



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división
de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas**

AUTOR:

Ing. Zumba Quezada, Ana Andrea

Examen Complexivo previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 23 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Zumba Quezada, Ana Andrea** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 23 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Zumba Quezada, Ana Andrea**

DECLARO QUE:

El Examen Complexivo “**Evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizó del contenido, veracidad y alcance científico del Examen Complexivo del Grado Académico en mención.

Guayaquil, 23 de noviembre del 2021

EL AUTOR

Zumba Quezada, Ana Andrea



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Zumba Quezada, Ana Andrea**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Examen Complexivo de Maestría titulado: **“Evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 23 de noviembre del 2021

EL AUTOR

Zumba Quezada, Ana Andrea

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: 'Documento: Andrea_Zumba_Final.docx (D116357296)', 'Presentado: 2021-10-25 16:57 (-04:00)', 'Presentado por: fernandopm23@hotmail.com', 'Recibido: edwin.palacios.ucsg@anaylisis.orkund.com', and 'Mensaje: Revisión trabajo Andrea Zumba. 1% de estas 23 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes.' On the right, a 'Lista de fuentes' table is visible with columns for 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. The table lists several sources, including 'Sarmiento_Jameson.pdf' and 'TEGNOLOGIA-GPONpdf.pdf', both of which are checked. At the bottom, there is a navigation bar with icons for search, back, forward, and other functions, along with a status bar showing '0 Advertencias' and buttons for 'Reiniciar' and 'Compartir'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Evaluación del rendimiento del sistema de
multiplexación por división de longitud de onda utilizado en
redes ópticas pasivas

AUTOR: Ing. Zumba Quezada, Ana Andrea

Trabajo de Titulación previo a

la obtención del Grado Académico de Magister en
Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, 20 de octubre del 2021

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

Dedicatoria

Esta meta alcanzada dedico a mi madre por el apoyo incondicional que en todo momento me ha brindado y a mis pequeños hijos que son la fuente de inspiración de cada uno de mis logros.

También dedico este trabajo a mis hermanos, a mi tío Cesar y a mi querida abuelita Holanda que con su paciencia y apoyo me han acompañado en este gran camino.

Zumba Quezada, Ana Andrea

Agradecimientos

Agradezco a Dios por darme la oportunidad de culminar esta gran meta que a pesar de muchos obstáculos presentados tuve la fuerza, sabiduría para continuar y aprender de ellos. A toda mi familia, mis compañeros y amigos que estuvieron inmersos en este proyecto apoyando tanto en lo personal como lo profesional.

Agradezco al Mg. Manuel Romero por los conocimientos impartidos, por su predisposición de ayudar en todo momento, por la confianza depositada y la empatía que siempre me demostró además de la asesoría y apoyo brindado.

Agradezco al Mg. Fernando Palacios por las enseñanzas impartidas durante este proyecto, por la dedicación y apoyo en este trabajo.

Y a todas las personas que de alguna forma apoyaron en el desarrollo del presente trabajo, mis sinceros agradecimientos con todos.

Zumba Quezada, Ana Andrea



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

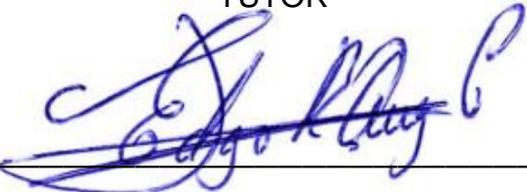
SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. 

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

TUTOR

f. 

M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL

REVISOR

f. 

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

REVISOR

f. 

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Definición del problema a investigar.....	18
1.4. Justificación.....	18
1.5. Objetivos.....	19
1.6. Hipótesis.....	19
1.7. Metodología de investigación.....	19
Capítulo 2: Estado del arte.....	21
2.1. Descripción del capítulo.....	21
2.2. Redes ópticas.....	21
2.2.1. Redes de acceso óptico.....	22
2.2.2. Arquitecturas de red FTTH.....	24
2.2.3. Arquitectura Punto a Punto (P2P).....	25
2.2.4. Arquitectura activa de doble estrella (AON).....	26
2.2.5. Arquitecturas Punto a Multipunto (PON).....	26
2.2.6. Comparación de tecnologías P2P, AON, PON.....	27
2.3. Redes ópticas pasivas PON.....	29
2.3.1. Arquitectura de red PON.....	29
2.3.2. Estándares XPON.....	31
2.3.3. Normas GPON.....	32
2.3.4. Clasificación de G-PON según Presupuesto.....	33
2.3.5. Estándar XG-PON.....	33
2.3.6. Norma NG-PON2.....	34
2.3.7. Comparación entre los diferentes estándares PON.....	34
2.3.8. Ventajas y desventajas de una red GPON.....	35

2.4.	PON con multiplexación por división de longitud de onda (WDM)..	35
2.5.	WDM-PON frente a GPON frente a XG-PON.....	36
Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados		38
3.1.	Visión general del examen complejo.....	38
3.2.	Análisis de velocidad de red de cobre y GPON	38
3.3.	Aplicación y análisis de FTTH-GPON.....	45
3.3.1.	Funciones de acceso a la aplicación FTTH-GPON.	45
3.3.2.	Arquitectura de la red óptica pasiva gigabit – FTTH.....	46
3.3.3.	Parámetros del sistema GPON – FTTH.	48
3.4.	Discusión de los resultados obtenidos del sistema FTTH-GPON...	55
Conclusiones		66
Recomendaciones		67
Bibliografía		68

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Arquitectura de una red de acceso óptico.....	22
Figura 2. 2: Estructura de una red FTTC.	23
Figura 2. 3: Estructura de una red FTTB.	23
Figura 2. 4: Estructura de una red FTTH.	24
Figura 2. 5: Topología FTTH punto a punto (P2P).....	25
Figura 2. 6: Topología activa doble estrella (AON).	26
Figura 2. 7: Topología Punto-Multipunto (PON).....	27
Figura 2. 8: Arquitectura de una red óptica pasiva PON.....	30
Figura 2. 9: Arquitectura ascendente.	30
Figura 2. 10: Arquitectura descendente.	31
Figura 2. 11: Arquitectura PON WDM.....	36

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Representación de la ubicación de los suscriptores de ADSL y VDSL en relación con la central.....	39
Figura 3. 2: Representación de la posición del suscriptor de GPON en relación con la central.	40
Figura 3. 3: Método de prueba de línea ADSL y VDSL.....	40
Figura 3. 4: Método de prueba GPON.	43
Figura 3. 4: Prueba de velocidad del usuario GPON.	44
Figura 3. 6: Configuración del sistema GPON para 64 suscriptores.....	47
Figura 3. 7: Esquemático del modelo de canal descendente GPON.	49
Figura 3. 8: Esquemático del modelo de unidad GPON OLT.	49
Figura 3. 9: Estructura del divisor óptico 1:32 ubicada en el edificio A.	49
Figura 3. 10: Distribución de abonados según pisos en el edificio A.	50
Figura 3. 11: Estructura ONU del suscriptor 1 (ONU1).	51
Figura 3. 12: Estructura ONU del suscriptor 2 (ONU2).	51

Figura 3. 13: Estructura del divisor óptico 1:32 ubicada en el sitio B.	51
Figura 3. 14: Estructura ONU del suscriptor 4 (ONU4).	52
Figura 3. 15: Distribución de suscriptores del bloque de oficinas del sitio B por pisos.	52
Figura 3. 16: Estructura ONU del suscriptor 5 (ONU5).	52
Figura 3. 17: Esquemático del modelo de canal ascendente GPON.	53
Figura 3. 18: Representación de conexión entre Edificio A y multiplexor WDM.	53
Figura 3. 19: Representación de conexión entre Sitio B y multiplexor WDM.	54
Figura 3. 20: Asignación de longitud de onda a suscriptores de sistema GPON.	55
Figura 3. 21: Gráfica del analizador de espectro óptico en la OLT.	56
Figura 3. 22: Gráfica del analizador de espectro óptico del suscriptor 1 (ONU1).	57
Figura 3. 23: Diagrama de ojo del suscriptor 1 para una longitud de 5 km de fibra óptica.	57
Figura 3. 24: Diagramas de ojo de los suscriptores de ONU1 y ONU2 si 32 suscriptores están activos en el sistema.	59
Figura 3. 25: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con velocidad de canal descendente de 1.25 Gbps para una distancia de 5 km.	60
Figura 3. 26: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con velocidad de canal descendente de 2 Gbps para una distancia de 5 km.	60
Figura 3. 27: Cambio del factor Q con relación a la velocidad del canal descendente.	61
Figura 3. 28: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 60 mW.	61
Figura 3. 29: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 70 mW.	62
Figura 3. 30: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 100 mW.	62
Figura 3. 31: Gráfica de BER de la OLT de canal ascendente.	63

Figura 3. 32: Cambio del factor Q con relación a la distancia del enlace.....	64
Figura 3. 33: Gráfica de BER de canal ascendente con 32 clientes activos.	64
Figura 3. 34: Efecto del amplificador en el rendimiento del sistema.	65

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Características comparativas de los sistemas P2P, AON y PON	28
Tabla 2. 2: Clasificación de G-PON según presupuesto óptico.....	33
Tabla 2. 3: Comparación de estándares PON finalizados por FSAN / ITU-T.....	34

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Valores de calidad de los datos de servicio en clientes de ADSL.....	41
Tabla 3. 2: Valores de calidad de los datos de servicio en clientes de VDSL.....	42
Tabla 3. 3: Paquetes de velocidad de GPON.....	45
Tabla 3. 4: Parámetros de simulación de la red GPON – FTTH.....	48
Tabla 3. 5: Resultados de la variación del factor Q de las ONU con la longitud de la fibra.	57

Resumen

En el presente trabajo de maestría se realiza la evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) utilizado en redes ópticas pasivas (PON). El propósito de este trabajo fue describir las tecnologías PON estándar y tecnologías PON de próxima generación en términos de capacidad para proporcionar una tasa de transmisión descendente de 2.5 Gbps y ascendente de 1.25 Gbps. Las relaciones de división óptica (splitter) seleccionadas para las diferentes tecnologías se muestran como la única solución factible para satisfacer los acuerdos mínimos de nivel de servicio requeridos. En esta topología GPON se considera la tecnología WDM para suscriptores residenciales con una relación de 1:32. Los resultados muestran que, aunque la multiplexación por división de tiempo (WDM) es la solución más económica cuando el número de abonados no es dominante. La tecnología WDM es la alternativa más conveniente para las altas relaciones de abonados en la PON.

