTx .....	19
Tabla 6: Características de la OLT ZTE. ....	23
Tabla 7: Características del transceiver SFP C++.....	24
Tabla 8: Dimensiones del ODF.....	25
Tabla 9: Capacidad del ODF .....	25
Tabla 10: Especificaciones cable óptica PKP. ....	27
Tabla 11: Especificaciones de la caja de empalme.....	28
Tabla 12: Características del Hub Box .....	30
Tabla 13: Especificaciones del splitter óptico.....	31
Tabla 14: Especificaciones del CTO .....	33
Tabla 15: Especificaciones del cable acometida.....	34
Tabla 16: Costes de los materiales de instalación.....	62
Tabla 17: Costos de la mano de obra.. ..	63
Tabla 18: Costo total del proyecto.....	63

## Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Velocidades de internet.....	4
Figura 2: Fibra óptica y su estructura.....	5
Figura 3: Fenómeno de reflexión y refracción.....	8
Figura 4: Apertura numérica en una fibra .....	10
Figura 5: Perfil del índice de refracción .....	15
Figura 6: Tecnología de redes de acceso FTTH.....	20
Figura 7: Punto a punto.....	21
Figura 8: Punto a multipunto.....	22
Figura 9: OLT dentro de gabinete .....	23
Figura 10: <i>Transceiver</i> SFP C++ .....	24
Figura 11: Gabinete Commscope .....	26
Figura 12: Bandeja del ODF Commscope .....	26
Figura 13: Fibra óptica PKP.....	27
Figura 14: Caja de empalme.....	28
Figura 15: <i>Hub Box</i> .....	29
Figura 16: <i>Splitter</i> óptico.....	31
Figura 17: CTO.....	32
Figura 18: Cable acometida.....	34
Figura 19: ONT.....	35
Figura 20: Equipo <i>router</i> .....	35
Figura 21: Grupo electrógeno.....	36
Figura 22: Tendido aéreo .....	37
Figura 23: Tendido que se realizara dentro del ducto .....	39
Figura 24: Tapa de la cámara.....	39
Figura 25: Esquema de servicio general red FTTH.....	40
Figura 26: Esquema de la OLT dentro de una sala.....	40

Figura 27: Esquema específico de una red FTTH.....	41
Figura 28: Equipo <i>Router</i> .....	42
Figura 29: Los jumper LC/UPC – LC/UPC que se conectan.....	42
Figura 30: Potencia de salida del router hacia la OLT .....	43
Figura 31: Bandeja del ODF donde se conectan los jumpers hacia la OLT .....	43
Figura 32: <i>Jumper</i> LC/APC – SC/UPC.....	44
Figura 33: Potencia del <i>jumper</i> de la OLT .....	44
Figura 34: Cables alimentadores que ingresan al ODF .....	45
Figura 35: Cámara aperturada.....	45
Figura 36: Cableado que ingresará entre las cámaras por ductos. ....	46
Figura 37: Caja de empalme dentro de la cámara .....	46
Figura 38: Caja de empalme.....	47
Figura 39: Cableado aéreo desde la caja de empalme hasta <i>Hub Box</i> .....	47
Figura 40: Esquema preconectorizado del <i>Hub Box</i> - CTO .....	48
Figura 41: <i>Hub Box</i> .....	48
Figura 42: Conectores del <i>Hub Box</i> hacia los CTO.....	49
Figura 43: <i>Splitter</i> 1x2 del <i>Hub Box</i> .....	49
Figura 44: Potencia de salida del <i>Hub Box</i> hacia el CTO .....	50
Figura 45: Potencia de ingreso del CTO 1 proveniente del <i>Hub Box</i> .....	50
Figura 46: Potencia de salida del CTO 1 hacia el cliente.....	51
Figura 47: Potencia de ingreso del CTO 2 proveniente del CTO 1.....	51
Figura 48: Potencia de salida del CTO 2 al cliente.....	52
Figura 49: Potencia de ingreso del CTO 3 proveniente del CTO 2.....	52
Figura 50: Potencia de salida del CTO 3 al cliente.....	53
Figura 51: Equipos que se instalan al cliente.....	53
Figura 52: Tabla de potencias de los CTO .....	54
Figura 53: Plano de una red FTTH.....	55
Figura 54: Muestreo de la zona .....	56

Figura 55: Zona peligrosa.....	57
Figura 56: Personal de seguridad .....	57
Figura 57: Cable alimentador roto.....	58
Figura 58: Tapa de cámara robada.....	58
Figura 59: Empalmes de nueva caja de empalme .....	59
Figura 60: Reposición de tapa y soldado.....	59
Figura 61: Sin potencia en el jumper de la OLT .....	60
Figura 62: Limpieza del <i>transceiver</i> .....	60
Figura 63: Reemplazo de <i>transceiver</i> .....	61
Figura 64: Diagrama de GANTT .....	64

## Introducción

Recientemente, se han producido preferencias en el campo de las telecomunicaciones: la aparición de nuevos operadores móviles, los avances tecnológicos en productos pasivos y activos para la creciente demanda en el internet fijo hacia los hogares.

Por ello, para satisfacer la progresiva demanda de ancho de banda en el servicio de internet fijo, se tiene como mejor opción la fibra óptica como el reemplazo apropiado para las tecnologías HFC y xDSL, se asumen restricciones técnicas como un ancho de banda reducido a medida que se tenga más hogares dentro de la zona cobertura; también, incluye elementos de planta externa que necesitan estar energizados y generan un alto costo en la red por ser elementos activos.

Por lo tanto, es importante diseñar una red óptica pasiva que pueda conectar el hogar para satisfacer las mayores necesidades de ancho de banda que se requiere actualmente. El presente trabajo de suficiencia tiene como objetivo diseñar mejoras para la calidad del servicio de internet de banda ancha fija por medio de una red FTTH que utiliza normas GPON en un asentamiento humano de la ciudad de Lima. Con ello, demostrar que es posible ofrecer un servicio de alta calidad con velocidades superiores de carga y descarga con un menor costo.

En el capítulo 1, Parte introductoria del trabajo, se explican las generalidades del trabajo, la descripción del problema, los objetivos y antecedentes investigativos.

En el capítulo 2, Marcos teórico y conceptual, incluye los aspectos teóricos a tomar en cuenta en el presente trabajo.

En el capítulo 3, Desarrollo del trabajo de investigación, implica las actividades descritas a través de un plan y cronograma de trabajo.

En el capítulo 4, Análisis y discusión de los resultados, se examinan los hallazgos en el desarrollo del presente trabajo de suficiencia profesional.

# Capítulo I. Parte introductoria del trabajo

## 1.1 Generalidades

Se identifica el problema y se brindan los alcances necesarios para una correcta comprensión del problema a resolver.

## 1.2 Descripción del problema de investigación

En estos tiempos, el país se encuentra en la necesidad de acortar la brecha digital para mejorar una de las necesidades como la educación; para ello, se usará el avance en el desarrollo de la infraestructura de telecomunicaciones. Con ello, se pueden tener variadas soluciones de internet fijo, que permitan aumentar el ancho de banda. La empresa de fibra óptica, a medida que va creciendo, va modernizando su infraestructura; por lo que está optando en usar tecnologías de FTTH-GPON, que permitirán una comunicación de mayor disponibilidad y velocidad con satisfacción de los requerimientos de todos los clientes de Perú y reducir en costo en CAPEX y OPEX.

El trabajo de suficiencia consta en diseñar una red de FTTH-GPON para el servicio de internet en un asentamiento humano con métodos de despliegue de la red de distribución y acceso, en paralelo, técnicas de montaje y equipamiento. Cada punto indicado con relación a aquellos tópicos teóricos, tecnológicos y también de campo.

## 1.3 Objetivos del estudio

### 1.3.1 *Objetivo general*

Diseñar las mejoras de la calidad del servicio de internet de banda ancha fija a través del diseño de una red FTTH aplicando el estándar GPON en un asentamiento humano de la ciudad de Lima.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

1. Proponer una solución alternativa de tecnología para la mejora en las tasas de velocidad de transmisión de bajada y subida.
2. Realizar una estimación de costos de productos activos, pasivos, infraestructura e instalación.

### **1.4 Antecedentes investigativos**

García (2021) realizó una tesis con el objetivo de implementar una red FTTH que identifica problema eje de estos tiempos recae en la calidad deficiente dentro del servicio de acceso a internet otorgada a los usuarios, mediante la aplicación de metodología Scrum que permite ejecutar un proyecto considerando cinco etapas, entre éstas: inicio, seguida de planificación y estimación, a su vez, implementación, también revisión y retrospectiva y finalmente el lanzamiento.

En comparación con la red inalámbrica desplegada con anterioridad, la red de fibra óptica ha mejorado el servicio de Internet en Hualahoyo, concluyendo que hay mejores resultados en términos de velocidad y medidas de conectividad.

Balarezo y Huarcaya (2021) realizaron una tesis con el objetivo de precisar cómo una red FTTH mejora la conectividad del servicio de internet; considerando una ruta cuantitativa, además que fue por su tipo aplicada y siguió el diseño preexperimental.

Los análisis estadísticos inferenciales efectuados para cada métrica posibilitaron concluir que los análisis de los resultados anteriores y posteriores a la prueba exhibían cambios significativos con un impacto positivo en la variable dependiente (calidad del servicio).

Mirano (2019) realizó la tesis titulada "Diseño de una red FTTH utilizando el estándar GPON para la Urbanización Las Flores del Distrito de San Juan de Lurigancho", propuso el desarrollo para el operador Claro porque a nivel nacional, San Juan de Lurigancho es el distrito que tiene mayor densidad.

Llegó a la conclusión que avala el desarrollo socioeconómico del distrito, implementación de la red, además del análisis de la rentabilidad del proyecto.

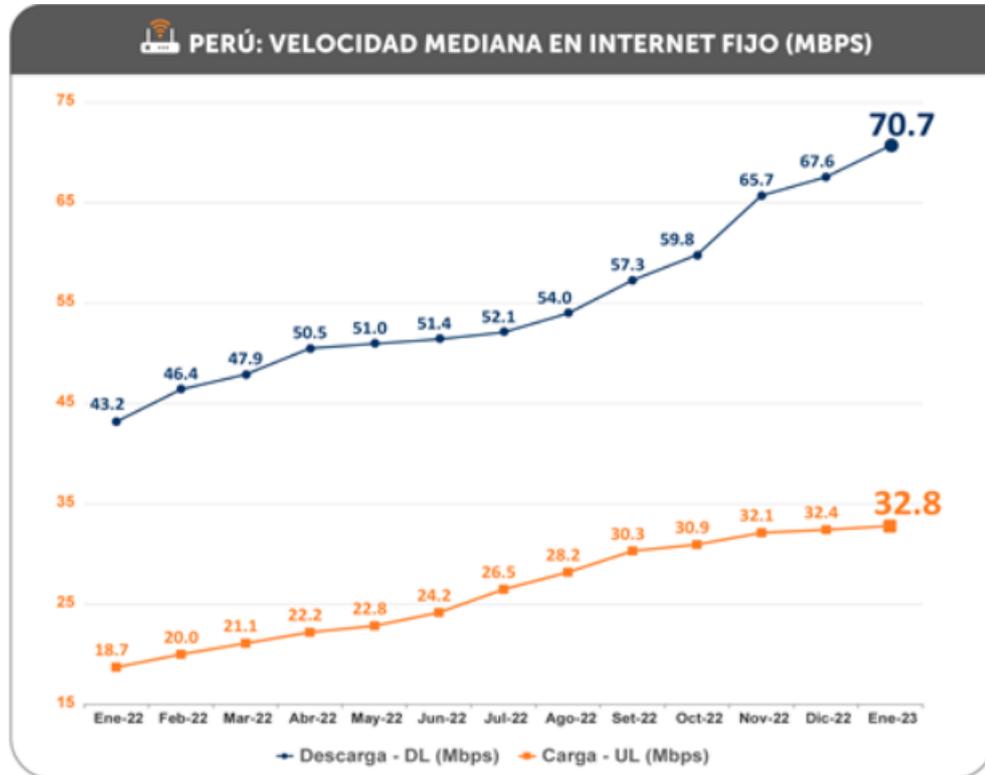
Sabemos que internet se está volviendo cada vez más activo, porque el tipo de actividades que las personas realizan en casa requieren más ancho de banda, más aislamiento y más trabajo. Ha aumentado el trabajo desde casa, las reuniones remotas y las clases virtuales. Según el informe del Organismo Supervisor de la Inversión Privada en Telecomunicaciones (Osiptel), publicado en enero de 2023, Perú registró mejoras significativas en la velocidad de acceso a los servicios regulados de internet.

Según las mediciones solicitadas por Ookla, entidad internacional experta en pruebas, análisis de datos e internet, la media en velocidad (baja) para la descarga es 70,7 Mbps (megabits por segundo), aumento de 3,1 Mbps hasta diciembre 2022. De ahí que continúe la tendencia de mejorar continuamente las velocidades de descarga de internet en el territorio.

Según los hallazgos del 2022 en enero (43,2 Mbps), la velocidad para la descarga mejoró en 27,5 Mbps y, a su vez, según el informe de enero, la velocidad (carga) de internet alcanzó los 32,8 Mbps, lo que supone un aumento de 14,2 Mbps. antes. En el mismo mes del año pasado, se registró en 18,6 Mbps, lo que se aprecia en la figura 1.

**Figura 1**

*Velocidades de internet*



Nota: fuente <https://bit.ly/3WJEBi4>. La imagen nos muestra el incremento de velocidad de internet (Osiptel, 2023).

Con estas mejoras, Perú ascendió al quinto lugar en velocidades de descarga de internet en Sudamérica, por delante de Paraguay con 70,1 Mbps, seguido de Argentina con 53,7 Mbps, Ecuador con 48,0 Mbps, Bolivia con 23,8 Mbps y Venezuela con 16,5 Mbps, sin embargo, se sitúa debajo del promedio regional (79,4 Mbps) en la evaluación de 10 países (Brasil, Chile, Colombia, Uruguay, Paraguay, Ecuador, Argentina, Bolivia, Venezuela y Perú). Estos países representan al menos el 1% del mercado total de usuarios móviles con servicio fijo en América del Sur según Osiptel.