Palabras claves: Multiplexación, Divisor, Transmisión, GPON, Redes, WDM.

Abstract

In this master thesis, the performance evaluation of wavelength division multiplexing (WDM) system used in passive optical networks (PON) is carried out. The purpose of this work was to describe the standard PON technologies and next generation PON technologies in terms of capacity to provide 2.5 Gbps downstream and 1.25 Gbps upstream transmission rate. The selected optical splitter ratios for the different technologies are shown as the only feasible solution to satisfy the required minimum service level agreements. In this GPON topology, WDM technology is considered for residential subscribers with a ratio of 1:32. The results show that although time division multiplexing (WDM) is the most economical solution when the number of subscribers is not dominant. WDM technology is the most convenient alternative for high subscriber ratios in the PON.

Keywords: Multiplexing, Splitter, Transmission, GPON, Networks, WDM.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

La creciente demanda de servicios inteligentes como datos, video y acceso a Internet de alta velocidad por parte de los usuarios hace que los proveedores de servicios propongan nuevas estrategias en tecnologías para satisfacer las demandas de los clientes. En este contexto, las redes de acceso FTTH son la mejor solución para los proveedores de servicios que brindan un gran ancho de banda y una mejor calidad en el servicio para los clientes hambrientos de datos. (Naeem et al., 2019)

Esta tecnología divide la red de acceso en dos categorías: activa y pasiva. Utiliza una topología tradicional punto a punto de Ethernet (EP2P), con fibra óptica dedicada entre el conmutador de la oficina central (CO) o un nodo remoto (RN) y un terminal de red óptica (ONU/ONT) al usuario final. Simultáneamente, esta red mantiene el gasto necesario, tanto de capital (CAPEX) como operativo (OPEX), a un nivel razonable en comparación con las tecnologías de la competencia.

El estándar GPON define diferentes velocidades de transmisión de línea para direcciones descendentes y ascendentes. La combinación más común, que también se ha elegido para este estudio, es de 2.5 Gbps y 1.25 Gbps para los canales descendente y ascendente, respectivamente. El rango de longitud de onda de funcionamiento es 1480-1500 nm para el canal descendente y 1260-1360 para el canal ascendente, utilizando realmente multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en una sola fibra sin dispersión desplazada. (Ricciardi et al., 2012)

El sistema GPON basado en uno de los estándares FTTx, proporciona datos de gestión del rendimiento como parte de sus atributos operativos. Tenga en cuenta que, si bien los estándares brindan orientación sobre los tipos de datos que deben generarse, la implementación será específica del proveedor. (Farmer et al., 2017b)

1.2. Antecedentes.

Para Farmer et al., (2017) el sistema GPON opera a 2.48832 (a menudo redondeado a 2.5) Gbps en sentido descendente y 1.244 Gbps en sentido ascendente. Las velocidades de datos se derivan de los estándares ATM. Estas son las llamadas velocidades de cable o velocidades de datos reales en la fibra. Se definen velocidades más lentas, pero no se tiene conocimiento de ninguna aplicación para nada más que estas velocidades de datos más rápidas. La velocidad de 2.5 Gbps con relación a la velocidad de 1 Gbps de EPON, ha sido un factor importante para la elección de GPON sobre EPON, particularmente para los operadores que ofrecen o están contemplando ofrecer IPTV.

Para Horvath et al., (2020) el Internet es algo común en la vida de miles de millones de personas, y los correos electrónicos, el intercambio de archivos, la mensajería, los servicios en la nube, las videollamadas, los juegos en línea y la transmisión de películas en línea se dan por sentado. En algunos lugares, las personas no tienen acceso a agua potable, pero sí a Internet. Este acceso es posible gracias a la enorme capacidad de transmisión que se encuentra disponible en las redes de acceso de fibra utilizando equipos de transmisión óptica coherente, ofreciendo velocidades de transmisión de cien gigabits por segundo (400 Gbps en 2018); con la ayuda de la multiplexación de longitud de onda, la capacidad total puede alcanzar decenas de terabits por segundo.

1.3. Definición del problema a investigar.

Necesidad de modelar y evaluar el rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas sobre la plataforma OptiSystem.

1.4. Justificación.

Las limitaciones de la red de cableado de cobre empujaron a los proveedores de servicios a pasarse a otras tecnologías. Una de las tecnologías más adecuadas es, sin duda, la tecnología de fibra óptica. La tecnología de fibra óptica, comparada con la de los cables de cobre, es más

rápida y tiene un mayor ancho de banda, porque utiliza impulsos de luz en lugar de señales eléctricas para la transmisión de datos. Además, es inmune a las interferencias electromagnéticas y menos susceptible a las degradaciones de la señal (impulsos).

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Evaluar el rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas mediante el software OptiSystem.

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Describir el estado del arte de las redes de acceso óptico, redes ópticas pasivas y sus arquitecturas.
- ✓ Diseñar el modelo de GPON FTTH utilizando el software OptiSystem.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos del modelo de GPON propuesto en el software OptiSystem.

1.6. Hipótesis

En este trabajo se dará especial importancia a la arquitectura de fibra óptica, donde se realizará un análisis detallado sobre la propuesta de arquitectura más ventajosa para la implantación de FTTH. También en este caso se identificarán las ventajas y desventajas de la arquitectura propuesta para justificar la implementación de esta. Al final se ofrece un posible modelo de implementación de una red FTTH y se realizan las mediciones y análisis pertinentes.

1.7. Metodología de investigación.

El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo, que se utiliza para probar o demostrar hechos mediante la cuantificación de un fenómeno. Los resultados suelen expresarse en forma de cifras (estadísticas), tal como se detalla en el capítulo 3. Este método puede llevarse a cabo, por ejemplo, mediante:

Una encuesta (respuesta a una pregunta).

Un cuestionario (respuestas a varias preguntas).

Datos obtenidos (ejecución de simulaciones)

Capítulo 2: Estado del arte.

2.1. Descripción del capítulo.

En el campo de las telecomunicaciones se han vuelto comunes las técnicas de transmisión como la de fibra óptica. La transmisión mediante ondas ópticas es muy económica cuando se transportan altas velocidades a grandes distancias. En este capítulo se presentarán los diferentes tipos de redes ópticas, específicamente las redes ópticas pasivas, el principio de funcionamiento. Posteriormente se explicará los tres tipos de redes FTTH: punto a punto (P2P), doble estrella activa (AON), punto a multipunto (PON), luego se verán los diferentes estándares X-PON cuyo enfoque principal son las redes GPON.

2.2. Redes ópticas.

Generalmente, las redes de telecomunicaciones de fibra óptica se pueden dividir en tres categorías:

a. La red de acceso:

Esta última, denominada red de área local (LAN), cubre dimensiones de unos pocos kilómetros a unas pocas decenas de kilómetros. Es conocida como red de acceso de última milla, es decir, es la parte de la red donde conecta a los usuarios finales. (Burgos & Pio, 2017)

b. La red de área metropolitana (MAN):

Son redes intermediarias que interconectan redes de larga distancia y redes de acceso a través de nodos de acceso (NA), que tienen una longitud aproximada de cientos de kilómetros.

c. La red central (core):

Estas son redes WAN con una estructura de malla o anillo donde las velocidades de transmisión de datos son superiores a 100 Gbps. Las distancias de interconexión varían de 100 km a más de 1000 km, cubriendo áreas geográficas a escala continental, como los enlaces transatlánticos entre Europa y Estados Unidos en distancias de transmisión de 6000 km.

2.2.1. Redes de acceso óptico.

Una red de acceso se define como el conjunto de medios utilizados para conectar terminales de telecomunicaciones entre un usuario final y un nodo de la red metropolitana. La distancia entre estas terminales suele ser del orden de veinte kilómetros (20 km). La red de acceso permite a los usuarios acceder al núcleo de la red para beneficiarse de los servicios que ofrece.

En este tipo de red hay dos partes, una en fibra óptica y la segunda en conductor habitual de cobre por lo general que va al terminal del abonado. Se distingue entre las técnicas FTTx (Fiber to the x), que consiste en conectar la fibra lo más cerca posible del usuario para aumentar la calidad del servicio y en particular la velocidad.

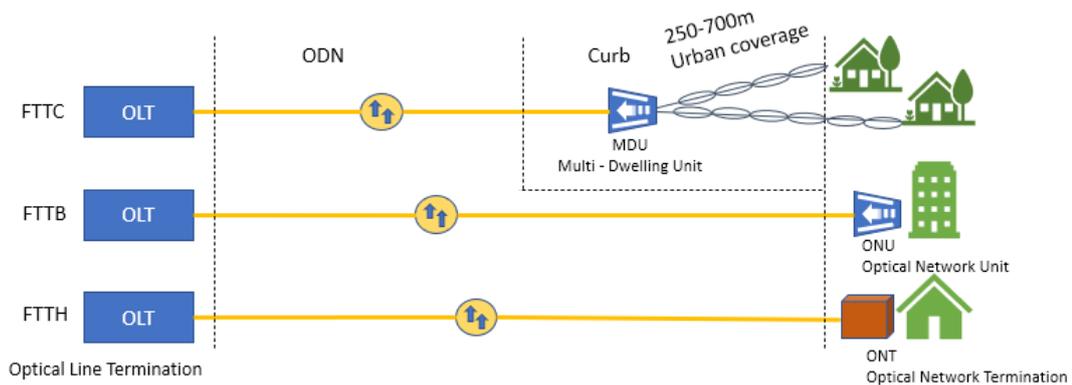


Figura 2. 1: Arquitectura de una red de acceso óptico.