## Capítulo II. Marco teórico y conceptual

### 2.1 Marco teórico

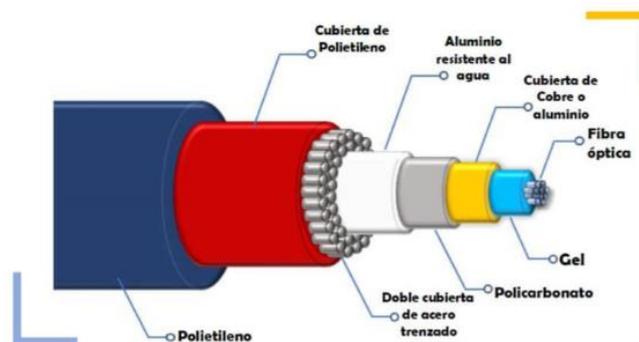
Los siguientes temas explican los conceptos básicos de este estudio con referencia al diseño de redes FTTH basadas en estándares GPON e indican los aspectos relacionados con la fibra óptica y su uso en redes ópticas.

#### 2.1.1 Fibra óptica

Tecnología de cableado de larga o corta distancia para transmitir diversos mensajes por medio de hilos de plástico o vidrio extremadamente finos, que se transmiten mediante fibras ópticas. Estos hilos están envueltos en una cubierta protectora, y el conjunto (fibras y otros componentes de la cubierta) se denomina a veces cable de fibra óptica o escuetamente fibra. Para ello, daremos las especificaciones de la fibra, lo que se aprecia en la figura 2 (Jorges, 2024, p.35).

#### Figura 2

##### *Fibra óptica y su estructura*



Nota: fuente <https://bit.ly/3zZn4tm>. La imagen nos muestra la estructura de la fibra.

### **2.1.2 Esquema básico de un sistema de transmisión por fibra óptica**

Estos cables de fibra óptica son medios vítreos o plásticos que sirven de guía para las ondas de luz moduladas y generadas por el transmisor. Evidentemente, al cable están asociados elementos de unión permanente o removible: empalmes y conectores.

El detector se encarga de convertir la luz modulada en una señal eléctrica equivalente (transductor opto eléctrico), debe ser sensible y con bajo nivel de ruido. Generalmente, consiste en fotodiodos de avalancha (APD) o de unión PIN, que deben estar asociados a otra interfaz para devolver al mensaje sus características originales. De esta manera, el receptor comprende el detector y la interfaz eléctrica.

Dependiendo de las condiciones de distancia o de la información misma a transmitir, se hace necesaria la colocación de elementos como: repetidores, amplificadores, multiplexores, acopladores, entre otros.

Entre las ventajas de la técnica de fibra óptica, son las siguientes:

- Logra una alta velocidad de transmisión gracias al soporte del gran ancho de banda.
- Para los pares de cobre, se produce un acoplamiento magnético entre los conductores, mientras que las fibras ópticas son de plástico o vidrio, que no conducen la electricidad y, por tanto, no se ven afectadas por la diafonía, lo que elimina el problema.
- Inmunidad a interferencias electromagnéticas, los campos electromagnéticos no perturban la luz, que está confinada en la fibra óptica (Ramos, 2019, p.32).

En tanto, dentro de las desventajas de la fibra óptica, figuran estas:

- Los aparatos de interconexión presentan costos elevados y requieren convertidores fotoeléctricos para convertir las señales eléctricas en luz.
- Son menos resistentes a los esfuerzos mecánicos que otros medios de transmisión como los cables coaxiales.

- La reparación y empalme de fibra óptica es más difícil y costosa que los cables de cobre (Ramos, 2019, p.33).

### **2.1.3 Mecanismos de reflexión y refracción**

Ciertos conceptos son necesarios para comprender ciertos fenómenos que ocurren en la transmisión de luz a través de la fibra, que incluyen no solo leyes que rigen el transporte de esta, sino el comportamiento de la fuente encargada de emitir las señales ópticas.

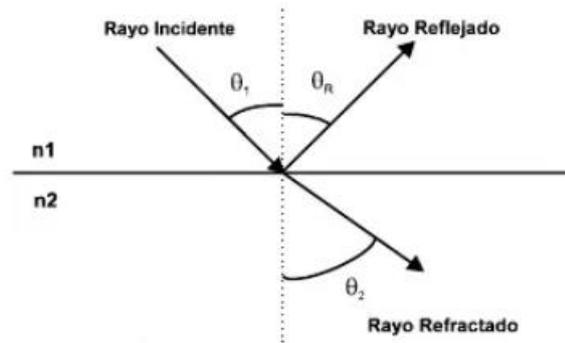
Respecto a esto último, cuando una fuente emite luz, a diferentes frecuencias y fases, se dice que es una emisión espontánea y, en este caso, se produce luz incoherente. Este tipo de emisión es originada a partir del desprendimiento voluntario de energía, una vez que los átomos han absorbido fotones para volver a su estado fundamental.

Al dejar pasar solo una longitud de onda, se produce luz monocromática, la cual sigue siendo incoherente debido a las diferentes fases que presenta cada una de las componentes. Una vez lograda la coincidencia de fases en todos las componentes de una misma frecuencia, se obtiene luz coherente que representa una emisión estimulada. Esta se produce debido a la incidencia de un fotón contra un átomo en estado de excitación (antes de ocurrir la radiación espontánea), lo que ocasiona la generación de otro fotón de la misma longitud de onda y fase, volviendo a su estado neutro.

En cuanto al estudio de la transmisión de señales por fibra óptica, si un rayo de luz se desplaza de un medio a otro con diferentes índices de refracción, ocurre un fenómeno de refracción y reflexión en el plano de separación de los dos medios lo que se aprecia en la Figura 3 (Soto, 2024, p.3).

### Figura 3

Fenómeno de reflexión y refracción



Nota: fuente [https://www.academia.edu/33492935/FIBRA\\_OPTICA\\_FUNDAMENTOS\\_TEORICOS?uc-g-sw=39216881](https://www.academia.edu/33492935/FIBRA_OPTICA_FUNDAMENTOS_TEORICOS?uc-g-sw=39216881) . La imagen nos muestra tanto la reflexión como la refracción

En cuanto al índice de refracción muestra la forma en que se relaciona la velocidad de la luz en el vacío  $c$  y un medio específico ( $v$ ). Por ende, se torna más lenta la propagación de la onda cuando este índice es mayor.

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

La relación del seno del ángulo de incidencia con el ángulo de refracción, según la ley de Snell, es igual al cociente inverso de sus respectivos índices de refracción, es decir,

$$n_1 \cdot \sin \theta_1 = n_2 \cdot \sin \theta_2 \quad \rightarrow \quad \frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

$$\text{donde } \theta_1 < \theta_2 \quad \rightarrow \quad n_1 > n_2$$

El ángulo de refracción se iguala a 90 grados al acrecentar el ángulo de incidencia ( $\theta_1$ ) a un valor conocido como ángulo crítico ( $\theta_c$ ). Como resultado, se genera un fenómeno conocido como reflexión total interna (*total internal reflection*) a partir de este ángulo. En

este fenómeno, la ley de conservación de energía determina que toda energía asociada a una onda refractada se refleja en un ángulo igual al incidente.

Aunque existe, en general, cierta reflexión en todos los ángulos, solo para  $\theta_1 > \theta_c$ , la reflexión es total (Soto, 2024, p.6).

$$\text{Si } \theta_2 = 90 \quad \rightarrow \quad \theta_c = \text{Arcsen}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

#### 2.1.4 Apertura numérica

El ángulo de incidencia de una fibra óptica se determina por su apertura numérica, lo que permite una reflexión total dentro de la fibra y evita pérdidas en la cubierta.

Acorde con la estructura física, el índice del núcleo ( $n_1$ ) es más grande que el índice del revestimiento ( $n_2$ ), pero ligeramente y su límite o ángulo crítico puede expresarse mediante la siguiente ecuación:

$$\sin \alpha_0 = \frac{n_2}{n_1} \quad (4)$$

A partir de esto, se puede deducir que el núcleo conduce todos los rayos luminosos que inciden en un ángulo inferior a  $(90^\circ - \alpha_0)$  en relación con el eje de la fibra.

La ley de refracción regula el ángulo entre el rayo luminoso ( $n_0 = 1$ ) y el eje de la fibra para que se acople al núcleo (Soto, 2024, p.9).

$$\frac{\sin \emptyset}{\sin(90^\circ - \alpha_0)} = \frac{n_1}{n_0} \quad (5)$$

Si consideramos la condición del ángulo límite

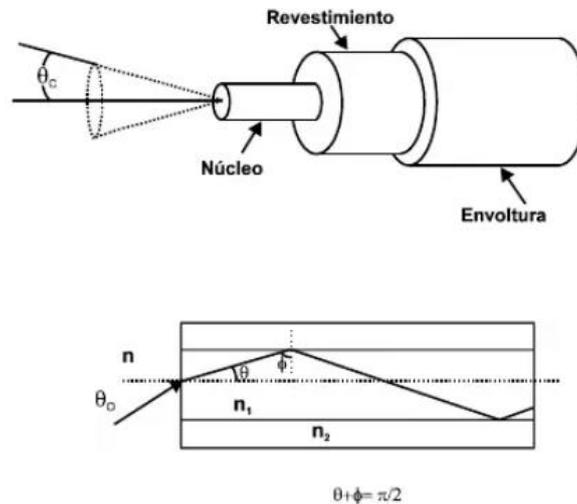
$$\sin \emptyset = n_1 \cdot \cos \alpha_0 = n_1 \cdot (1 - \sin^2 \alpha_0)^{1/2} \quad (6)$$

Se obtiene

$$\sin \emptyset = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (7)$$

## Figura 4

### Apertura numérica en una fibra



Nota: fuente [https://www.academia.edu/33492935/FIBRA\\_OPTICA\\_FUNDAMENTOS\\_TEORICOS?uc-q-sw=39216881](https://www.academia.edu/33492935/FIBRA_OPTICA_FUNDAMENTOS_TEORICOS?uc-q-sw=39216881) . La imagen nos muestra la reflexión y refracción

El ángulo aceptable del conductor de fibra óptica, también conocido como ángulo máximo de acoplamiento ( $\phi_{max}$ ), depende exclusivamente de los índices de refracción  $n_1$  y  $n_2$ . La apertura numérica (NA) del conductor de fibra óptica se encuentra dentro del ángulo de aceptación.

$$NA = \sin \phi_{max} \quad (8)$$

Este valor representa gran relevancia dentro del acoplamiento de la luz hacia los conductores de la fibra. Puesto que  $n_1$  y  $n_2$  son casi similares, es posible aproximar

$$NA = \sqrt{2n_1(n_1 - n_2)} \quad (9)$$

Haciendo  $\frac{n_1 - n_2}{n_1} = \Delta$  obtenemos  $NA = n_1 \sqrt{\Delta}$

Para ello, se llegó a las siguientes observaciones:

- Aunque obtiene más luz, un NA alto reduce el ancho de banda; el cual aumenta con una NA más baja.

- La inyección de luz en una fibra es más fácil con un NA grande, mientras que un NA pequeño proporciona a la fibra un ancho de banda más grande.
- Una NA grande posibilita mayor dispersión modal, lo que permite que la luz viaje en más modos. Un NA más pequeño limita el número de modos y reduce la dispersión (Urbina, 2020, p.11).

### 2.1.5 Generalidades de la fibra óptica

Una fibra óptica consta esencialmente de dos medios dieléctricos cilíndricos medios lo que se aprecia en la figura 3: núcleo ( $n_1$ ) y revestimiento ( $n_2$ ), presentando, el primero, un índice de refracción mayor al del segundo, lo que permite aplicar los conceptos expuestos en la sección 2.1.4. Está fabricada a base de sólidos amorfos en forma de vidrio (uno de ellos es la sílica  $\text{SiO}_2$ ) o de plástico (mayor atenuación).

Como puede verse, los conceptos de la óptica geométrica exponen una idea intuitiva y una visión sencilla de la propagación y acoplamiento de la luz en una fibra óptica. Sin embargo, para conocer con profundidad los mecanismos y fenómenos presentes en la transmisión por fibra óptica, es preciso recurrir a la teoría.

La electromagnética lo considera como una guía de onda para señales con frecuencias alrededor de los  $10^{14} \text{ Hz}$ , relacionando los diferentes rayos generados por una fuente óptica con los diversos modos de propagación en una guía onda.

Por lo tanto, comparándolo con lo descrito en la teoría electromagnética, el número máximo de modos propagados va depender de las dimensiones físicas del núcleo, siendo de gran utilidad un parámetro que describe a la guía, llamado frecuencia normalizada o de corte  $V$ . La cual expresa que por debajo de un cierto valor se atenúan todas las componentes, excepto el modo fundamental  $HE_{11}$ . Viene dada por la siguiente ecuación, en donde  $a$  es el radio del núcleo y  $N$  el número de modos.

$$V = 2. \pi. \frac{a}{\lambda}. NA \quad ; \quad N \cong \frac{V^2}{2} \cdot \left( \frac{\alpha}{\alpha + 2} \right) \quad (12)$$

Para que la fibra de índice escalonado soporte un solo modo ( $HE_{11}$ ), debe cumplirse que  $V < 2,405$ . Esta condición se logra disminuyendo las dimensiones de la fibra y colocando la apertura numérica, aproximadamente, en 0,2. En el caso de fibras con índice gradual (perfil parabólico), la condición que debe cumplirse es:  $V \approx 3,4$ .

A partir de  $V$ , puede definirse otro parámetro denominado longitud de onda límite o de corte ( $\lambda_c$  cutoff), la cual indica que por encima de esta no pueden propagarse modos de orden superior al fundamental.

$$\lambda_c = \frac{2 \cdot \pi \cdot a \cdot NA}{V_c} \quad (13)$$

Esto implica que el comportamiento monomodo o multimodo de una fibra, con dimensiones dadas, depende de la frecuencia de operación. Sin embargo, es importante destacar que, en la práctica, debido a la determinación de ventanas en el espectro, es posible considerar que una fibra sea monomodo o multimodo.

Lo que se aprecia en la figura 4, es la aplicación de los conceptos antes mencionados a través de la clasificación de la fibra óptica en tres grupos.

**a. Fibra multimodo con índice escalonado.** Concierno a aquella donde el índice de refracción del núcleo es superior al valor de revestimiento y permanece constante. Durante la elaboración de fibras ópticas, un núcleo cilíndrico (plástico o vidrio) con índice de refracción conocido  $n_1$  se envuelve en una corteza de plástico o vidrio con índice de refracción  $n_2$ . El término PCS se refiere a una fibra que está compuesta por una corteza de plástico y un núcleo de vidrio. Este tipo de fibras tienen un ancho diámetro de núcleo, una alta atenuación y una banda ancha pequeña, lo que les permite obtener elevados NA. Siendo esta clase de fibra crucial, porque al ser elevado, el NA facilita que los LED se usen como emisores de superficie y conectores baratos.

Los diferentes métodos de propagación o rayos viajan por diferentes rutas y llegan al otro extremo en momentos distintos, lo que resulta en un ensanchamiento de la señal

óptica transmitida. Tanto la apertura numérica como el diámetro, junto con la longitud de onda de la luz, son los factores que definen la cantidad máxima de modos ópticos (trayectorias de la luz) en el núcleo de la fibra. Esto se puede calcular matemáticamente utilizando la siguiente expresión.

$$M = 0.5 \left( \frac{(\text{diámetro del núcleo}) * NA * \Pi}{\lambda} \right)^2 = 0.5 \left( \frac{D * NA * \Pi}{\lambda} \right)^2 \quad (14)$$

Debido a las propiedades de la luz y a la propagación de la potencia óptica mediante una fibra óptica, se crean muchos modos y, por tanto, se producen diferentes tiempos de transmisión, lo que debe considerarse un defecto (Fenómeno Fading).

Cuando la luz del emisor se distribuye de manera uniforme en el cono receptor, la potencia óptica del pulso óptico de entrada se distribuye de manera uniforme en todos los modos. Dado que el tiempo de propagación de cada modo varía con la distancia, el pulso se distorsiona, limitando su ancho de banda. Es lo que se conoce como distorsión multimodo (ruido determinístico cohesionado).

La distorsión indicada líneas anteriores se conoce como distorsión modal. Los tiempos de recorrido más corto y largo son proporcionales a la relación entre los índices de refracción del revestimiento y del núcleo, es decir, 1% (Ortiz, 2024, p.4).

**b. Fibra multimodo con índice gradual.** Con el afán de aminorar el efecto de la dispersión modal, estas fibras constan de un núcleo donde el índice de refracción cambia a lo largo de su eje según la distancia. El núcleo se halla rodeado por un revestimiento de vidrio *cladding* con un índice de refracción más bajo, similar al de una fibra de índice escalón.

Comparada con la fibra de índice escalón, la fibra de índice gradual tiene mejor captación de luz y la banda ancha es mayor. A su vez, tiene estas especificaciones adicionales, tiene bajo NA, un diámetro del núcleo moderado, además de atenuación moderada.

La fibra tiene una estructura especial que dispersa el índice de refracción, lo que aumenta su ancho de banda. A continuación, se muestra el índice de refracción en base al radio del núcleo:

$$n(r)^2 = n_0^2 \left[ 1 - 2\Delta \left( \frac{r}{a} \right)^g \right] \quad (15)$$

Donde:  $n_0$  representando en el centro del núcleo el índice de refracción

$r$  = representando el radio

$g$  = que representa el perfil del índice

$a$  = que representa el máximo valor del radio

$$\Delta = \frac{NA^2}{2n_1^2} = \frac{n_1^2 - n_2^2}{2n_1^2} \approx \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (16)$$

Dado que la velocidad de la luz aminora a medida que acrecienta el índice de refracción, los modos próximos al centro del núcleo tendrán una velocidad de la luz más lenta que los modos próximos al límite de la corteza. El tiempo de propagación para los perfiles parabólicos (cuadráticos) del índice de refracción es casi uniforme para varios modos, lo que reduce la distorsión debido a la propagación multimodo. (Ortiz, 2024, p.6)

**c. Fibra monomodo.** Esta fibra tiene un núcleo de gran ancho de banda, baja atenuación, pequeño NA y un diámetro extremadamente pequeño. La fibra monomodo requiere un núcleo lo adecuadamente pequeño como para limitar la comunicación a un solo modo. Este modo de bajo orden puede transmitirse por toda la fibra por medio del diminuto núcleo.

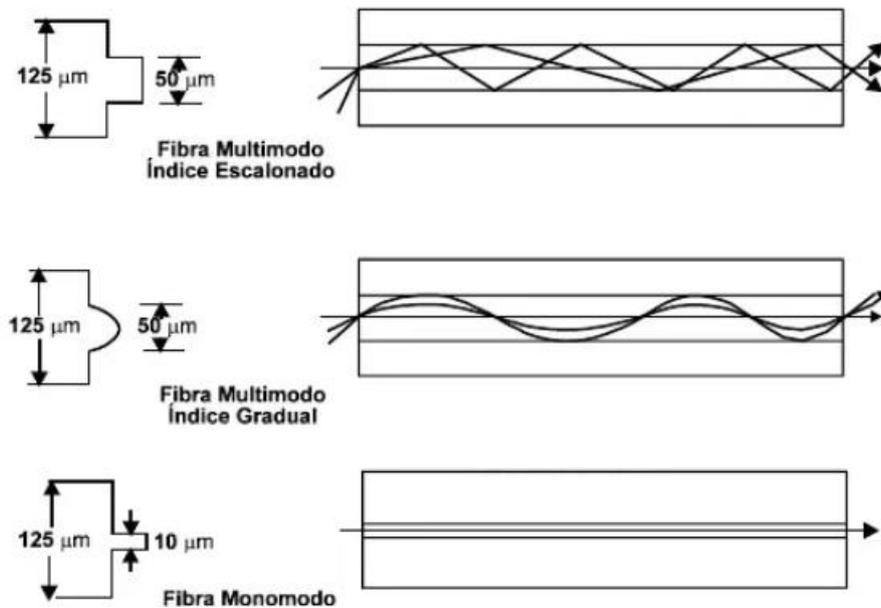
Estas fibras se han adoptado como estándar para las telecomunicaciones porque pueden transportar señales a mayor velocidad y porque la transmisión monomodo evita la dispersión de modos, el ruido de modo y otros efectos comunes a la transmisión multimodo.

El diseño más sencillo consiste en una fibra con un revestimiento único, tal como se exhibe en la parte superior de la imagen. El recubrimiento está hecho de sílica pura y

se le agrega óxido de germanio al núcleo para aumentar su índice, como se evidencia en la figura 5.

**Figura 5**

*Perfil del índice de refracción*



*Nota:* fuente [https://www.academia.edu/33492935/FIBRA\\_OPTICA\\_FUNDAMENTOS\\_TEORICOS?uc-g-sw=39216881](https://www.academia.edu/33492935/FIBRA_OPTICA_FUNDAMENTOS_TEORICOS?uc-g-sw=39216881) . La imagen nos muestra la índice refracción

Esta figura 5, expone que el revestimiento se corta para crear un diseño alternativo. Para este ejemplo, dopado con menos óxido de germanio que en el primer ejemplo, el núcleo se fusiona con sílica. La capa interna del núcleo está dopada de fluor, esto hace que el índice de refracción sea inferior al de la sílica pura. Los 2 diseños utilizan fibras de 1.3 m con un núcleo de 9 m.

En función de la longitud de onda de transmisión se establece el máximo diámetro del núcleo de una fibra monomodo. En este sentido, resolviendo la ecuación, se halla que, para un diámetro de núcleo dado de una fibra monomodo, la luz se transmite en un modo sólo cuando la longitud de la onda sea superior que la longitud de la onda de corte  $\lambda_c$ , que se puede encontrar de la siguiente manera:

$$\lambda_c = \frac{\pi D \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.4} \quad (17)$$

Para longitudes de onda más largas, una fibra de diámetro  $D$  del tipo monomodo empezará a transmitir dos modos en  $\lambda_c$  si la longitud de onda disminuye. El diámetro del núcleo de la fibra, así como la longitud de onda de corte son factores importantes en el diseño de la fibra. Para transmitir sólo un modo en un sistema de comunicación, la longitud de onda de corte debe ser inferior que la longitud que tiene la onda de transmisión. En el ejercicio, las fibras ópticas se fabrican con ángulo de corte inferior a la longitud de onda operativa de la fibra. Caso concreto, una fibra monomodo con una longitud de onda de 1,3 m puede tener un ángulo de corte inferior a 1,25 m.

Para una longitud de onda operativa superior a la onda de corte, una fibra monomodo sigue siendo una fibra monomodo. Por lo tanto, una fibra con una longitud de onda de funcionamiento especificada de 1,3m también es una fibra monomodo a 1,5m. No obstante, la fibra de 1,55 m no es monomodo a 1,3 m, y las fibras de 1,3 m y 1,55 m no son monomodo a 0,85 m.

El segundo modo se produce cuando la longitud de onda se sitúa debajo de la longitud de corte. Posterior a ello, se añaden más modos. Los modos añadidos comenzarán a interferir entre sí y con el modo base, causando graves problemas de rendimiento. Las características de la fibra serán menos predecibles con más modos, pero cualquier pequeña perturbación puede afectar el modo de propagación, como sucede con las fibras multimodos.

Para ello, se dan las especificaciones de la fibra monomodo estándar ITU-T G3652.

**Tabla 1**

Norma ITU-T G.652 Características físicas de las fibras monomodo.

Atributo	Dato	Valor
Diámetro del campo modal	Longitud de Onda: 1310nm	9.2 $\mu$ m
	Longitud de Onda: 1550nm	10.4 $\mu$ m
	Tolerancia a 1310nm	$\pm 0.4 \mu$ m
	Tolerancia a 1550nm	$\pm 0.5 \mu$ m
Coeficiente de PMDQ de fibra no cableada	Máximo	0.1ps/ $\sqrt{km}$
Variación del coeficiente de atenuación en ventana [dB/km]	1.285 nm $\leq \lambda \leq$ 1.310 nm	$\leq 0,035$
	1.310 nm $\leq \lambda \leq$ 1.330 nm	$\leq 0,030$
	1.525 nm $\leq \lambda \leq$ 1.550 nm	$\leq 0,03$
	1.550 nm $\leq \lambda \leq$ 1.575 nm	$\leq 0,03$
Uniformidad de atenuación [dB]	$\lambda = 1.310$ nm	$\leq 0,1$
	$\lambda = 1.550$ nm	$\leq 0,1$

Nota: adaptado de ITU (2009)

**Tabla 2**

Norma ITU-T G.652 Características geométricas de las fibras monomodo

Criterio	Criterio
Diámetro del revestimiento primario[ $\mu$ m]	242 $\pm$ 7,0
Diámetro del revestimiento [ $\mu$ m]	125 $\pm$ 1,0
Rizado de la fibra (radio de curvatura) [m]	$\geq 4,0$
Error de circularidad del revestimiento [%]	$\leq 1,0$
Error de concentricidad revestimiento-recubrimiento[ $\mu$ m]	$\leq 12,0$
Error de concentricidad núcleo-revestimiento[ $\mu$ m]	$\leq 0,6$

Nota: adaptado de ITU (2009)

**Tabla 3**

Norma ITU-T G.652 Características ambientales de las fibras monomodo.

Parámetro	Dato	Valor
Cambio de atenuación por ciclo de temperatura - humedad [dB/km]	Medida a 1.310nm y 1.550nm Temperatura entre -10°C y +85°C Humedad relativa hasta 98%	≤ 0,05
Cambio de atenuación por ciclo de temperatura [dB/km]	Medida a 1.310nm y 1.550nm Entre -60°C y +85°C	≤ 0,05
Cambio de atenuación por envejecimiento por calor [dB/km]	Medida a 1.310nm y 1.550nm 85±2°C	≤ 0,05
Cambio de atenuación por inmersión en agua [dB/km]	Medida a 1.310nm y 1.550nm Inmersión en agua a 23±2°C	≤ 0,05

Nota: Adaptado de ITU. (2009).

**Tabla 4**

Norma ITU-T G.652 Características mecánicas de las fibras monomodo.

Parámetro	Criterio
Fatiga dinámica [ $N_d$ ]	≥ 20
Resistencia mecánica a la tensión [kpsi]	≥ 100 (0,7 GPa) (Alargamiento ≥ 1%)
Fuerza de pelado del recubrimiento [N]	1,3 – 8,9

Nota: adaptado de ITU (2009)

### 2.1.6 Introducción a las redes FTTx

El termino FTTx (*Fiber to the "x"*), en español "fibra hasta la x", se refiere a una amplia variedad de arquitecturas de redes *broadband* en las cuales es empleada la fibra óptica, ya sea para conectar dispositivos intermedios de comunicación, o bien, en alguno de los casos hasta la última milla de conectividad de un usuario final.

La tecnología FTTx, en la que la letra "x" representa el punto final de la fibra, es cual se caracteriza la arquitectura de acuerdo a su aplicación a implementar en fibra óptica, tales como FTTA, FTTB, FTTC y FTTH.

**Tabla 5***Redes FTTx*

<b>Denominación</b>	<b>Alcance</b>	<b>Distancia Métrica</b>
FTTN	Fiber To The Node (fibra hasta el nodo)	De la fibra FTTN hasta la fibra del nodo, desde el centro al edificio existe una distancia de 1,5 a 3 km
FTTC	Fiber To The Curb (fibra hasta la acera)	La fibra al bordillo es de 300 a 600 m.
FTTB	Fiber To The Building or Bussiness (fibra hasta el edificio o negocio)	En la fibra que va desde el centro del edificio hasta el cuarto de telecomunicaciones no se incluye el cable hasta la casa.
FTTH	Fiber To The Home (fibra hasta el hogar)	Fibra FTTH al hogar (fibra al hogar) Fibra PTR del centro a la casa

*Nota:* adaptado de FTTX (2024)

**2.1.7 FTTH: Fibree To The Home o Fibra hasta la casa**

Las redes FTTH son sistemas que se componen, principalmente, de fibra óptica y llegan a los usuarios, lo que se muestra en la figura 6. Gracias al concepto de redes de nueva generación, esta arquitectura se está haciendo realidad en distintas partes del mundo, y ya hay más de ocho millones de domicilios con conexión a la nube.