Fuente: Autor

Y entre las técnicas más utilizadas se mencionará las siguientes:

FTTC (Fiber To The Cabinet):

La terminación de la red óptica se ubica en una cámara subterránea, o en un gabinete en la vía pública (debajo del distribuidor), en un centro de telecomunicaciones o en un poste. En el caso de que la fibra llegue a la acera, esta configuración se denomina Fibra al Bordillo (FTTC). Por otro lado, si llega al subdistribuidor, esta configuración se denomina Fibra al Gabinete (FTTCab).

La implementación de la arquitectura FTTC permite atender a una mayor cantidad de usuarios y aumentar el ancho de banda asignado a cada uno de ellos a un menor costo ya que se redistribuye el servicio internamente desde el gabinete hacia los abonados. (Indio & Gonzalo, 2020)

Dependiendo del caso, se prevé reutilizar la red de terminales de cobre existente o implementar una distribución de terminales por vía radioeléctrica, la figura 2.2 representa los diferentes componentes de una red FTTC/FTTCab.

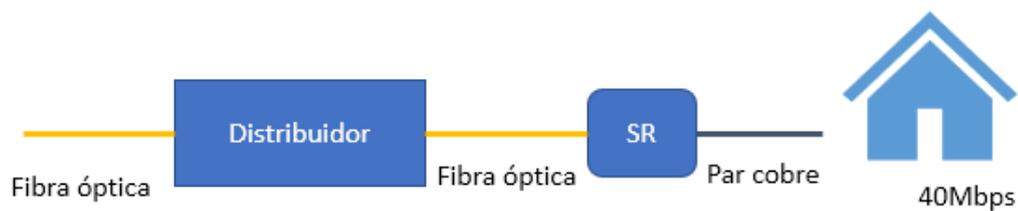


Figura 2. 2: Estructura de una red FTTC.
Fuente: Autor

FTTB (Fibra al edificio):

La terminación óptica se ubica al pie del edificio, o en una sala técnica, o en un gabinete o conducto en el rellano. Generalmente se comparte entre varios suscriptores que están conectados a él mediante enlaces de cables de cobre.(Burgos & Pio, 2017)

Esta configuración también se llama FTTB, la figura 2.3 muestra la estructura de una red FTTB

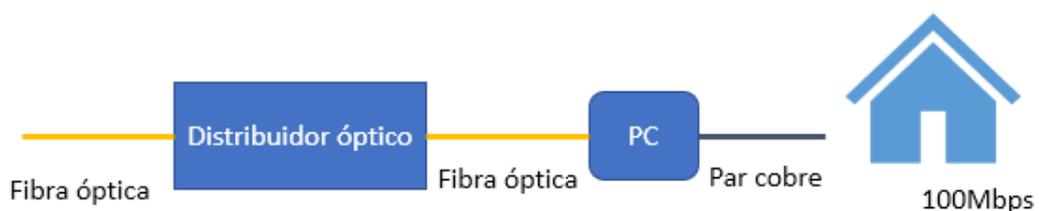


Figura 2. 3: Estructura de una red FTTB.
Fuente: Autor

FTTH (Fibra hasta el hogar):

El abonado final está conectado a su hogar mediante una única fibra óptica dedicada a él. Esta tecnología permite el acceso a Internet, televisión y telefonía con velocidades muy superiores a las permitidas actualmente por ADSL. Otra de sus ventajas sobre las tecnologías que utilizan el par de cobre (línea telefónica estándar) es que no experimenta atenuación de la señal en función de la distancia y, por lo tanto, garantiza velocidades óptimas incluso cuando el usuario está muy lejos. (López et al., 2019) La figura 2.4 muestra los diferentes componentes de una red FTTH



Figura 2. 4: Estructura de una red FTTH.
Fuente: Autor

La Nube, que permite almacenar datos en la red, compartirlos y consultarlos de forma remota como ejemplo, Google drive. Otro ejemplo, la videoconferencia que, gracias a la altísima velocidad, será más fluida, de mejor calidad, y de sonido e imagen, así como nuevos formatos de televisión como la televisión 3D o la ultra alta definición. Otra aplicación, es el desarrollo de la domótica que permite el control remoto de todos los equipos eléctricos del hogar, y participando en el apoyo a domicilio de personas dependientes, haciéndolas más autónomas, mediante el control de instrumentos profesionales.

2.2.2. Arquitecturas de red FTTH.

Hay dos tipos de topologías físicas que se utilizan para enrutar la fibra hasta el cliente final:

- Arquitectura activa, también llamada punto a punto (P2P).
- La Arquitectura Pasiva se denomina comúnmente punto a multipunto (PON).

Por otro lado, también es posible encontrar otra arquitectura activa denominada estrella doble activa.

2.2.3. Arquitectura Punto a Punto (P2P).

Los sistemas punto a punto (P2P) son los más sencillos de conceptualizar, ya que cada cliente está conectado al nodo de acceso mediante una fibra dedicada como se presenta en la Figura 2.5

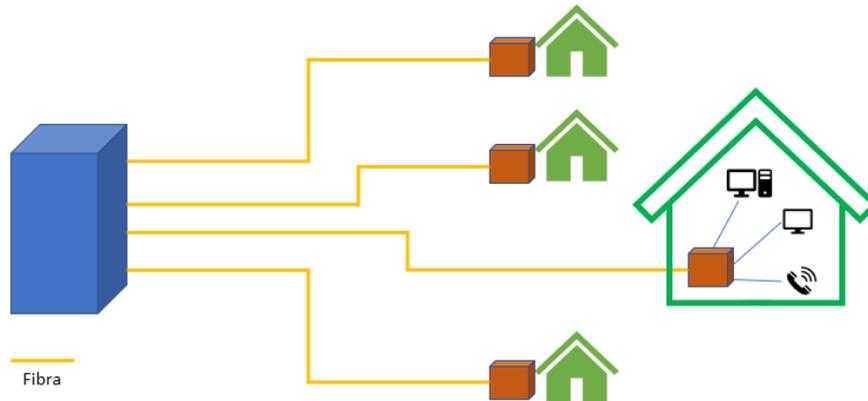


Figura 2. 5: Topología FTTH punto a punto (P2P).

Fuente: Autor

La única limitación de esta solución radica en el tamaño del NA y los cables que salen de él. De hecho, la conexión unitaria de cada abonado al equipo activo aumenta significativamente el espacio requerido, el número de conductos y los requisitos de refrigeración. (Rosas Leiva, 2021)

A continuación, se presentan las ventajas de la arquitectura P2P:

- Solución universal adecuada para clientes residenciales y comerciales.
- Presupuesto óptico óptimo ya que no hay componentes ópticos entre OLT y ONT.
- La gestión de la red está muy simplificada.
- Mayor flexibilidad de servicio.
- Ancho de banda ilimitado.
- La seguridad de los datos está garantizada ya que una o dos fibras están dedicadas a cada cliente.

- Más económico en áreas de abonados de baja densidad.

A continuación, se presentan las desventajas de la arquitectura P2P:

- Sin compartir el OLT o el puerto óptico, muchas fibras para desplegar (no muy económico).
- Gestión de fibras a nivel de planta.
- Congestión dentro del intercambio debido a la gran cantidad de transcripciones.
- No hay agrupación de fibras.

2.2.4. Arquitectura activa de doble estrella (AON).

Los sistemas también pueden diseñarse en una configuración de "estrella doble activa", denominada AON (Red óptica activa). El equipo "activo" se instala cerca de un "grupo" de usuarios en un área geográfica determinada y reúne a estos usuarios y después de completar la nueva conversión de señal electroóptica, se puede realizar la terminación final en la fibra. En la Figura 2.6 se puede apreciar dicha arquitectura

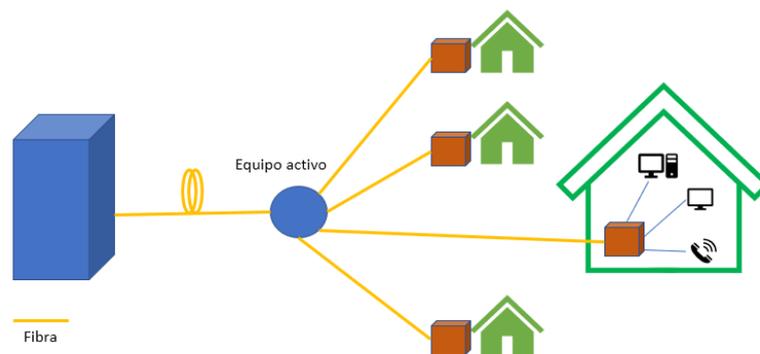


Figura 2. 6: Topología activa doble estrella (AON).

Fuente: Autor

2.2.5. Arquitecturas Punto a Multipunto (PON).

Sistemas "punto a multipunto" agrupados bajo el término genérico de PON (red óptica pasiva). Un optoacoplador pasivo instalado para reemplazar el equipo activo anterior, estos sistemas cubren varios estándares que se han probado a lo largo del tiempo (B-PON, E-PON y ahora G-PON). (Rosas Leiva, 2021) En la Figura 2.7 se aprecia la estructura de una arquitectura Punto-Multipunto.