Los diseñadores de redes tienen que hallar la manera de migrar a las nuevas tecnologías para evitar inversiones en infraestructuras y aprovechar todo el ancho de banda que puede proporcionar la fibra, lo que no es posible con las tecnologías GPON y EPON. Los sistemas FTTH pueden emplear sistemas PON de próxima generación, que pueden ampliar el ancho de banda hasta un ancho prácticamente ilimitado.

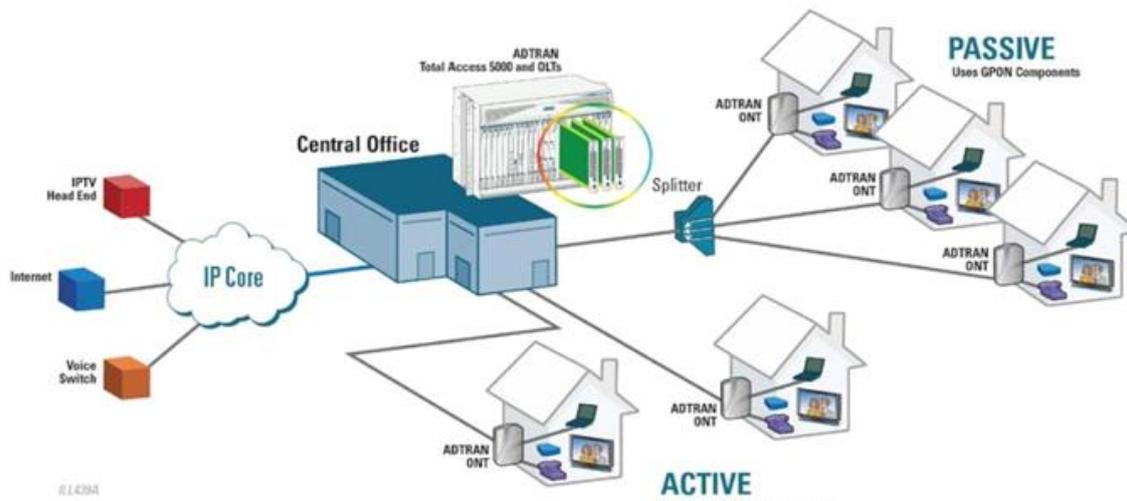
Las redes de próxima generación (ngPON) se están desarrollando y se espera que sigan evolucionando en los próximos cinco a ocho años, por lo que las tecnologías tradicionales de sistemas ópticos pasivos deben utilizarse en la actualidad, y las redes FTTH serán la única solución para las futuras necesidades de servicio.

Con la utilización de sistemas PON, sería posible tener redes FTTH con estas particularidades.

- Alta tasa de división (>64)
- Ancho de banda alto por usuario (>100mbps)
- Alta velocidad (>1Gbps)
- Larga alcance (>20Km)
- Alta capacidad de actualización
- Transmisión bidireccional, velocidades de datos simétricas, acceso de fibra única
- Pasivo
- Protección básica incorporada
- Asignación dinámica de recursos
- Manejo del sistema centralizado

**Figura 6**

*Tecnología de redes de acceso FTTH*



*Nota:* fuente <https://www.blog.adtran.com/en/lets-get-to-the-point-your-ftth-architecture-is-a-strategic-choice> . La imagen nos muestra la tecnología de redes FTTH.

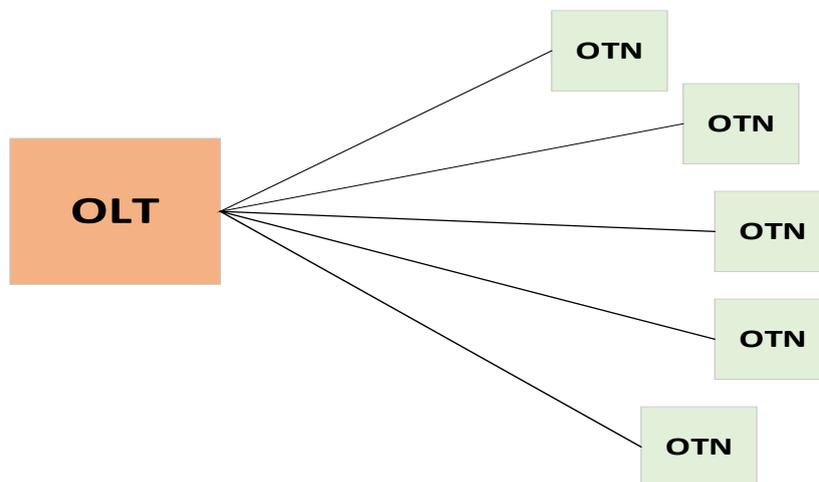
### 2.1.8 Arquitectura de una red FTTH

En las redes FTTH, la fibra óptica es tendida de la red central hasta la roseta óptica en el domicilio del cliente. La FTTH proporciona un mayor ancho de banda de transmisión, pero también la que necesita una inversión mayor, ya que hay que tender cables de la oficina central al abonado. A la hora de desplegar una red FTTH, es fácil distinguir entre las dos topologías principales.

**Punto a punto (P2P, Point to Point).** No constituye una arquitectura básica o característica para desplegar redes FTTH, no obstante, es un elemento importante. Como se evidencia en la Figura 7, esta arquitectura tiene como objetivo diseñar una red que se basa en conexiones dedicadas desde la red central hasta cada abonado, de modo que cada abonado disponga de su propio medio de transmisión y no tenga que compartirlo con otros abonados.

**Figura 7**

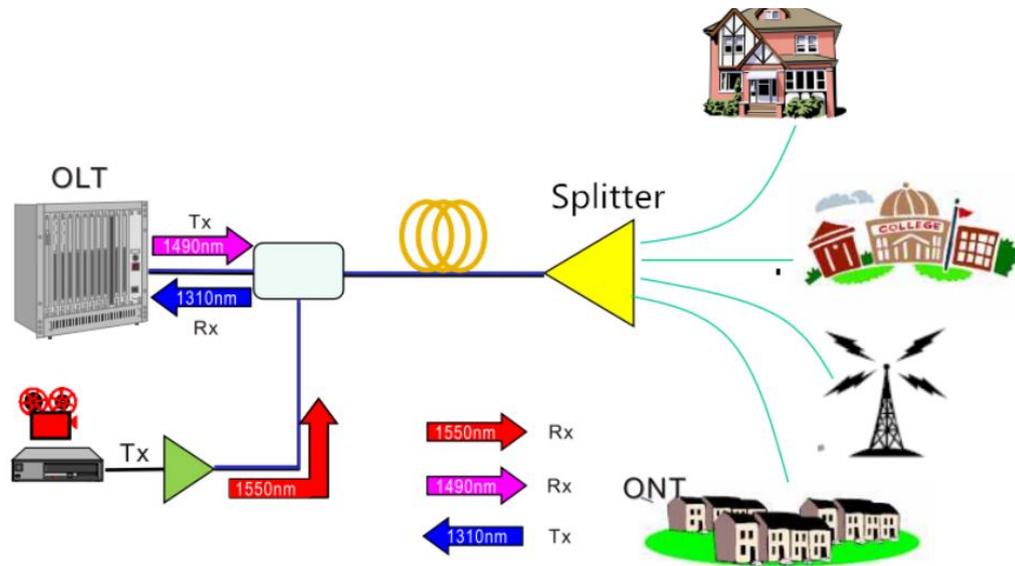
*Punto a punto*



**Punto a multipunto (PON).** La red óptica pasiva es un sistema de acceso económico basado en fibra óptica que ofrece servicios de reproducción triple (datos, voz y video) para clientes comerciales y residenciales. Además, PON puede funcionar en otras topologías que la topología simple que se muestra en la siguiente figura 8.

**Figura 8**

*Punto a multipunto*



Nota: fuente <https://bit.ly/3Swocev> La imagen nos muestra una topología punto a multipunto.

El perfil de distribución del cliente determina los diferentes tipos de topología que se utilizan. Siempre que un ONT se puede conectar a PON de cualquier manera

- el presupuesto óptico se cumple entre ONT y OLT y viceversa,
- la especificación de la distancia diferencial máxima entre varios ONT se cumple,
- la distancia entre ONT y OLT está dentro del rango permitido,
- el número máximo de ONT que puede admitir el sistema PON no está limitado.

## 2.2 Marco conceptual

### 2.2.1 OLT (Optical Line Terminal)

Es un dispositivo de red activo, conocido como terminal de línea óptica, que se encarga de conectar la fibra óptica a los equipos del ISP; sin embargo, su función principal es transmitir señales ópticas. La OLT, que se usará en el trabajo, es de la marca ZTE con código ZXA10 C600, cuenta con 19 slot con 16 puertos GPON con una cantidad máxima de 19456 clientes, tal como es evidente en la figura 9.

**Figura 9**

*OLT dentro de gabinete*



**Tabla 6**

*Características de la OLT ZTE.*

<b>Modelo</b>	<b>Parámetro</b>
<i>Work Humidity</i>	5%-95%
<i>Work Temperature</i>	-40°C ~ +65°C, min. start-up temperature is -25°C
<i>Work current</i>	DC: 60A
<i>Work voltage</i>	DC: -38.4V~-72V ; -48V(+/-20%), -60V(+/-20%)
<i>Dimensions</i>	19" chassis: 486.1 mm*482.6 mm*288.5 mm (H*W*D); 21" chassis: 486.1 mm*535 mm*288.5 mm
<i>Weight</i>	Full configuration 19" chassis: < 52 kg; Full configuration 21" chassis: < 58 kg; 19" empty chassis: 18 kg; 21" empty chassis: 21 kg
UNI	PON: XGS-PON, GPON, XG-PON, XG-PON & GPON Combo PON, GPON Combo PON & XGS-PON, Any-PON; P2P: GE/FE, 10GE
SNI	10GE, 100GE

*Nota:* fuente <https://bit.ly/4d3Xv9j> La tabla muestra las características de una OLT ZTE.

## 2.2.2 SFP C++

Los componentes de los transceptores ópticos ZTE SFP se utilizan para conectar equipos GPON. En la plataforma OLT de ZTE ZX10 C600, se pueden aplicar los SFP mencionados abajo a los puertos ópticos GPON. El conector del jumper es SC/UPC más utilizado para estos modelos, tal como se evidencia en la figura 10.

**Figura 10**

*Transceiver SFP C++*



**Tabla 7**

*Características del transceiver SFP C++.*

<b>Módulo de gestión y control</b>	<b>Configura, controla y administra la tarjeta.</b>
Módulo PON MAC	Implementa todas las funciones en la capa PON definidas en ITU-T G.984.3.
Módulo NP	Implementa el procesamiento de datos en la capa de servicio, incluido el ancho de banda del servicio y el procesamiento de QoS en función de los tipos de servicio y las necesidades del usuario para cumplir con los requisitos del SLA. La función de procesamiento de datos cumple con TR156.
Módulo PON	Proporciona una interfaz óptica GPON que cumple con ITU-T G.984.2.
Módulo de reloj	Procesa el reloj del sistema de acuerdo con ITU-T G.8262, G.8264 y G.781.

*Nota:* fuente <https://bit.ly/4d3Xv9i> La tabla muestra las características del transceiver SFP C++

### 2.2.3 ODF (Optical Distribution Frame)

Dispositivo que cuenta con un panel frontal y posterior, donde se ubican terminales de fibra provenientes de la planta externa, para ser conectados a los equipos de la planta interna. Estaremos usando la marca *Commscope* tiene las siguientes características:

**Tabla 8**

*Dimensiones del ODF.*

Dimensiones	
Height	87" (2200 mm) or CC-frame only: 71" (1800 mm)
Depth	300 mm (12")
Width	35" (IC-frame) or 42" (CC-frame) (900 mm or 1050 mm)

*Nota:* fuente <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/923985-fact-brochure-br-110736-en.pdf>. La tabla muestra las dimensiones del ODF

**Tabla 9**

*Capacidad del ODF*

Capacidad	
SC/LC Connections/Frame	CC-frame: 1344/2688 (2,2m) or 1056/2112 (1,8m) - IC-frame: 1440/2880
Connections/Frame MPO 24 Fiber	CC-frame: 21504 - IC-frame: 23040
Connections/Frame MPO 12 Fiber	CC-frame: 10752 - IC-frame: 11520
Splices/Frame: Splice-Patch chassis	CC-frame: 2688 IC-frame: 2880 IC-frame: 2880
Splices/Frame: Splice Chassis	SPL-frame: 8640 (12f RR fiber) or 4320 (stranded fiber) CC-frame: 56 (2,2m) or 44 (1,8m) IC-frame: 60 SPL-frame: 60
VAM (Value Added Module) Capacity	
NG4 Adapter packs Capacity	Yes (FACT-NG4 chassis only)
NG4 MPO Modules Capacity	
NG4 Cabled Modules Capacity	
Hilos por bandeja	48 hilos
Bandejas por cable alimentador	32
Cables alimentadores	8

*Nota:* fuente <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/923985-fact-brochure-br-110736-en.pdf>. La tabla muestra las capacidades del ODF

**Figura 11**

*Gabinete Commscope*



**Figura 12**

*Bandeja del ODF Commscope*



## 2.2.4 Cable de fibra óptica PKP

El cable de fibra óptica monomodo G.652D, de *Fiberhome*, se emplea para despliegues en exteriores y distancias largas por su bajo pico de agua (*water-peak*) en la gama de longitudes de onda de 1383 nm para longitudes de 1310 nm y 1550 nm, como se evidencia en la figura 13.

**Figura 13**

*Fibra óptica PKP*



Nota: fuente <https://silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-dielectrico-pkp-f256-sxz04290101o/>. La imagen muestra la fibra óptica PKP

**Tabla 10**

*Especificaciones cable óptica PKP.*

Características	Especificaciones
Fibras	256
Fibras por Tubo	16
Tubo (mm)	2.1 ±0.2
Totalidad de Tubos	18 (6+12)
Tubos Activos	16 (dos de relleno)
Elementos tracción	Hilaturas de Aramida
Cubierta interior	Polietileno – Negro
Cubierta exterior	Polietileno de Alta Densidad (PEAD) – Negro
Exterior (mm)	15.9±0.5
Peso (Kg/Km)	162
Máx. Aplastamiento (N/dm)	2000 (IEC 60794-1-21 E3)
Máx. Tracción (N)	1500 (Operación) / 2700 (Instalación)
Radio Curvatura Mín.	15 x $\text{Æ}$ Exterior (Operación) / 20 x $\text{Æ}$ Exterior (Instalación) – (IEC 60794-1-21 E11)
Rango Temperaturas	-40°C a +70°C (Operación) – (IEC 60794-1-22 F1)

Nota: fuente <https://silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-dielectrico-pkp-f256-sxz04290101o/> . (La tabla muestra las especificaciones de la fibra óptica PKP).

### 2.2.5 Caja de empalme

Como la fibra realizará operaciones de división, multiplexación y otras que requieren empalmes y conectores a lo largo del recorrido de la red, es necesario retirar el revestimiento primario y dejar al descubierto el *cladding*, lo que hace que el segmento de fibra descubierto sea vulnerable a tensiones o perturbaciones externas.

**Figura 14**

*Caja de empalme*



**Tabla 11**

*Especificaciones de la caja de empalme.*

Características	Especificaciones
Dimensiones (mm)	290 x 665 x 165
Materiales	Bandejas: Policarbonato + ABS Cuerpo: Policarbonato de alta resistencia
Características	Hasta 512 fusiones de F.O. Protección IK09 impactos (20J) Protección IP68 polvo y agua 16 bandejas de empalme amplias con espacio y pestañas extensibles para hasta 32 fibras ópticas a doble capa 4 accesos de cables independientes con obturadores y engrosadores intercambiables configurables de distintos tamaños Se puede abrir, cerrar y manipular sin interrumpir los circuitos en funcionamiento Tapa con sistema de cierre hermético tipo clip Alta facilidad y sencillez en la organización y almacenaje de fibras Diseñado para durabilidad de 20 años Fácil acceso a módulos de conexión

*Nota:* fuente <https://bit.ly/3Wr2b1O>. La tabla muestra las especificaciones de la caja de empalme

## 2.2.6 Caja de distribución óptica

El *Hub Box* de la marca Huawei con código SSC2802-TM-8 aloja los *splitter* ópticos de segundo nivel 1x2. Tiene 8 puertos preconectorizados con conectores internos SC/APC y es versátil porque se puede instalar en poste, así como se evidencia en la figura 15.

**Figura 15**

Hub Box



*Nota:* fuente SSC2802-TM-8 *Datasheet*. La imagen muestra el *Hub Box*

**Tabla 12***Características del Hub Box*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
Termination capacity	8
Splicing capacity (unit: core)	48
Type of splicing tray	FSM2107-12
Max. tray qty	4
Splicing capacity per tray (unit: core)	12
	1 PCS FP-S01 suitable for $\Phi 6$ mm to $\Phi 18$ mm straight through cable
Optical cable inlet and outlet	2 PCS FP-B01 suitable for $\Phi 5$ mm to $\Phi 12$ mm branching cable 8 PCS hardened adapters
Installation mode	Pole, wall or aerial cable mounting
Application scenario	Overground, underground (manhole / handhole)
Dimensions (H x W x D; unit: mm)	367 x 209 x 127
Dimensions with package (H x W x D; unit: mm)	429 x 239 x 199
Gross weight (unit: kg)	4.4
Net weight (unit: kg)	2.5
Shell materials	PP+GF
Color	Black
Protection rating	IP68
Flame-retardant rating	UL94-HB
RoHS	Compliant
Sealing mode	Mechanical
Adapter type	SC/APC hardened adapter
Storage temperature	-40°C to +70°C
Working temperature	-40°C to +65°C
Working humidity	$\leq 95\%RH$ (+40°C)
Atmospheric pressure	70 kPa to 106 kPa
Adapter insertion loss	$\leq 0.2$ dB

*Nota:* fuente SSC2802-TM-8 *Datasheet*. La imagen muestra el Hub Box

## 2.2.9 Splitter óptico

El dispositivo óptico pasivo, conocido como *splitter* óptico, se encarga de dividir una señal de entrada en N señales de salida. Este trabajo utilizará para el primer nivel el mismo *splitter* óptico 1x2 y para el segundo nivel un *splitter* óptico 1x8. El primer nivel no tiene conectores en ninguno de sus extremos y en el segundo tiene conectores SC/APC en la salida.

**Figura 16**

*Splitter óptico*



Nota: fuente <https://bit.ly/46smIHP/>. La imagen muestra las especificaciones del *splitter* óptico

**Tabla 13**

*Especificaciones del splitter óptico.*

Tipo	1x2	1x8
Longitud de onda (nm)	1260-1650	1260-1650
Pérdida de inserción (dB) Máx. (P/S)	3.8/4.0	10,5/10,7
Uniformidad (dB) Máx. (P/S)	0,6	0,8
PDL Sensibilidad a polarización (dB) Máx (P/S)	0,2	0,3
Pérdida de retorno (dB) MÍN. (P/S)	50/55	50/55
Tipo de fibra	G657A (Otras fibras bajo demanda)	
Longitud de fibra (m)	1 (±0,1) Otras longitudes bajo demanda	
Directividad (dB)	55	55

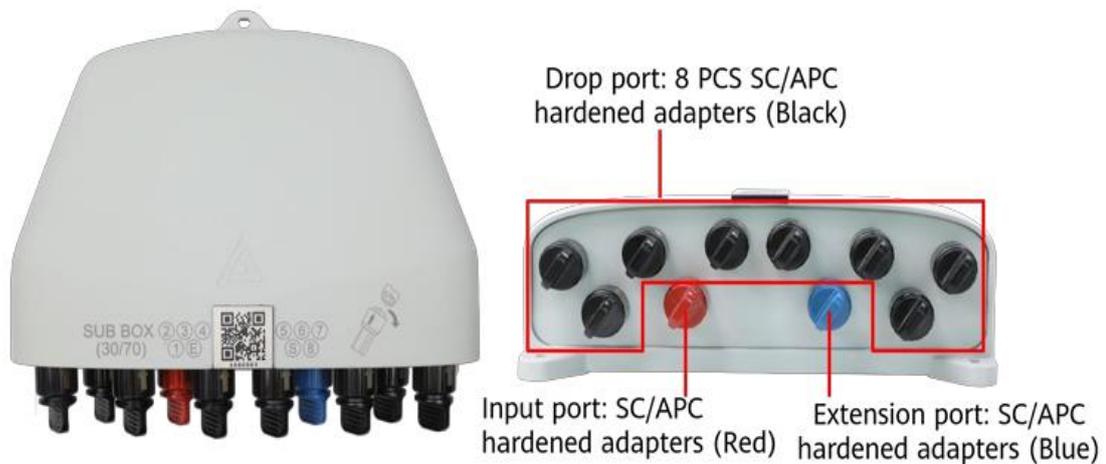
Nota: fuente <https://bit.ly/46smIHP/>. La tabla muestra las especificaciones del *splitter* óptico

### 2.2.8 CTO (Caja de terminación óptica)

Es el componente de la red FTTH que aloja el divisor de la segunda etapa de *splitter*, y es, por tanto, el elemento final en la red de distribución y el punto de partida de la red de dispersión o acometidas. Una vez instalada, sirve para obtener, desde uno de sus puertos de salida, la señal que llegará hasta el domicilio del cliente mediante una acometida óptica preconectorizada.

**Figura 17**

CTO



*Nota:* fuente FAT2810-SS-8-A *Datasheet*. La imagen muestra el *Hub Box*

**Tabla 14***Especificaciones del CTO*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
<i>Distribution capacity</i>	1 (Input) + 8 (Drop)+1 (Extension)
<i>Optical cable outlet</i>	1 PCS SC/APC hardened adapters (blue) 8 PCS SC/APC hardened adapters (black)
<i>Optical cable inlet</i>	1 PCS SC/APC hardened adapter (red)
<i>Splitter capacity</i>	1 PCS 1:9 uneven SPL9105 (30/70)
<i>Dimensions (H x W x D; unit: mm)</i>	184 x 220 x 76
<i>Net weight (unit: kg)</i>	0.7
<i>Application scenario</i>	Overground
Material	PP+GF
Color	RAL7035
<i>Resisting impact</i>	IK09
<i>Protection rating</i>	IP65
<i>Flame-retardant rating</i>	UL94-HB
RoHS	Compliant
<i>Storage temperature</i>	-40°C to +70°C
<i>Operating temperature</i>	-40°C to +65°C
<i>Relative humidity</i>	≤ 95%RH (+40°C)
<i>Atmospheric pressure</i>	70 kPa to 106 kPa

*Nota:* fuente FAT2810-SS-8-A *Datasheet*. La tabla muestra las especificaciones del *Hub Box*

**2.2.9 Drop preconectorizado**

Este cable de conexión óptica G657A1, de un solo modo, cuenta con un conector SC/APC preconectorizado. En la red preconectorizada tiene los extremos que se usan para conectar los CTO – CTO y CTO – DIVICAU, permite un radio de curvatura de 10 mm según la recomendación ITU-T G.657.

**Figura 18**

*Cable acometida*



*Nota:* fuente Dual-ended QuickConnect Distribution Cable Datasheet . La imagen muestra el Hub Box

**Tabla 15**

*Especificaciones del cable acometida.*

<b>Características</b>	<b>Especificaciones</b>
<i>Cable assembly type</i>	Distribution cable
<i>Environment</i>	Outdoor
<i>Application</i>	Aerial
<i>Termination</i>	Dual-ended QuickConnect SC/APC
<i>Working humidity range</i>	0% to 95%
<i>Working temperature range</i>	-40°C to +70°C
<i>Transport temperature range</i>	-40°C to +70°C
<i>Min. installation temperature</i>	-5°C

*Nota:* fuente Dual-ended QuickConnect Distribution Cable Datasheet. La tabla muestra las especificaciones del cable acometida

### **2.2.10 ONT (Optical Network Termination)**

La ONT actúa como interfaz entre el proveedor de servicios de Internet (ISP) y el usuario final. En este dispositivo, los pulsos de luz se convierten en señales eléctricas. Entre sus funciones figuran las siguientes: convertir las señales ópticas en señales eléctricas (Ethernet) y viceversa; demultiplexar las señales en sus partes componentes (voz, TV, Internet); y obtener energía de la red del abonado y suministrarla a los terminales.

**Figura 19**

*ONT*



### **2.2.11 Enrutador central (Router)**

Los routers centrales interconectan las redes de comunicación reenviando paquetes a través de Internet. Deben reenviar los paquetes con eficacia y a gran velocidad, evitando al mismo tiempo los cuellos de botella y la pérdida de paquetes. Los enrutadores centrales tienen puertos de 10Gbps, que se conectan con la OLT, que se usaría como la capacidad para los servicios de internet en la OLT. Dicho equipo puede conectar varias OLT dependiendo de la capacidad que se tiene instalado. Dichos equipos funcionan con energía en DC (48V), con 9040W.

**Figura 20**

*Equipo router*



*Nota: fuente NE40E-X4 Datasheet*

### 2.2.12 Grupo electrógeno

Dentro del local, donde está el enrutador central y la OLT, se tiene un grupo electrógeno con la finalidad de no tener presentar equipos apagados por algún corte de energía que se tenga por la zona. Dicho equipo funciona como un generador eléctrico que hace una combustión interna. Para ello, el operador asegura que dicho equipo siempre tenga combustible para 8 horas de trabajo continuo con una capacidad de 230kw. A la vez, dicha alimentación es automática cuando se presenta un corte de energía y tiene un sistema que avisa cuando ya tiene poco combustible, como se muestra en la figura 21.

#### Figura 21

*Grupo electrógeno*



*Nota:* fuente <https://www.auts-power.com/es/cummins-power-generation-c500d5-generator-set.html>. La imagen muestra el grupo electrógeno

### 2.2.13 Instalación de redes FTTH

Existe una variedad de métodos para instalar una red de fibra óptica, y la elección de un método en particular depende de la complejidad reglamentaria de la zona (aérea o subterránea), el presupuesto disponible, las características de la red y los productos disponibles.

**Instalación aérea.** Se puede realizar la instalación de fibra óptica mediante postes o torres de alta tensión. Concretamente, se trata de la red de postes de comunicación o alumbrado, ya que se trata de diseñar la red urbana. Las instalaciones aéreas son de tipo soportado o autoportado. En caso de que no se utilicen cables cilíndricos no autoportantes, se emplean cables mensajeros (cables trenzados de hilos acerados), que se devana o teje junto con cables de fibra óptica para proporcionar el soporte necesario. Usando el cable PKP en capacidades de 32FO, 64FO, 128FO y 256FO, teniendo como cualidad poder realizar un tendido rápido entre los postes. La ferretería de sujeción del cable se clasifica en suspensión y retención. La ferretería de suspensión se utiliza en líneas rectas, desvíos inferiores a 20° y vanos o *span* (distancia entre postes) superiores a 200 m, mientras que la ferretería de retención es empleada para desvíos mayores a 20° y vanos o *span* mayores a 200 m.

## Figura 22

*Tendido aéreo*



**Instalación subterránea.** La infraestructura, que consiste en ductos y cámaras de concreto, es crucial para este tipo de instalación, porque los cables de fibra óptica serán colocados y fijados allí. Siempre debe haber una persona presente en cada cámara de paso para trazar el cable de forma longitudinal y guiarlo en tramos largos a la entrada del tramo de ducto siguiente. De este modo se evitan excesivas tensiones que podrían dañar las fibras del cable, así que el procedimiento de tendido debe realizarse por etapas. Cuando se realiza este procedimiento en los puntos intermedios del tendido, tiene que considerarse que el cable excesivo en la bobina o el carrete debe retirarse, lo que se representa como una figura en ocho. Los cables no deben permanecer tensionados en las cámaras de concreto y los ductos. Si no hay empalmes, deben colocarse en las zonas laterales de las cámaras de paso y fijarse con abrazaderas plásticas. Si no hay infraestructura existente, se pueden crear microzanjas con ancho de 2,5 a 6 cm y una profundidad máxima de 30 cm. Este tipo de corte solo se aplica a las redes de telecomunicaciones basadas en fibra óptica.