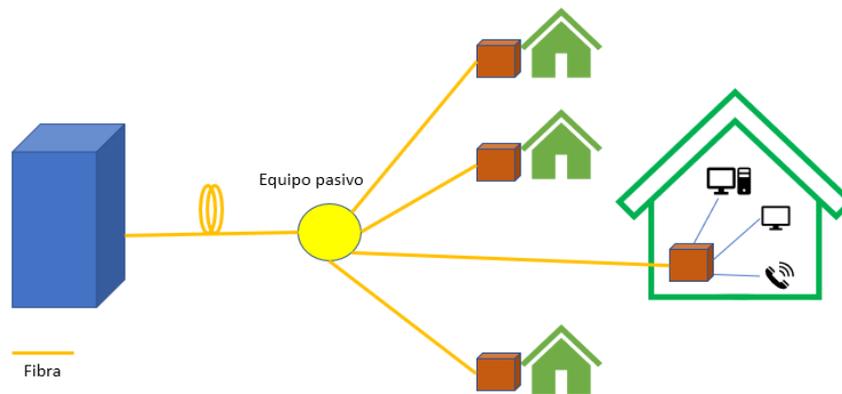


Figura 2. 7: Topología Punto-Multipunto (PON).

Fuente: Autor

A continuación, se presentan las ventajas de la arquitectura PON:

- No hay elemento electrónico activo en la red de acceso, es la estructura pasiva.
- Permite ahorrar en la cantidad de fibras a tender y, por tanto, en el dimensionamiento de las infraestructuras de recepción.
- Reduce los gastos de capital y los costos operativos asociados.
- Los bajos costos de mantenimiento de estos componentes ópticos pasivos reducirán significativamente el costo de las actualizaciones y los gastos operativos.
- Flexibilidad en la asignación de ancho de banda.

A continuación, se presentan las desventajas de la arquitectura PON:

- Sin interoperabilidad con otras redes.
- Ancho de banda compartido y limitado.
- Se requiere seguridad de datos.
- Área de cobertura limitada: un máximo de 20 km en función del número de divisiones.
- Capacidad de planificación difícil para aplicaciones empresariales.

2.2.6. Comparación de tecnologías P2P, AON, PON.

Los siguientes datos presentados en la tabla 2.1 corresponden a valores típicos obtenidos de equipos de mercado comúnmente instalados.

Tabla 2. 1: Características comparativas de los sistemas P2P, AON y PON

	Punto-Punto	AON	PON
Distancia (Km)	15	15 por segmento	20
Fibra	1 fibra de extremo a extremo por abonado	1 fibra por abonado en la parte de distribución y conexión 1 fibra para n abonados en la parte de transporte	1 fibra por abonado en la parte de distribución y conexión 1 fibra para n abonados en la parte de transporte
Energía	2 vatios/abonado disipado en NA	Fuente de alimentación en la sección de acceso de abonado / 2 vatios - Disipada en el NF	0,6 vatios/abonado disipado en NA
Velocidad garantizada	100 Mbps o 1 Gbps simétrica en función de la conexión	100 Mbps simétricos	Hasta 78 Mbps en sentido descendente en una división de 32
Velocidad máxima	100 Mbps o 1 Gbps simétrica en función de la conexión	100 Mbps o 1 Gbps simétrica en función de la conexión	Hasta 2,5 Gbps en sentido descendente y 1 Gbps en sentido ascendente
Desagregación	Activo y pasivo en NA	NA o NF	Activo y pasivo en NF
Equipo activo en la red de servicios	No	Si	No
Lugar ocupado	1U para 24 a 48 abonados	Similar a P2P	4U para 512 a 2304 abonados

2.3. Redes ópticas pasivas PON.

La tecnología PON establece un punto de referencia para las redes de acceso de muy alta velocidad, minimiza las fibras y proporciona una mejor capacidad de transporte. Esta tecnología utiliza fibras ópticas pasivas como infraestructura, porque el equipo de la parte media no se alimenta de electricidad y no lleva ningún tipo de electrónica. Estas redes permiten el transporte de flujos bidireccionales y multimedia a muy alta velocidad hasta el usuario final (empresarial o privado).

La red PON incluye un nodo de distribución central al que se conectan varias fuentes de servicio (video, Internet y teléfonos ordinarios). El propio nodo basado en NA está interconectado con el usuario final a través de fibra. La PON utiliza principalmente dos longitudes de onda, una en cada dirección: 1490 nm en la dirección descendente, 1310 nm en la dirección ascendente. Estas dos longitudes de onda se utilizan para un servicio de transporte de datos (datos, VoIP, VideoIP).(Castellanos Casas et al., 2018)

En el caso de un servicio de vídeo de RF, se utiliza una tercera longitud de onda a 1550 nm para transportar la señal

2.3.1. Arquitectura de red PON.

Debido a varios componentes ópticos pasivos (acopladores, divisores, multiplexores de longitud de onda), las fibras ópticas permiten formar una red de terminales múltiples. La Figura 2.8 muestra la arquitectura de la red PON, que es la misma que la arquitectura punto a multipunto. En esta arquitectura, el divisor transmite la misma señal a varios receptores al mismo tiempo. El número de receptores puede ser decenas.

Luego cuando la red crece a varios miles de abonado se recomienda utilizar un amplificador óptico entre la fuente y el acoplador. Se puede utilizar un acoplador para formar un eje de transmisión pasivo. Estos árboles se caracterizan por una única fibra que se extiende desde la OLT, que es un elemento básico de la red PON. Esta utiliza multiplexación por división de

tiempo y multiplexación por división de frecuencia para minimizar el número de fibras utilizadas en la red.

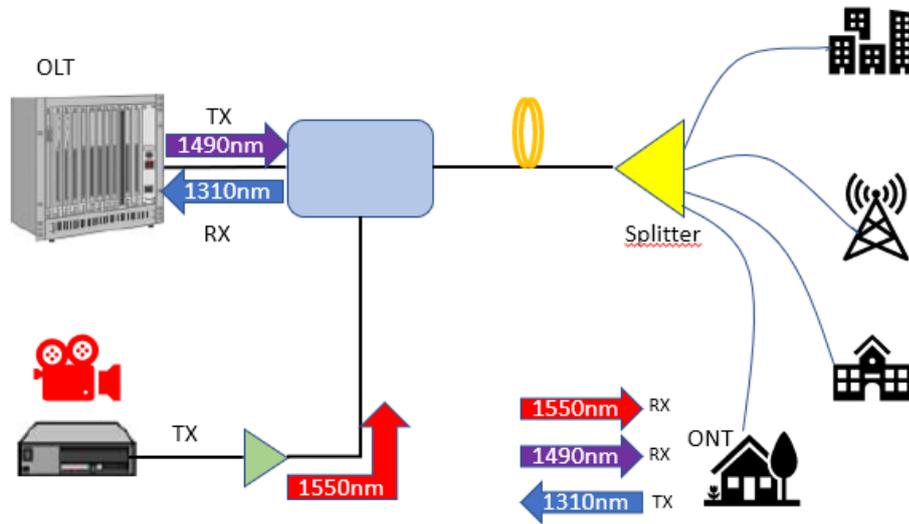


Figura 2. 8: Arquitectura de una red óptica pasiva PON.
Fuente: Autor

Dirección A ascendente:

Los ONT emiten a la misma longitud de onda y los acopladores son pasivos, si las señales llegan al acoplador simultáneamente desde dos ONT, saldrían como una mezcla ilegible por el OLT. Es por esto por lo que se usa el tiempo compartido TDM (Time Division Multiplexing), el OLT asigna a cada ONT un intervalo de tiempo durante el cual es el único autorizado para transmitir, si hay muchos datos para transmitir, el OLT asigna más tiempo para ello, e inversamente asigna la ONT menos tiempo

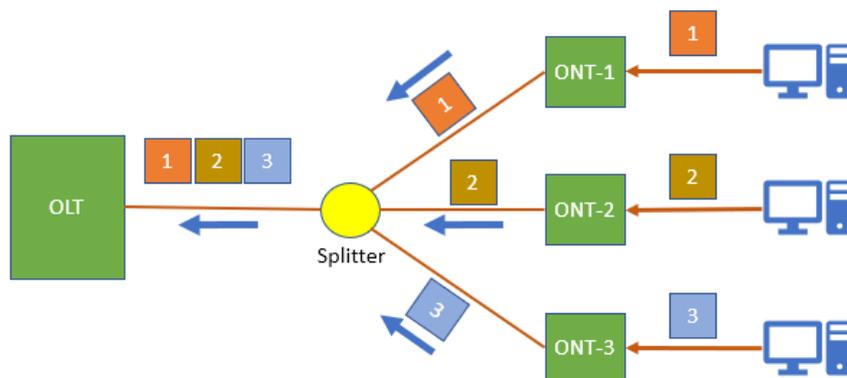


Figura 2. 9: Arquitectura ascendente.
Fuente: Autor

Dirección B descendente:

En sentido descendente, cada abonado recibe solo la información que le concierne. Todas las ONT reciben todos los datos, pero sólo la ONT en cuestión los retransmite en la red interna del abonado. En la figura 2.10 se muestra este principio