Este tipo de instalación tiene ventajas, ya que al llevar a cabo los cortes no dificulta el tráfico de vehículos, no cierra los carriles de las vías de transporte y si se utiliza en áreas urbanas su impacto ambiental resulta menor. En esta clase de instalación, se utilizan microcables de fibra óptica que tienen alrededor de 6 a 11 mm de diámetro externo. El microcable se conecta al microducto y utiliza una técnica de soplado de aire comprimido que se produce gracias a una compresora de aire de flujo continuo. Esta técnica permite despliegues de cable mucho más rápidos y reduce el riesgo de rotura del microcable.

**Figura 23**

*Tendido que se realizara dentro del ducto*



**Figura 24**

*Tapa de la cámara*



## Capítulo III. Desarrollo del trabajo de investigación

### 3.1 Esquema general de una red FTTH

En la planificación de una red FTTH, se tiene un esquema general.

**Figura 25**

*Esquema de servicio general red FTTH*

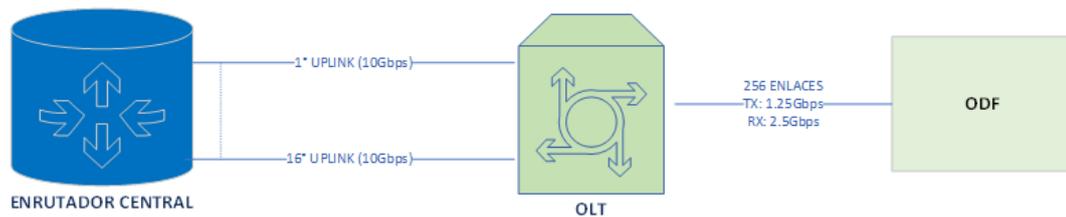


#### 3.1.1 Planta interna

Dentro de la planta interna, están los elementos de equipos del operador, OLT y ODF con la finalidad de transmitir la información a altas velocidades a través de la fibra óptica por el servicio de internet. En dicho espacio, donde se encuentran los equipos, se debe tener un espacio para poder instalar los diferentes gabinetes, también tener conectado los equipos de grupo electrógeno.

**Figura 26**

*Esquema de la OLT dentro de una sala*



#### 3.1.2 Planta externa

Aquí están los medios que enlazan a planta interna con los usuarios, dado que tiene elementos como cables, cajas de empalme, tendidos, Hub Box y CTO. La planta externa está dentro de postes, cámaras, ductos y cables acometidas entre el Hub Box con los CTO.

### 3.1.3 Usuario

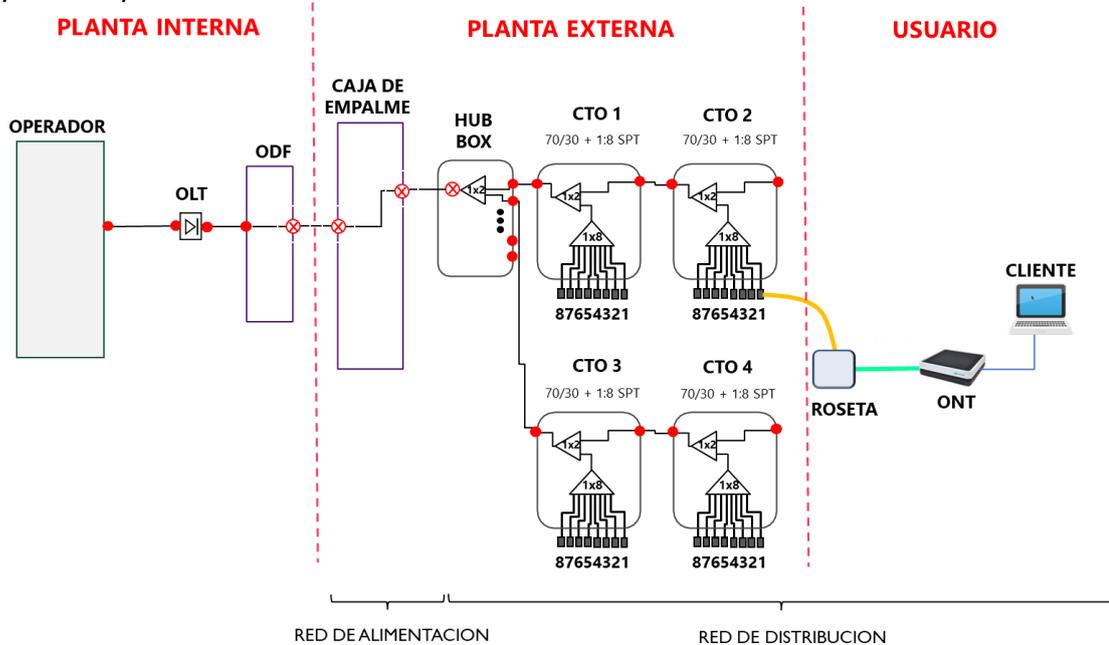
Es el cliente final que tiene altas velocidades por el servicio de internet a través de su modem (ONT), que le ayuda a poder multiplexar la señal que proviene de la OLT.

## 3.2 Esquema específico de una red FTTH

Entrando en más detalle se tiene el siguiente esquema específico de una red FTTH de una red desbalanceada con 4 CTO:

Figura 27

Esquema específico de una Red FTTH



Se explicará detalladamente el diagrama específico de una red FTTH.

1. La red FTTH inicia en la Central, donde se encuentra un equipo router perteneciente al operador, que está conectado a la OLT por medio de jumper LC/UPC en distancias aproximadas de 20 metros con unos transceiver de 10G, que nos ayudan con la conexión. Lo normal es que el router no esté en la misma sala que la OLT, debido que en la central del operador se tiene más equipos. Para ello, los jumpers van cableados dentro de canaletas por diferentes salas con la idea que no se doblen o estiren pudiendo generar atenuaciones internas que afecten con el servicio.

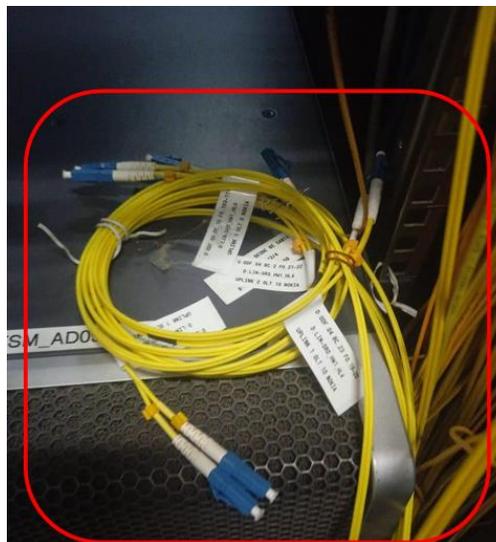
**Figura 28**

*Equipo Router*



**Figura 29**

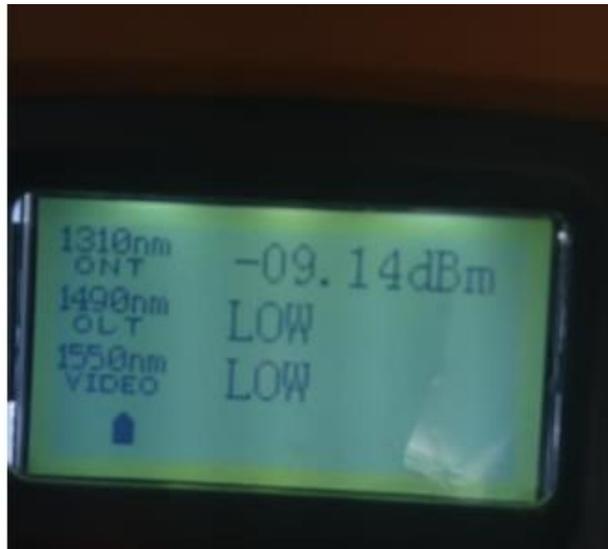
*Los jumpers LC/UPC – LC/UPC que se conectan*



2. Los valores de potencia que proviene del jumper desde el Router hacia la interfaz Uplink de la OLT debe estar entre los valores de [-11dBm, -8dBm]. Dicho equipo Router se conecta con la OLT con jumper LC/UPC – LC/UPC como se ve en la figura 28.

**Figura 30**

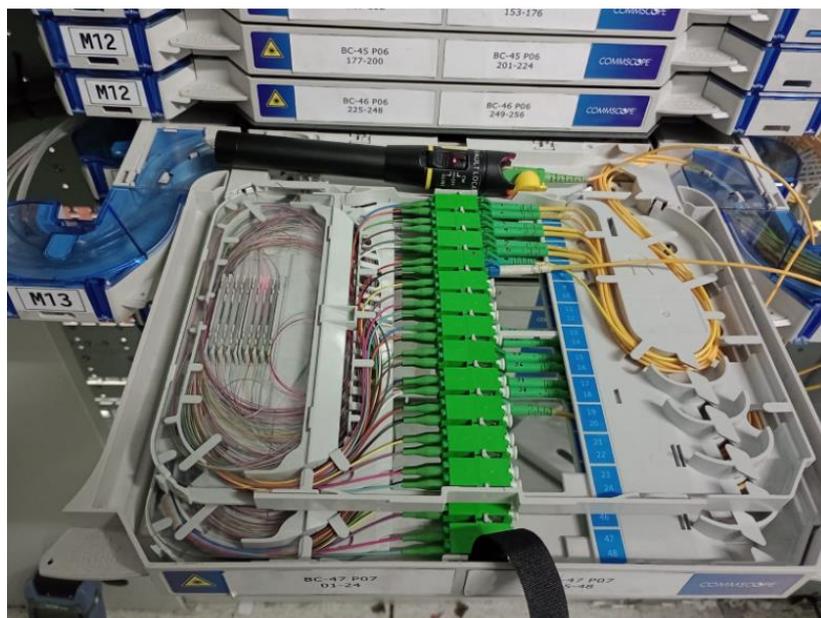
*Potencia de salida del router hacia la OLT*



3. La OLT tiene 16 tarjetas con 16 puertos de servicio que cada uno lleva un jumper hacia el ODF, tiene en cuenta que bandeja tiene 48 hilos y para toda la OLT se necesita 8 bandejas.

**Figura 31**

*Bandeja del ODF donde se conectan los jumpers hacia la OLT*



4. Los *jumpers* de la OLT tienen un rango de potencia de [3dBm, 5dBm], teniendo una terminación de LC/APC – SC/UPC.

**Figura 32**

*Jumper LC/APC – SC/UPC*



**Figura 33**

*Potencia del jumper de la OLT*



5. El ODF está conectado cable alimentadores que ingresan al ODF por la parte posterior. El ODF que se está usando es el *Commscope* y se puede ingresar hasta 8 cables alimentadores de 256 fibras.

**Figura 34**

*Cables alimentadores que ingresan al ODF*



6. Los cableados alimentadores que ingresan son de 256 fibras. Dichos cables van por parte subterránea entre cámaras que llegan al punto donde va a ingresar hasta la caja de empalme.

**Figura 35**

*Cámara aperturada*



**Figura 36**

*Cableado que ingresará entre las cámaras por ductos.*



**Figura 37**

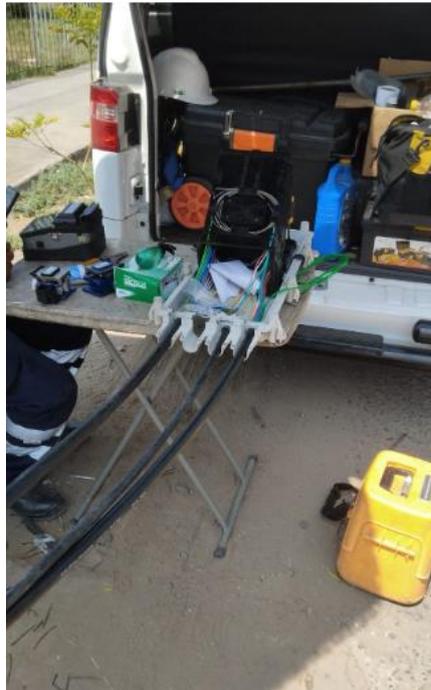
*Caja de empalme dentro de la cámara*



7. Los cableados ingresan a la caja de empalme de 256 fibras, que se fusionan con cables de 32 fibras para el ingreso de máximo 8 *Hub Box*.

### **Figura 38**

*Caja de empalme*



8. Los cableados de 32 fibras que salen de la caja de empalme hacia los *Hub Box*, van por un tendido aéreo dado que los *Hub Box* están en postes.

### **Figura 39**

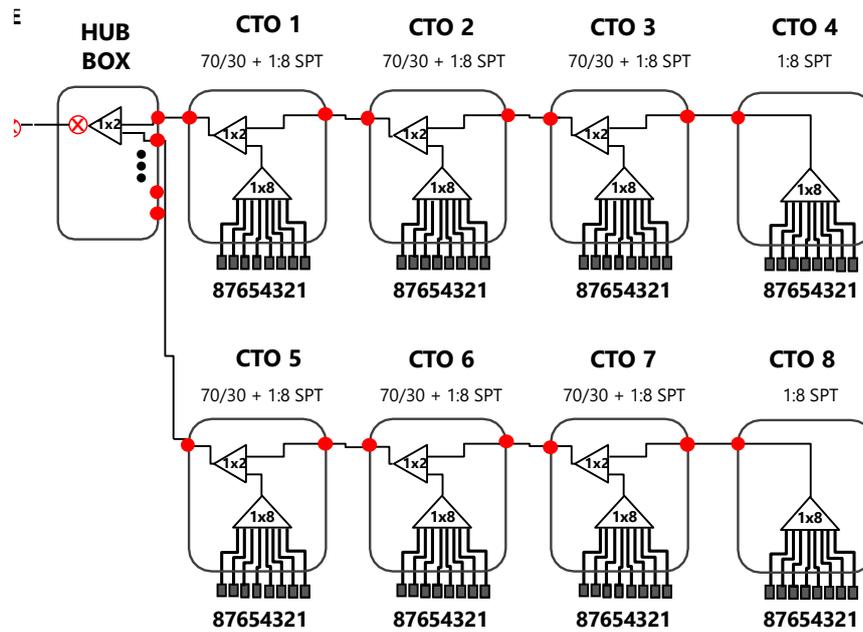
*Cableado aéreo desde la caja de empalme hasta Hub Box*



9. En el Hub Box ingresa un cable de 32 fibras proveniente de la central que lo fusionan y se empalma con 4 bandejas que tiene splitter 1x2, teniendo una salida de 8 acometidas SC/UPC para las conexiones con los CTOs. Cada Divisor se representa con un splitter 1x2 para 8 CTOs como máximo.

**Figura 40**

*Esquema preconectorizado del Hub Box- CTO*



**Figura 41**

*Hub Box*



**Figura 42**

*Conectores del Hub Box hacia los CTO*



**Figura 43**

*Splitter 1x2 del Hub Box*



#### Figura 44

*Potencia de salida del Hub Box hacia el CTO*



10. En el CTO tiene un *splitter* 1x2 proveniente del Hub Box y en cadena de otro CTO. Máximo se puede tener una cadena de 3 CTO por la atenuación que se pueda dar en cada ramal. En las siguientes imágenes se mostrarán las potencias de ingreso y salida a los clientes.

#### Figura 45

*Potencia de ingreso del CTO 1 proveniente del Hub Box.*



**Figura 46**

*Potencia de salida del CTO 1 hacia el cliente.*



**Figura 47**

*Potencia de ingreso del CTO 2 proveniente del CTO 1.*



**Figura 48**

*Potencia de salida del CTO 2 al cliente.*



**Figura 49**

*Potencia de ingreso del CTO 3 proveniente del CTO 2.*



**Figura 50**

Potencia de salida del CTO 3 al cliente.



**Figura 51**

Equipos que se instalan al cliente



**Figura 52**

*Tabla de potencias de los CTO*

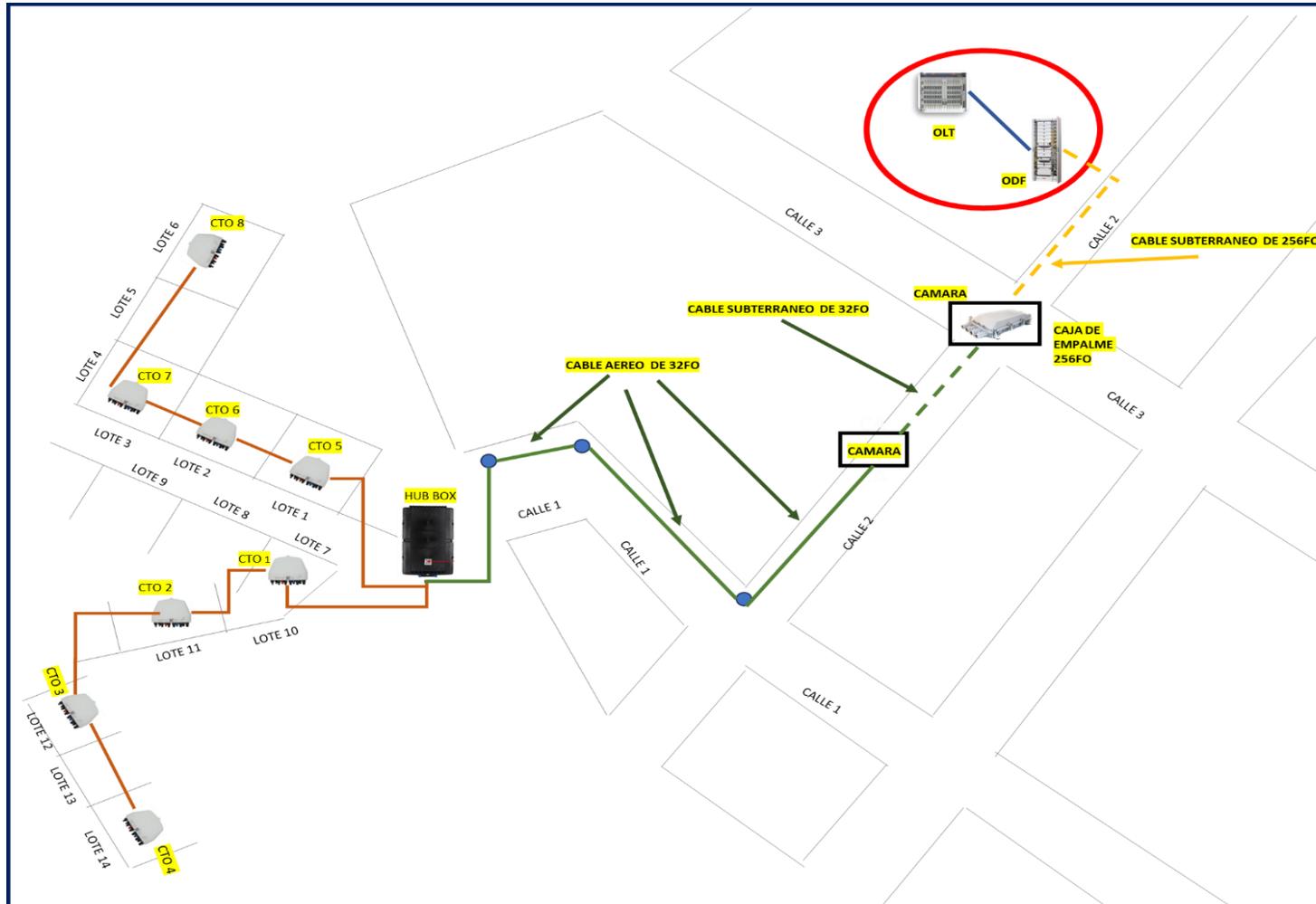
ELEMENTO	DESCRIPCION	Niveles Mínimos			Niveles Máximos		
		Señal (dBm)	Cantidad	Total	Señal (dBm)	Cantidad	Total
<b>CTO1</b>							
70/30	Splitter salida desbalanceada	2.20	0	0.00	2.05	0	0.00
	Splitter Salida Cliente	16.30	1	16.30	16.15	1	16.15
							0.00
FIBRA OPTICA (Km)	Alimentación	0.24	7	1.74	0.24	1	0.24
CABLE DISTRIBUCIÓN	Cable + conectores	0.41	1	0.41	0.26	1.00	0.26
							0.00
SALIDA (dBm)				-18.66			-14.41
				-19.00			-14.00
<b>CTO2</b>							
70/30	Cascada Desbalanceada ( CTO1)	2.20	1	2.20	2.05	1	2.05
	Splitter Salida Cliente	16.30	1	16.30	16.15	1	16.15
FIBRA OPTICA	Alimentación	0.24	7.50	1.80	0.24	1.25	0.30
	Distribución	0.41	2	0.82	0.26	2	0.52
SALIDA (dBm)				-21.33			-16.78
				-21.50			-16.50
<b>CTO3</b>							
70/30	Cascada Desbalanceada ( CTO1 + CTO2)	2.20	2	4.40	2.05	2	4.10
	Splitter Salida Cliente	16.30	1	16.30	16.15	1	16.15
	Alimentación	0.24	7.75	1.86	0.24	1.50	0.36
	Distribución	0.41	3	1.23	0.26	3	0.78
SALIDA (dBm)				-24.00			-19.15
				-24.00			-19.00
<b>CTO 4</b>							
Terminal	Cascada Desbalanceada ( CTO1 + CTO2+CTO3)	2.20	3	6.60	2.05	3	6.15
	Splitter Salida Cliente	10.50	1	10.50	10.35	1	10.35
	Alimentación	0.24	8	1.92	0.24	2.00	0.48
	Cable Distribución	0.41	4	1.64	0.26	4	1.04
SALIDA (dBm)				-20.87			-15.78
				-21.00			-15.50

11. El cliente se conecta por un modem a través de una roseta hacia la acometida que sale del CTO donde puede tener una pérdida de 2dBm y 6 dBm como máximo.

### 3.3 Plano de una red FTTH en un asentamiento humano

Figura 53

Plano de una red FTTH



Se comentará los problemas que se tuvo en la instalación de la red FTTH en un asentamiento humano.

1. Como primer paso para la instalación de una red ftth identificar el asentamiento humano si tiene postes de telefonía para que se pueda instalar el cableado, luego de ello es sacar un permiso con la municipalidad del asentamiento humano con la finalidad de poder el cableado con la distancia adecuada y no pase por postes de luz de baja tensión.

#### **Figura 54**

*Muestreo de la zona*



2. Durante la instalación se tuvo problemas de seguridad cuando el personal estaba instalando los CTOs debido que sufrió un robo de sus equipos.

### Figura 55

*Zona peligrosa*



3. La solución que se tuvo que poner personal de resguardo para que empiece los trabajos desde las 07:00hrs hasta las 18:00hrs y se pueda recuperar los días que se tuvo parado por los problemas de seguridad.

### Figura 56

*Personal de seguridad*



4. Una de las ventajas de la instalación con una red preconectorizada es que los cables entre CTO y *Hub Box* son acometidas SC/APC de metrajes de 50m, 100m y 200m,

que nos ayudan a poder instalar más rápido dado que no se necesita empalmar entre los CTO solo conectarlos.

5. Luego de haber instalado las acometidas de los CTO al *Hub Box*, se procedió a instalar el cable de 32 fibras por postes hacia un sifón donde pasa por un canalizado.

6. Un problema que se tuvo es que personas de mal vivir han roto los cables dentro de la cámara pensando que es cobre y también se robaron la tapa de la cámara.

### **Figura 57**

*Cable alimentador roto*



### **Figura 58**

*Tapa de cámara robada*



7. Para ello luego de instalar la caja de 256 fibras se repuso la tapa a la cámara y se selló la cámara para evitar accidentes y corte de los cables por robo de cobre.

**Figura 59**

*Empalmes de nueva caja de empalme*



**Figura 60**

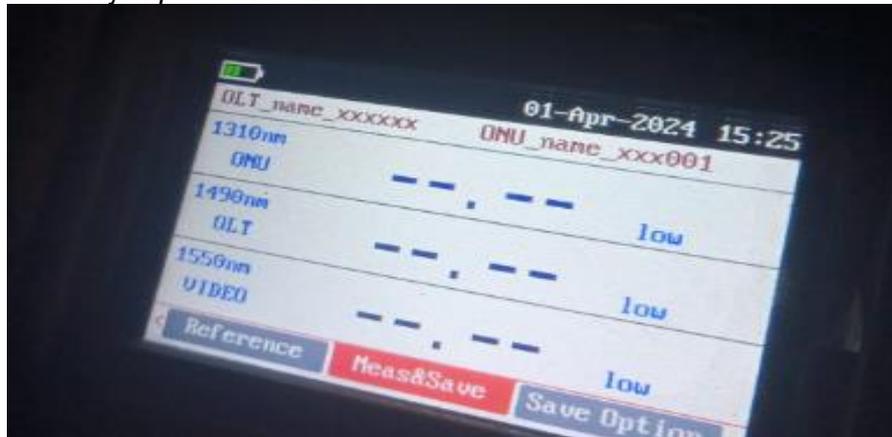
*Reposición de tapa y soldado*



8. Se tuvo un problema al momento de instalar los jumpers desde la OLT hacia el ODF, dado que vino defectuoso y se tenía una potencia muy baja.

**Figura 61**

*Sin potencia en el jumper de la OLT*



9. Para ello, se procedió a realizar la limpieza en el *transceiver* donde se verificó que estaba dañado el *transceiver* y por eso se tenía una potencia atenuada.

**Figura 62**

*Limpieza del transceiver*



**Figura 63**

*Reemplazo de transceiver*



## Capítulo IV. Análisis y discusión de resultados

### 4.1 Estimación de costos

Luego de revisar técnicamente, se estima el costo del diseño en los materiales, equipos y la mano de obra que se necesitara para realizar el trabajo de instalar una red fttth en un asentamiento humano.

#### 4.1.1 Estimación de costo de materiales y equipos

Se muestra el costo de los materiales y equipos activos en el diseño de una red FTTH en asentamiento humano.

**Tabla 16**

*Costes de los materiales de instalación.*

Descripción	Marca	Cantidad	Unidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
OLT ZXA10 C600	Zte	1	Unidad	4950	4950
SFP GPON-OLT- Class C ++	Zte	16	Unidad	40	640
ROUTER NE40-X	Huawei	1	Unidad	240	240
Patch cord simplex SM G.657.A2, 9/125um, SC/UPC - LC/APC, 1.6mm, LSZH, amarillo, de 12 metros	Furukawa	16	Unidad	3	48
Patch cord simplex SM G.657.A2, 9/125um, SC/UPC - SC/UPC, 1.6mm, LSZH, amarillo, de 12 metros	Furukawa	4	Unidad	3	12
REPARTIDOR OPTICO ALTA DENSIDAD	Commscope	1	Unidad	2300	2300
CABLE F.OPT. MONOMODO PKP 256 FIBRAS	Fiberhome	600	Metros	1.762	1057.2
CABLE F.OPT.MONOMODO PKP 32 FIBRAS	Fiberhome	800	Metros	0.618	494.4
CAJA EMPALME 256 FIBRAS OPTICAS	Electroson	1	Unidad	107.284	107.284
HUB BOX 08 SALIDAS PRECONECTORIZADAS	Huawei	1	Unidad	48.996	48.996
CTO DESBALANCEADO 70/30 08 SALIDAS OUTDOOR	Huawei	6	Unidad	29.244	175.464
CTO TERMINAL 08 SALIDAS OUTDOOR	Huawei	2	Unidad	23.018	46.036
DIVISOR PRECONECTORIZADO 1:2	Huawei	8	Unidad	3.576	28.608
CABLE DISTRIBUCION 50M OUTDOOR	Huawei	4	Unidad	20.816	83.264
CABLE DISTRIBUCION 100M OUTDOOR	Huawei	3	Unidad	27.834	83.502
CABLE DISTRIBUCION 200M OUTDOOR	Huawei	2	Unidad	43.13	86.26
MODEM GPON	Huawei	64	Unidad	6.4	409.6

#### 4.1.2 Estimación de costos por mano de obra

Se muestra el costo de las actividades por realizar el trabajo en el diseño de una red FTTH en asentamiento humano.