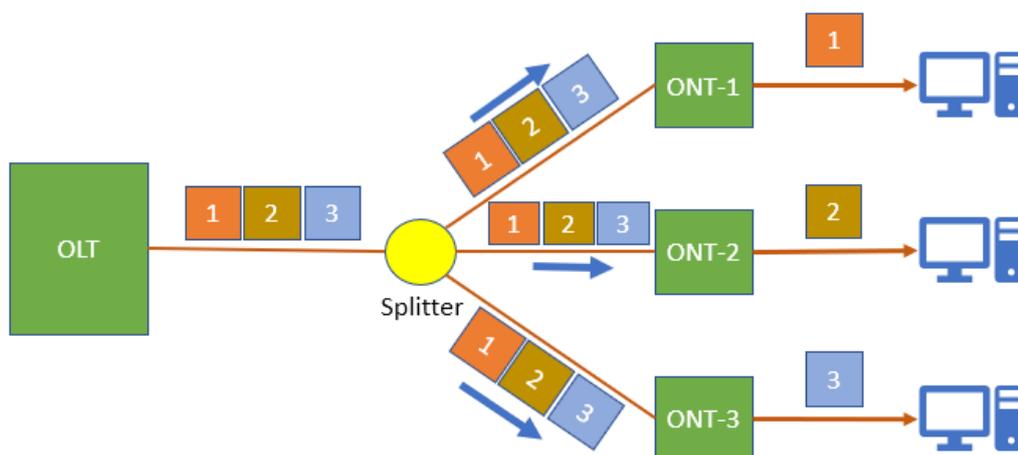


Figura 2. 10: Arquitectura descendente.
Fuente: Autor

En las redes PON y las arquitecturas de enlace descendente, la velocidad instantánea se comparte entre todos los usuarios que reciben datos

2.3.2. Estándares XPON.

En comparación con la arquitectura punto a punto, la ventaja de la arquitectura punto a multipunto (PON) es que algunos equipos se pueden compartir entre múltiples usuarios, reduciendo así el costo de construcción inicial. Además, se han mejorado las condiciones de operación y mantenimiento, reduciendo así los costos operativos.

Se pueden encontrar varios estándares X-PON, estos están estandarizados por IUT, IEEE o el grupo FSAN (FULL Service Access Network). y los diferentes estándares son los siguientes:

Estándar APON:

APON describe la operación PON usando encapsulación en modo de transferencia asíncrona (ATM). Este fue desarrollado por primera vez en la década de 1990 por la Red de acceso de servicio completo (FSAN) y estandarizado en el

estándar G.982. El sistema APON puede conectar hasta 32 participantes al PON y les ofrece un sistema de acceso flexible y de alta velocidad. (622Mbps o 155 Mbps en sentido descendente, 155 Mbps en sentido ascendente). Abajo. La multiplexación de células ATM se utiliza mientras que TDMA se utiliza en sentido ascendente.

Estándar BPON:

Broadband PON es la extensión de APON para proporcionar otros servicios, como ETHERNET y transmisión de video (transmisión de video) estandarizados por ITU-T en 2005 (estándar G983.1). Las mejoras recientes de APON incluyen multiplexación por división de longitud de onda (WDM) de alta velocidad, asignación dinámica de ancho de banda, seguridad de datos mejorada y una OMCI (Interfaz de control de gestión de ONU), que representa la administración del sistema y define los mensajes asociados involucrados en la configuración y el monitoreo del equipo OLT y una red óptica. Esta red opera a velocidades de flujo descendente/ascendente: 155 Mbps, 155 Mbps, 622 Mbps, 622 Mbps.

Estándar EPON:

El estándar E-PON se deriva del entorno Ethernet. La principal diferencia entre EPON y APON es que la arquitectura EPON se basa en el protocolo Ethernet IEEE 802.3 para transmitir paquetes de datos de hasta 1518 bytes en paquetes de datos de longitud variable, mientras que en APON los datos son una celda de 53 bytes de longitud fija. 48 bytes de carga útil, primeros 5 bytes, como se especifica en el protocolo ATM. La velocidad máxima es simétrica de 1,25 Gbps, en esta red se utiliza una longitud de onda por sentido de transmisión y puede llegar a 32 abonados por OLT

Estándar GPON:

La solución punto a multipunto se implementa utilizando tecnología GPON con una longitud de onda de 1310 nm en el enlace ascendente y 1490 nm en el enlace descendente. La tasa de participación del acoplador es de 1 a 64 (ver 128) usuarios. La solución tiene una cobertura de radio de 20 km. hasta 2.488 Gbps simétrico para G-PON. Sin embargo, las implementaciones reales a menudo se limitan a 1,244 Gbps en sentido ascendente.

2.3.3. Normas GPON.

El estándar ITU-T G. 984 para la red GPON consta de cuatro partes:

- G984.1 G: está dedicado a la arquitectura, tasas de bits, rango, tasa de participación y mecanismo de protección.
- G984.2: habla del presupuesto óptico y las potencias implementadas en la red GPON.
- G984.3: explica la transmisión entre OLT y UN.
- G984.4: describe los intercambios entre la OLT y los distintos servicios.

2.3.4. Clasificación de G-PON según Presupuesto.

El estándar ITU G.984 clasificó la arquitectura G-PON de acuerdo con el balance de enlace (o pérdida de potencia máxima permitida), como se muestra en la siguiente tabla 2.2.

Tabla 2. 2: Clasificación de G-PON según presupuesto óptico.

Clase	Perdida	Solicitado
B	25 dB	No desplegado
B+	28 dB	GPON & MPMs
N1	29 dB	10G & UP
C	30 dB	No desplegado
N2	31 dB	10G & UP
C+	32 dB	GPON & MPMs
E1	33 dB	10G & UP
C++	34 dB	GPON
D	35 dB	GPON & MPMs
E2	35 dB	10G & UP

En la actualidad, la solución GPON implementada es de Clase B + (13-28 dB), con un presupuesto de atenuación óptica de 28 dB como máximo. Este presupuesto es consumido por la tasa de uso compartido, la conectividad y el alcance. La infraestructura óptica ha sido diseñada para soportar este presupuesto de atenuación óptica. Esta Clase B + era el límite tecnológico hasta 2010, ahora los proveedores pueden adquirir equipos de Clase C + más costosos

2.3.5. Estándar XG-PON.

El XG-PON 1 se caracteriza por una velocidad descendente de 10 Gbps asociada con una velocidad ascendente de 2,5 Gbps. También se ha definido el plan de asignación de longitud de onda para estas transmisiones: las señales de enlace descendente deben transmitirse a 1575 y 1580 nm y las señales

ascendentes entre 1260 y 1280 nm. Como XG-PON1 es una parte integral de NGPON1, su infraestructura pasiva (fibra, acopladores, etc.) se modelaría sobre la de GPON, para facilitar la migración de equipos activos a 10G-PON. Esta puesta en común de la infraestructura implicará la inserción de elementos de multiplexación (acopladores o multiplexores) a expensas del presupuesto óptico. De hecho, para asegurar la superposición con un sistema GPON implementado, que opera en una infraestructura de clase B + (13-28dB), es necesario agregar las pérdidas del componente de multiplexación denominado "WDM1". Este WDM1 se especificará adoptando el estándar G.984.5. (Moreno Mejías, 2019)

2.3.6. Norma NG-PON2.

NG-PON2 estandarizado por la UIT en 2014 y 2016 (G.989.1 y G.989.2), permite un rendimiento agregado de 40 Gbps (ver hasta 80 Gbps) en la dirección descendente y 10 Gbps en la dirección hacia arriba. Tiene 3 tipos de velocidad de canal: básica: 10/2.5 Gbps opcional 10/10 Gbps y 2.5/2.5 Gbps. NG-PON2 se centra en las tecnologías TDM-PON y WDM-PON (asignación de longitud de onda de usuario).

2.3.7. Comparación entre los diferentes estándares PON.

La tabla anterior resume las características de los diferentes estándares de una red PON definida anteriormente.

Tabla 2. 3: Comparación de estándares PON finalizados por FSAN / ITU-T

Estándar	APON	BPON	EPON	GPON
Norma recomendada	ITU-T G.983	ITU-T G.983	IEEE802.3a h IEEE802.3a v	G.984
Longitud de onda (descendente/ascendente)	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm	1490nm/1310nm
Velocidad descendente	155Mbps o 622Mbps	155Mbps o 622Mbps	1.25Gbps a 10Gbps	2.5Gbps
Velocidad ascendente	155Mbps	155Mbps o 622Mbps	1.25Gbps 1Gbps o 10Gbps	1.25 Gbps
Tasa de	16, 32	16, 32	16, 32, 64	16, 32, 64

participación				hasta 128
Distancia OLT ONT	10 a 20 Km	10 a 20 Km	20Km	20Km
Protocolos	ATM	ATM	Ethernet con acceso CSMA/CD	GEM (ATM, Ethernet, TDM)

2.3.8. Ventajas y desventajas de una red GPON.

Las ventajas de una red GPON son principalmente económicas:

- Una OLT puede atender al menos a 64 clientes.
- Arquitectura favorable a la radiodifusión (típicamente retransmisiones televisivas).
- Se utiliza poca fibra en la red GPON.
- En este tipo de red no es necesaria ninguna habitación alimentada con energía. Esto se traduce en ahorros en inversión, operación y mantenimiento.

Sin embargo, también hay una serie de desventajas que superar:

- Presupuesto óptico limitado por el acoplador, por lo tanto, rango reducido.
- Velocidad compartida limitada a la capacidad de la fibra común.
- Sincronización complicada para sentido ascendente.
- Los flujos son recibidos por todos, la clasificación se realiza a nivel ONT.

2.4. PON con multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

La introducción de la multiplexación de longitud de onda "WDM" es ante todo la respuesta a un aumento en el rendimiento y en la tasa de uso compartido en la red de acceso. WDM es una solución que permite compartir redes utilizando la longitud de onda como componente de demultiplexación. De hecho, el límite de velocidad impuesto por TDM puede evitarse introduciendo WDM y asignando, por ejemplo, una longitud de onda por usuario con acceso estático o dinámico, lo que equivale a hacer punto a punto en longitud de onda. Combinando así las ventajas y desventajas del punto a punto y la mutualización de la fibra para que WDM ofrezca la mayor velocidad posible a través de ONT. Es posible combinar los métodos de demultiplexación TDM y WDM. Se habla entonces de la multiplexación híbrida que es de gran interés en la red de acceso óptico y que se estudiará

posteriormente en el contexto de la Nueva Generación de PON (NGPON). (Moreno Mejías, 2019)

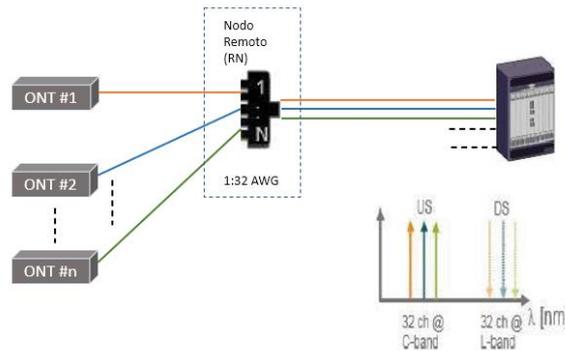


Figura 2. 11: Arquitectura PON WDM.
Fuente: Autor

WDM-PON es una tecnología de red de acceso capaz de cambiar significativamente la infraestructura del operador. WDM-PON crea una arquitectura lógica punto a punto basada en la longitud de onda sobre una topología de fibra física punto a multipunto. Utiliza tecnología de multiplexación/demultiplexación WDM para garantizar que las señales de datos se puedan dividir en señales de salida individuales conectadas a edificios o hogares. Esta separación de tráfico basada en hardware brinda a los clientes los beneficios de un enlace de longitud de onda de punto a punto seguro y escalable, pero permite al operador mantener el número de fibras muy bajo, lo que reduce significativamente los costos operativos.

2.5. WDM-PON frente a GPON frente a XG-PON.

Aquí se ha resumido el rendimiento técnico de GPON, WDM-PON y XG-PON:

- a. GPON (descendente 10 Gbps y ascendente 2.5 Gbps) - ITU-T G.984, 2008. El estándar GPON compatible con Gigabit ofrece varias opciones de velocidad, pero la industria ha convergido a un ancho de banda descendente de 2.488 gigabits por segundo (Gbps) y Ancho de banda ascendente de 1.244 Gbps.
- b. XG-PON (descendente 10 Gbps y ascendente 2.5 Gbps) - ITU G.987, 2009. XG-PON es esencialmente una versión de GPON de mayor ancho de banda. Tiene las mismas capacidades que GPON

y puede coexistir en la misma fibra con GPON. XG-PON rara vez se ha implementado.

- c. WDM-PON (descendente 10 Gbps y ascendente 2.5 Gbps) - 2012, multiplexación por división de longitud de onda PON, o WDM-PON, ofrece mejor privacidad y escalabilidad porque cada ONU solo recibe su propia longitud de onda. Está optimizado para aplicaciones de hasta 20 km, 40 canales y 1 Gbps por cliente. Para alcanzar distancias superiores a 100 km, se han utilizado amplificadores, compensación de dispersión y fuentes de semillas ASE remotas.

Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados

3.1. Visión general del examen complejo.

En este capítulo se presentan los resultados de las pruebas realizadas en el ámbito práctico del examen complejo y de los modelos realizados sobre las arquitecturas de redes ópticas pasivas (PON), que se encuentran entre las arquitecturas de distribución óptica en aplicaciones FTTx descritas en el capítulo 2. En primer lugar, se examinaron los resultados de la medición de las velocidades de transmisión de datos de los usuarios de ADSL, VDSL y GPON seleccionados entre los suscriptores y se obtuvieron diversas inferencias. Luego, la arquitectura GPON FTTH utilizada en la práctica fue modelado en la plataforma de simulación “OptiSystem” y se analizó de acuerdo con varias características.

3.2. Análisis de velocidad de red de cobre y GPON

La tecnología ADSL es una tecnología de módem que puede proporcionar comunicación de datos, voz y video de alta velocidad al mismo tiempo a través de cables de cobre utilizados para los teléfonos existentes. Para utilizar la línea telefónica existente de manera más eficaz, proporciona al usuario una amplia gama de oportunidades de transferencia de datos al aumentar la suficiencia de datos que se pueden transferir con la técnica de datos digitales.

Un extremo de la línea telefónica utilizada por el abonado telefónico está conectado a la oficina central (por ejemplo, CNT EP) donde se proporciona el servicio telefónico. Para que un suscriptor reciba el servicio ADSL, en primer lugar, se deben instalar los dispositivos adecuados en la central de telecomunicaciones a la que está conectada la línea. Si se instalan dispositivos adecuados, el extremo de la línea telefónica en la central se conecta a estos dispositivos.

Si bien estos dispositivos brindan una comunicación de datos rápida, también actúan como un filtro, separando voz y datos. Durante las llamadas telefónicas, las líneas telefónicas estándar se conectan a través del

intercambio, mientras que los datos se transfieren a las nubes de Internet de los proveedores de servicios de Internet (ISP). Para que los usuarios (clientes) utilicen Internet de alta velocidad al mismo tiempo con su teléfono, deben conectar su línea telefónica en casa o en el trabajo a un aparato de filtrado llamado divisor y módem/enrutador ADSL.

El ancho de banda máximo que se puede ofrecer en una red de acceso de cobre convencional está determinado por la antigüedad, la calidad, el grosor del cable de cobre y la longitud de la red de cables de cobre (la distancia entre el usuario y distribución principal). Con el método de acceso ADSL2 +, donde el mayor ancho de banda se obtiene en redes de acceso fijo compuestas íntegramente por infraestructuras de cable de cobre, el ancho de banda máximo al que se puede acceder en las condiciones más favorables (cuando el usuario está a un máximo de 600 m de la central) es 24 Mbps asimétricamente.

En esta sección, se examinan las velocidades de transmisión de datos de 3 clientes seleccionados de CNT, que son usuarios de ADSL, VDSL y GPON. El área del sitio determinada para las redes de cobre está aproximadamente a 2 km del gabinete FTTC y la distancia entre el tablero y el armario es de aproximadamente 1070 m. La transmisión se proporciona con cable de cobre Cat-6 en la línea. La figura 3.1 muestra la ubicación de los suscriptores de ADSL y VDSL en el mismo sitio en relación con el intercambio.

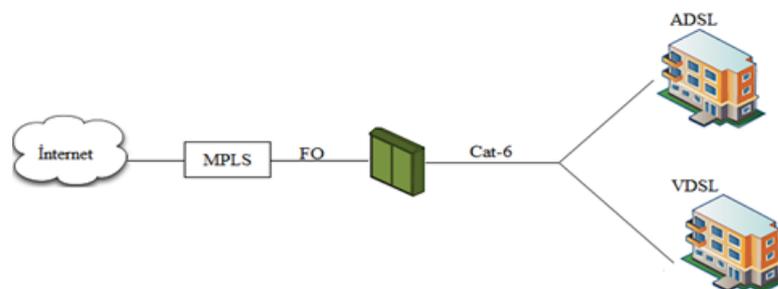


Figura 3. 1: Representación de la ubicación de los suscriptores de ADSL y VDSL en relación con la central.
Elaborado por: Autor.

El suscriptor de GPON, por otro lado, está aproximadamente a 5 km de la central y proporciona transmisión con tecnología de fibra. La figura 3.2 muestra la ubicación del usuario GPON seleccionado entre los abonados en relación con la central.

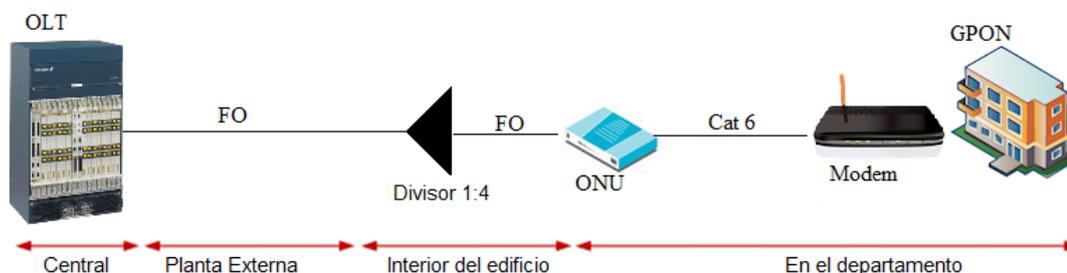


Figura 3. 2: Representación de la posición del suscriptor de GPON en relación con la central.

Elaborado por: Autor.

En primer lugar, se examinaron los datos de los clientes de ADSL y VDSL. El método de prueba de la línea de cobre se muestra en la figura 3.3. Aquí, la línea azul se refiere al cable de fibra óptica desde la oficina central hasta el gabinete FTTC. La línea roja representa el cable de cobre Cat-6 entre el edificio y el gabinete. DSLAM es un dispositivo activo que separa las señales de voz de las señales de datos y administra el tráfico entre los dispositivos xDSL y los dispositivos del usuario.