**Tabla 17**

*Costos de la mano de obra.*

Descripción	Unidad	Cantidad	Baremo	Actividad	Precio total (\$)
Realizar el solado y desoldado de tapas de C.R. y/o arquetas	Unidad	1	1.68	23.55	7.9128
Unidad para material de obras civiles	Unidad	6.52	1	23.55	30.7092
Instalar guía por cualquier tipo de conducto	Metros	600	0.03	23.57	84.852
Instalar cable de fibras ópticas en ducto o central telefónica	Metros	600	0.08	23.57	226.272
Empalmar F.O.	Unidad	550	0.95	32.96	3444.32
Instalar caja de empalme fibra óptica	Unidad	1	2.11	32.96	13.90912
Manipular caja de empalme c/s fibras en servicio	Unidad	1	1.61	32.96	10.61312
Preparar extremo(s) cable de F.O. sin sangrado	Unidad	2	2.5	32.96	32.96
Preparar tubo(s) cable de F.O. sin sangrado	Unidad	2	0.15	32.96	1.9776
Medida retroesparcimiento en una F. O. de abonado	Unidad	260	0.3	32.96	514.176
Suplemento por el servicio de resguardo y/o seguridad	Unidad	20	1	23.57	94.28
Unidad para material de ferretería	Unidad	14.71	1	23.57	69.34294
Instalar cable de fibra óptica aéreo	Metros	800	0.08	23.57	301.696
Instalar caja distribución FO en poste o fachada - NAP	Unidad	10	1.5	32.96	98.88
Medida de potencia óptica	Unidad	82.06	0.9	32.96	486.845568
Instalar la OLT	Unidad	1	4.8	23.55	22.608
Instalar jumpers entre la OLT al ODF	Unidad	20	0.08	23.57	7.5424
Instalar el ODF	Unidad	1	4.8	23.55	22.608

Se tiene el siguiente monto total del proyecto:

**Tabla 18**

Costo total del proyecto

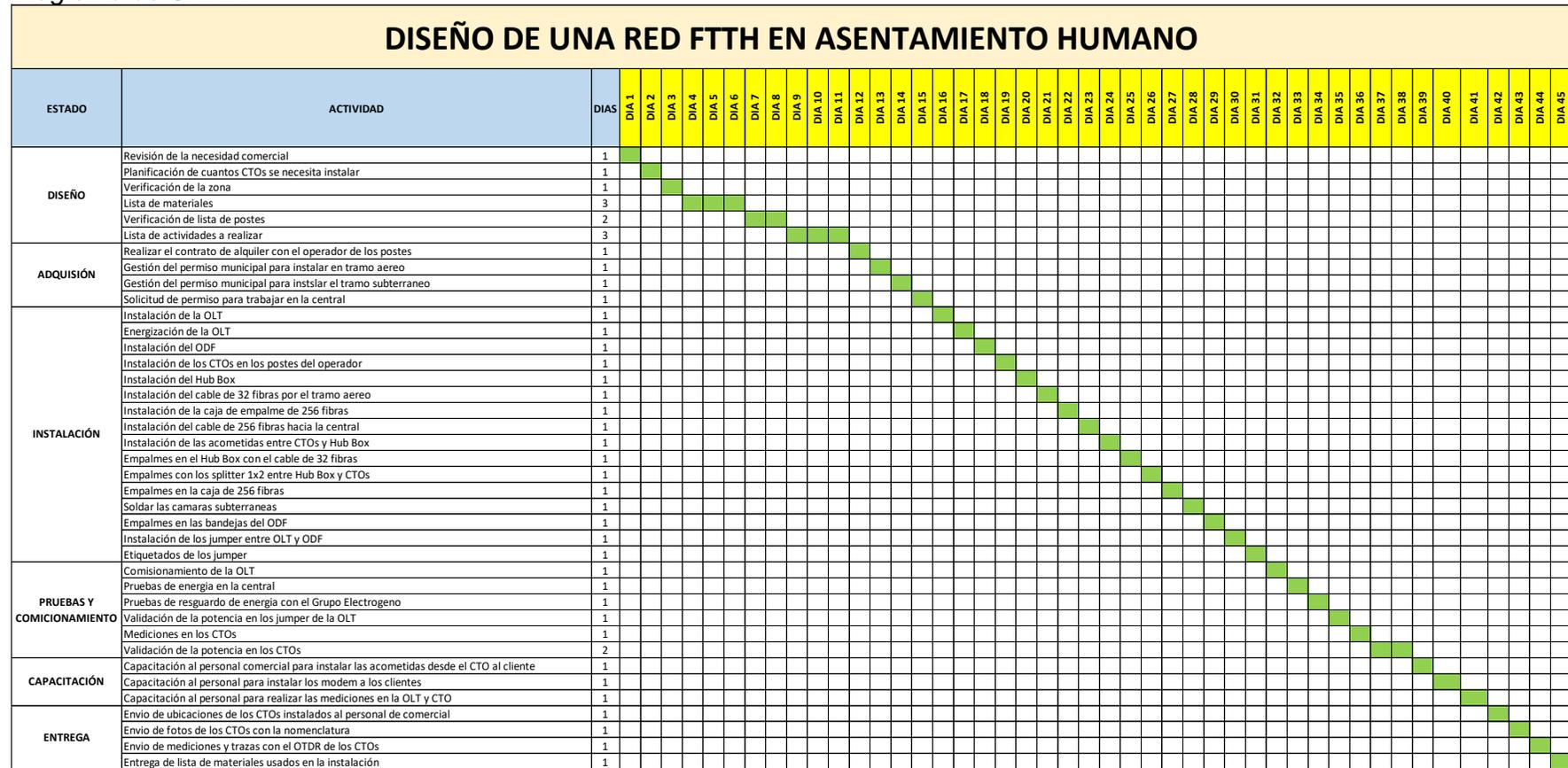
Descripción	Monto (\$)	IGV	Monto final (\$)
Materiales	10401.014	0.18	12273.19652
Mano de obra	5471.50475	0.18	6456.375603
Final			18729.57212

## 4.2 Diagrama de Gantt

Se muestra las fechas de las actividades que se realizaran:

Figura 64

Diagrama de GANTT



### **4.3 Coordinación entre áreas de trabajo**

Dentro de una empresa, se tiene las siguientes coordinaciones entre áreas internas para poder desarrollar el trabajo:

1. La primera coordinación es con el área comercial, dado que recibe la necesidad del operador donde instalar la red FTTH para llevar el servicio de internet.
2. Se coordina con el área de planificación para verificar la factibilidad de los materiales y las actividades de la mano de obra.
3. Se coordina con el área de obras civiles para realizar la factibilidad de usar los postes y realizar los permisos con la municipalidad para los trabajos en parte aérea y subterránea.
4. Se coordina con el área de logística para comprar los materiales y equipos que se necesita en planta externa e interna.
5. Se coordina con el área de ingeniería para realizar la instalación en planta externa e interna.
6. Se coordina con el área de calidad para verificar que las pruebas y entregables están dentro del rango permitido.
7. Se entrega las pruebas y datos técnicos al área de mantenimiento para que realicen las compras de los repuestos respectivos.
8. Se entrega los datos de lo construido al área comercial para que indique al operador que ya tiene todo listo para entrar en producción.

## Conclusiones

- Las redes de FTTH reducen la brecha digital, especialmente, en los lugares más alejados como asentamientos humanos donde la población no tiene acceso a un servicio de internet de alta velocidad.
- La red FTTH con estándar GPON en una topología de red preconectorizada acorta los tiempos de instalación y permite tener un mayor alcance de cobertura en los hogares de la población.
- La red FTTH con estándar GPON reduce los costos de instalación y los tiempos de recuperación de fallas, dado que solo se reemplazaría las acometidas entre CTO.

## **Recomendaciones**

1. Se debe revisar el espacio que se tiene dentro de la central del operador donde tenga disponibilidad para poner un gabinete con la OLT cercana al ODF, también verificar tener dos fuentes de energía en la OLT y estar conectados a diferentes tableros para asegurar que el equipo no se apague ante una falla en el tablero. Adicional, ver que en la central halla un equipo de grupo electrógeno para asegurar que el equipo siga funcionando ante un corte de energía.
2. Conviene limpiar los conectores ópticos antes de realizar cualquier conexión óptica entre equipos situados fuera o dentro de la instalación para evitar daños y atenuaciones por flexión de los conectores ópticos.
3. Tener licencias actualizadas con la municipalidad para poder trabajar sobre tramos aéreos y subterráneos con la finalidad de poder realizar un reforzamiento por la zona en menos tiempo ante un pedido comercial.

## Referencias bibliográficas

- Balarezo C. y Huarcaya R. (2021). *Sistema de red FTTH, para mejorar la calidad del servicio de internet brindada por la empresa Importaciones y Exportaciones CLK SAC - Perú, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad César Vallejo]. Repositorio institucional UCV. [Sistema de red FTTH, para mejorar la calidad del servicio de internet brindada por la empresa Importaciones y Exportaciones CLK SAC. \(ucv.edu.pe\)](https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/document/12345)
- García, L.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 – Perú, 2021*. [Tesis de licenciatura, Universidad Tecnológica del Perú]. Repositorio institucional UTP. [https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4983/E.Garcia\\_Trabajo\\_de\\_Suficiencia\\_Profesional\\_Titulo\\_Profesional\\_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/4983/E.Garcia_Trabajo_de_Suficiencia_Profesional_Titulo_Profesional_2021.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- ITU-T (2024, enero) G.652 *Características de un cable y fibra óptica monomodo*, series G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.652-200911-S>
- Jorges, T.H (2024). *Diseño de una red FTTH y su influencia en el acceso de banda ancha de los pobladores en el Centro Poblado San Nicolas*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. Repositorio institucional UNJFC. <https://repositorio.unjfsc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14067/8754/Tesis%20Jorges%20Tasayco.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Mirano, T.V. (2019). *Diseño de una red FTTH utilizando el estándar GPON para la Urbanización Las Flores del Distrito de San Juan de Lurigancho*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur]. Repositorio institucional UNTLS. [Mirano Victor Trabajo Suficiencia 2019.pdf \(untels.edu.pe\)](https://repositorio.untels.edu.pe/handle/document/12345)

- Organismo Supervisor de Inversión Privada en Telecomunicaciones Osiptel (2023). *Velocidad de internet fijo de Perú mejoró en enero de 2023*. Osiptel. <https://www.osiptel.gob.pe/media/m1jheili/np07032023-velocidad-internet.pdf>
- Ortiz, F. (2024). Tipos de Fibras Ópticas - Las Fibras Multimodos. *Fibra Óptica Ciencia y Tecnología*. <https://lafibraoptica Peru.com/fundamentos-de-la-fibra-optica/>
- Ramos, F. A. (2019). *Diseño e implementación de una red de acceso con fibra óptica utilizando tecnología VDSL/FTTX para mejorar los servicios de telecomunicaciones, de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones Empresa Pública en Guano*. [Tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional ESPC. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/13354>
- Rodríguez, I. (2020). *Conceptos Básicos de la fibra óptica como medio de transmisión*. Academia. [https://www.academia.edu/39216881/CONCEPTOS\\_BASICOS\\_DE\\_LA\\_FIBRA\\_OPTICA\\_COMO\\_MEDIO\\_DE\\_TRANSMISI%C3%93N](https://www.academia.edu/39216881/CONCEPTOS_BASICOS_DE_LA_FIBRA_OPTICA_COMO_MEDIO_DE_TRANSMISI%C3%93N)
- Silex Fiber (2014). *Cable fibra óptica PKP*. SilexFiber. <https://silexfiber.com/producto/cable-fibra-optica-dielectrico-pkp-f256-sxz04290101o/>
- Soto, Y. (2024). *Fundamentos teóricos de fibra óptica*. Academia. [https://www.academia.edu/33492935/FIBRA\\_OPTICA\\_FUNDAMENTOS\\_TEORICOS?uc-g-sw=39216881](https://www.academia.edu/33492935/FIBRA_OPTICA_FUNDAMENTOS_TEORICOS?uc-g-sw=39216881)
- WordPress (2024, enero). *Estructura de fibra óptica*. Planta externa pilar de telecomunicaciones. <https://plantaexterna.cl/fibra-optica/estructura-de-fibra-optica/>

## **Anexos**

Anexo 1: Potencias de los usuarios conectados a los CTO.....	1
Anexo 2: Tabla de potencia de los clientes.....	3

## Anexo 1

*Potencias de los usuarios conectados a los CTO*

### **CONFIGURACIÓN DE LA INTERFANZ UPLINK:**

```
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO#show running-config-interface xgei-1/10/1
!<if-intf>
interface xgei-1/10/1
  description LIM-SI1_HW3_HL4_7/1/20  (Router del operador)
  no shutdown
$
!</if-intf>
!<lacp>
lacp
  interface xgei-1/10/1
    smartgroup 1 mode active
  $
$
!</lacp>
!<MSAN>
interface xgei-1/10/1
  switchport mode hybrid
  switchport vlan 40,46-47,1030-1037 tag
  switchport vlan 2001,3030-3037 tag
  switchport vlan 4000-4001 tag
$
!</MSAN>
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO #
```

### **CONFIGURACIÓN DE LA INTERFANZ ACCESO:**

```
interface gpon_olt-1/1/1
  description H
  no shutdown
```

### **CONFIGURACIÓN DE LA INTERFANZ LOGICA HACIA UN MODEM:**

```
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO#show running-config-interface gpon_onu-1/1/1:1
!<if-intf>
interface gpon_onu-1/1/1:1
$
!</if-intf>
!<xpon>
interface gpon_onu-1/1/1:1
  real-speed gpon
  name *****
  tcont 1 allocid 280 profile T4_1G
  gempport 1 portid 153 tcont 1
$
pon-onu-mng gpon_onu-1/1/1:1
  service HSI gempport 1 vlan 10
$
!</xpon>
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO#
```

```
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO#show running-config-interface vport-1/1/1.1:1
!<if-intf>
interface vport-1/1/1.1:1
$
!</if-intf>
!<MSAN>
interface vport-1/1/1.1:1
  service-port 1 user-vlan 10 vlan 383 svlan 1030 ingress G_SP_UP egress G_SP_DW
$
!</MSAN>
OLT DEL ASENTAMIENTO HUMANO#
```