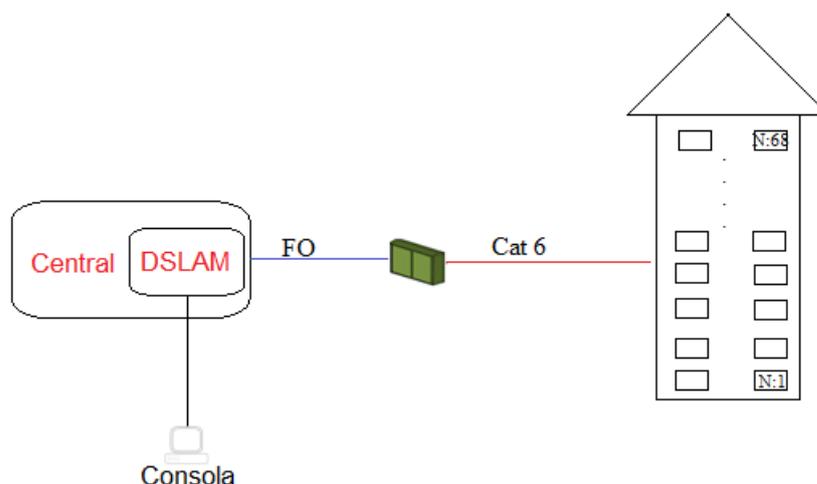


Figura 3. 3: Método de prueba de línea ADSL y VDSL.

Elaborado por: Autor.

La interfaz de la consola proporciona configuración y control DSLAM. Los datos de servicio del suscriptor ADSL se miden en la consola. Los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 3.1.

Tabla 3. 1: Valores de calidad de los datos de servicio en clientes de ADSL.

Atenuación del canal descendente (dB)	SNR del canal descendente (dB)	Velocidad del canal descendente (Mbps)	Velocidad de capacidad del canal descendente (Mbps)	Potencia de salida del canal descendente
2	30.5	8.2	26.2	5.6
Atenuación del canal descendente (dB)	SNR del canal descendente (dB)	Velocidad del canal descendente (Mbps)	Velocidad de capacidad del canal descendente (Mbps)	Potencia de salida del canal descendente
4	27.1	0.8	1.4	9.9
SNR			Atenuación (a la central)	
0 – 6 dB	Línea caída		0 – 20 dB	Muy cercano
7 – 14 dB	Línea se asienta, pero puede ocurrir una caída		20 – 30 dB	Cerca
15 – 25 dB	Buena calidad de la línea		30 – 40 dB	No tan lejano
26 – 30 dB	Muy buena calidad de la línea		40 – 60 dB	Medianamente lejano
31 – 35 dB	Excelente calidad de la línea		60 – 65 dB	Lejano

Elaborado por: Autor.

Como se ve en el resultado de la prueba, la velocidad de transmisión de datos del canal descendente que pueden proporcionar las tecnologías ADSL está limitada a 25-26 Mbps. Aquí, el cliente de ADSL proporciona acceso a 8 Mbps debido al servicio que ha elegido. El valor del margen de ruido de descarga representa el valor de la relación señal a ruido (SNR). Si el valor de SNR es inferior a 6 dB, no se puede establecer la conexión ADSL. El valor ideal de SNR es de 15 dB o más.

Aunque las tecnologías VDSL son una tecnología más avanzada que las tecnologías ADSL, son servicios de Internet que se pueden ofrecer a través de líneas de cobre a los clientes que se encuentran a distancias cortas de la central. Las tecnologías VDSL proporcionan un acceso más rápido a Internet a través de las líneas telefónicas existentes que ADSL. Un caso de uso clave de VDSL se ve en las aplicaciones FTTN.

VDSL se aplica entre una ONU (donde termina la línea de fibra proveniente de la central) y una sola línea de cobre conectada a la casa o lugar de trabajo, conecta la línea de fibra que llega hasta las inmediaciones del edificio sobre las líneas de cobre antiguas o recién tendidas. Los datos de servicio del abonado VDSL se muestran en la tabla 3.2.

Tabla 3. 2: Valores de calidad de los datos de servicio en clientes de VDSL.

Atenuación del canal descendente (dB)	SNR del canal descendente (dB)	Velocidad del canal descendente (Mbps)	Velocidad de capacidad del canal descendente (Mbps)	Potencia de salida del canal descendente
9	25.7	32.8	72.9	13.8
Atenuación del canal descendente (dB)	SNR del canal descendente (dB)	Velocidad del canal descendente (Mbps)	Velocidad de capacidad del canal descendente (Mbps)	Potencia de salida del canal descendente
4	31.5	2.04	35.9	6.6
SNR			Atenuación (a la central)	
0 – 6 dB	Línea caída		0 – 20 dB	Muy cercano
7 – 14 dB	Línea se asienta, pero puede ocurrir una caída		20 – 30 dB	Cerca
15 – 25 dB	Buena calidad de la línea		30 – 40 dB	No tan lejano
26 – 30 dB	Muy buena calidad de la línea		40 – 60 dB	Medianamente lejano
31 – 35 dB	Excelente calidad de la línea		60 – 65 dB	Lejano

Elaborado por: Autor.

Como puede verse en el resultado de la prueba, se pueden proporcionar velocidades de transmisión de datos del canal descendente de hasta 72 Mbps a los suscriptores con tecnología VDSL. Sin embargo, la transmisión de datos a altas velocidades a usuarios alejados del intercambio solo se puede lograr con tecnologías de fibra óptica.

Con la tecnología VDSL2, teóricamente, se puede alcanzar un ancho de banda simétrico de 100 Mbps en redes locales de menos de 300 m, si existen las mejores condiciones. En caso de prestación de servicios a grandes masas, se puede proporcionar un ancho de banda de 50 Mbps. Cuando se compara ADSL2+, que puede proporcionar un ancho de banda asimétrico de 24 Mbps en la red local de cobre, con el acceso VDSL2 usando la aplicación FTTCab, se ve que se pueden hacer 2 veces más en la recepción y 5 a 10 veces más en transmisión con VDSL2. Aunque ADSL2+ permite un servicio de televisión de alta definición (HDTV) que requiere un ancho de banda de 8 a 12 Mbps, está por detrás de la tecnología VDSL2.

El método de prueba utilizado para clientes de GPON se muestra en la figura 3.4. En la medición, se conecta una computadora portátil al módem al que está conectado el dispositivo ONU con un cable Cat-6, y se utiliza la web de test de velocidad para hacer suposiciones más precisas en la medición de tasa de bits. Esta web o portal permite realizar mediciones de velocidad integrados que pueden medir la tasa de bits máxima de la línea.

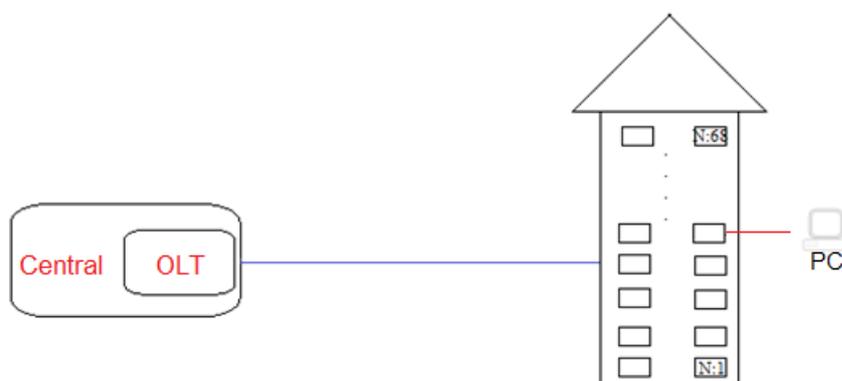


Figura 3. 4: Método de prueba GPON.
Elaborado por: Autor.

La figura 3.5 muestra el resultado de la prueba de velocidad del cliente GPON cuya transmisión de datos está provista de tecnología de fibra óptica.

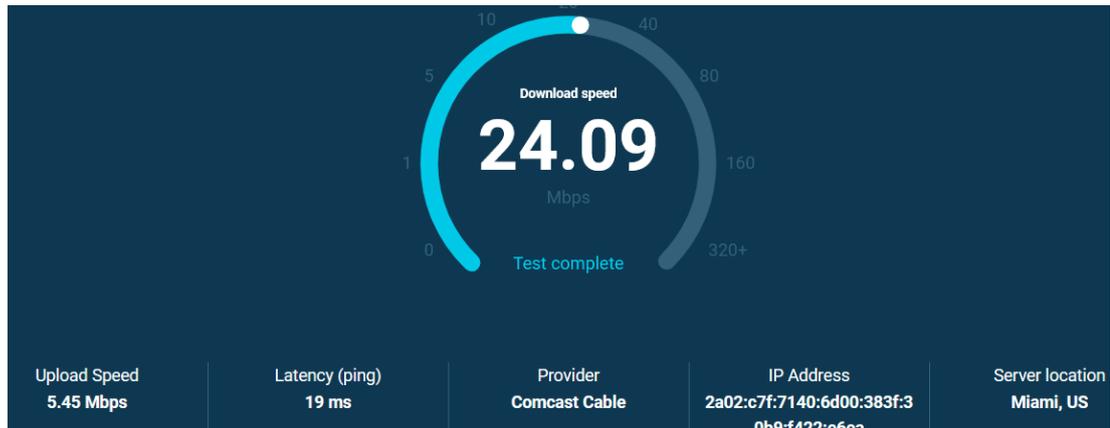


Figura 3. 5: Prueba de velocidad del usuario GPON.
Elaborado por: Autor.

Aunque el cliente de GPON se encuentra a una distancia mayor de la central, puede proporcionar un ancho de banda de 100 Mbps. Como se ve en el resultado de la prueba, el suscriptor de GPON realiza una transmisión de datos mucho más alta que los usuarios de ADSL y VDSL con una alta tasa de recepción de 70 Mbps.

Según los datos obtenidos, la tecnología GPON es muy superior a otras tecnologías en términos de rendimiento de velocidad. El sistema GPON con infraestructura de fibra completa tiene tasas de bits 4 veces más altas que la red de cobre. Sin embargo, los gastos en infraestructura son casi 20 veces superiores a los de la red de cobre, según los operadores de telecomunicaciones.

En la comunicación por fibra óptica, teóricamente se puede proporcionar un ancho de banda ilimitado debido al uso de la luz en la transmisión, y el nivel que se puede alcanzar en la situación actual está limitado por las capacidades de los equipos utilizados en ambos extremos de la infraestructura. En este sentido, con el fin de incrementar el ancho de banda que puede proporcionar una red de acceso fijo, sustituyendo la red local de cobre por cables de fibra óptica hasta el armario de campo, entrada del edificio o residencias, los DSLAMs ubicados en el edificio de la central y

a los que el abonado módems están conectados, deben ubicarse más cerca de los suscriptores (gabinete de campo, entradas de edificios) Se deben desarrollar métodos como el uso de métodos de acceso DSL más avanzados (como VDSL2) en DSLAM.

3.3. Aplicación y análisis de FTTH-GPON.

En esta sección, la arquitectura de red FTTH-GPON utilizada por los operadores de telecomunicaciones se modela en el programa de simulación OptiSystem 13.0. Se obtuvieron varios hallazgos al examinar el modelo en función de diferentes características.

3.3.1. Funciones de acceso a la aplicación FTTH-GPON.

En teoría, la capacidad de transmisión de un cable de fibra óptica es de 100 Gbps-km. Sin embargo, en la práctica, este valor se toma como 50 Gbps-km. Teniendo en cuenta que la velocidad de transmisión de datos del canal descendente es de 2.5 Gbps en el modelo GPON, se ve que los modelos GPON utilizados en la práctica pueden transmitir datos hasta un máximo de 20 km sin ningún problema. Los operadores de telecomunicaciones limitan esta distancia a 10 km según la política de servicio.

Las pérdidas en el sistema son causadas por la fibra óptica, puntos de empalme de fibra y divisores ópticos. Dependiendo de la longitud de la fibra óptica, se producen pérdidas de fibra de 0.25 dB/km. Además, las fibras ópticas monomodo (SMF) utilizadas en la infraestructura se agregan cada 2 km. Esto da como resultado una pérdida de 0.05 dB en cada punto de empalme. Se produce una pérdida de 1 dB en cada punto de conexión del cable de conexión. Las pérdidas del divisor se suman a todas estas pérdidas dependiendo de la relación de división óptica.

Los servicios de los que pueden beneficiarse los clientes de Netlife de acuerdo con las velocidades de sus canales se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3. 3: Paquetes de velocidad de GPON.

Planes	Velocidad de descarga y envío de información (Mbps)
Hogar	60
	75
	100
	200
	1000
Pymes	20
	50
	75
	100
Pymes Corp	2
	4
	5
	10
	20
Pro	45
	60
	75
	100

Elaborado por: Autor.

3.3.2. Arquitectura de la red óptica pasiva gigabit – FTTH.

Una de las ventajas más importantes de la arquitectura GPON, que admite la relación de división óptica de hasta 128, es el uso de tramas GEM en lugar de las tramas ATM de la vieja generación en BPON. Con esta estructura se proporciona tramas de paquetes de diferentes estructuras como TDM, Ethernet e IP. Al mismo tiempo, la arquitectura GPON también admite paquetes ATM.

En la arquitectura GPON FTTH, la fibra que proviene de la oficina central en el punto de distribución interior del edificio se divide por un divisor óptico (1:16, 1:32) y se dibuja un cable de conexión para cada hogar. Los cables de conexión ópticos en las casas terminan en cajas de distribución de fibra y el ONT está conectado con estas cajas de distribución. Es decir, que proporciona una conexión de co-acceso entre los dispositivos OLT (oficina central) y ONT (en el hogar).

Mientras el teléfono se conecta a los puertos ONT, las computadoras que se utilizarán en la conexión a Internet están conectadas a los puertos de enlace en casa (Home GateWay, HGW). Los cables con la menor capacidad posible se instalan entre edificios. Si es posible, se debe crear un punto de recolección de fibra (FCP) debajo de un edificio en el sitio. Los divisores ópticos se colocan en las cajas de distribución en los FCPs si hay un FPC en el sistema, o debajo del edificio si no es así.

En el caso de que muchos sitios terminen en la OLT ubicada en la misma oficina central, la salida de la central en los sitios debe hacerse desde la FPC. Se debe colocar un divisor de 1:32/1:16 en el sitio. La relación de división total de un puerto PON con central y divisores ópticos (splitters) debe ser un máximo de 1:64. Si se utiliza un dispositivo MDU en el sistema, se debe conectar un máximo de 32 MDU a un puerto PON. Tanto la ONT como MDU no deben conectarse al mismo puerto PON. Además, la pérdida total no debe exceder los 28 dB.

Los proveedores de servicio de internet (operadores de telecomunicaciones) brindan servicios con un máximo de 64 suscriptores conectados a un puerto OLT. La arquitectura de red de ejemplo de estos abonados GPON se muestra en la figura 3.6. Como puede verse en la figura 3.6, hay 2 asentamientos separados, el Edificio A y el sitio B, en la arquitectura GPON, donde se atiende a 64 suscriptores. Cada sitio tiene 32 suscriptores de GPON, y las velocidades de los canales upstream (ascendente) y downstream (descendente) del sistema implementado con OptiSystem son de 2.5 Gbps y 1.25 Gbps, respectivamente.

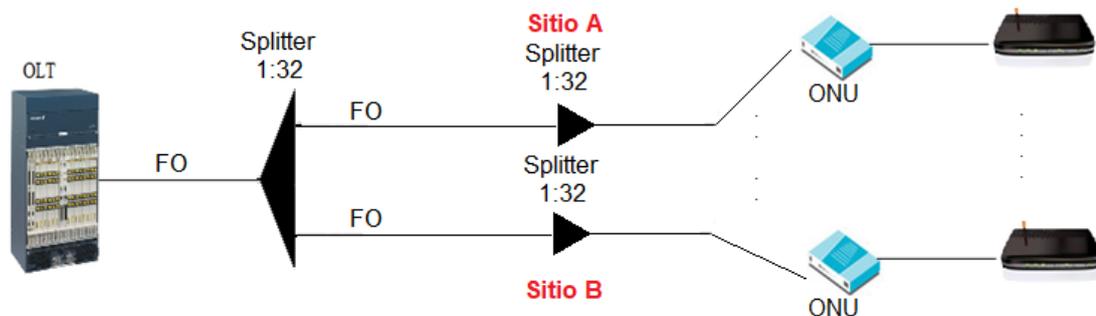


Figura 3. 6: Configuración del sistema GPON para 64 suscriptores.
Elaborado por: Autor.

3.3.3. Parámetros del sistema GPON – FTTH.

La tabla 3.4 muestra la configuración de los parámetros (velocidad de los canales downstream y upstream, potencia, longitud de onda y atenuaciones) de simulación del sistema GPON – FTTH que será modelado en el software OptiSystem.

Tabla 3. 4: Parámetros de simulación de la red GPON – FTTH.

Parámetros	Valores
Velocidad downstream	2.50 Gbps
Velocidad upstream	1.25 Gbps
Potencia (downstream y upstream)	50 mW
λ downstream	1490 nm
λ upstream	1310 nm
Longitud de fibra	5 km
Atenuación de la fibra (planta y edificio)	0.21 dB/km
Atenuación del splitter	3.01 dB
Atenuación adicional del divisor en sitio y edificio	15.05 dB

Elaborado por: Autor.

En el sistema GPON, las distancias de los sitios A y B a la central son 5.5 y 7 km, respectivamente. La figura 3.7 muestra el diseño del modelo de esta arquitectura GPON – FTTH prácticamente disponible utilizando el software de simulación OptiSystem 14.0.

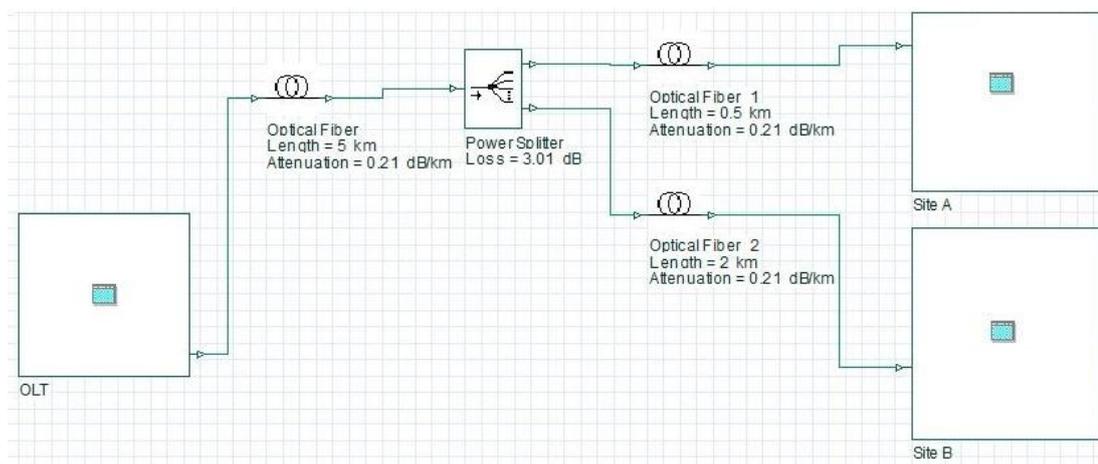


Figura 3. 7: Esquemático del modelo de canal descendente GPON.
Elaborado por: Autor.

El sistema propuesto en el modelo de simulación proporciona servicios a dos sitios, los sitios A y B. El Edificio A es un bloque de 7 pisos y contiene 32 suscriptores de GPON. El sitio B consta de 4 bloques y cada bloque tiene 4, 8, 15 y 5 suscriptores de GPON, respectivamente. El modelo de unidad OLT en el sistema GPON se muestra en la figura 3.8.

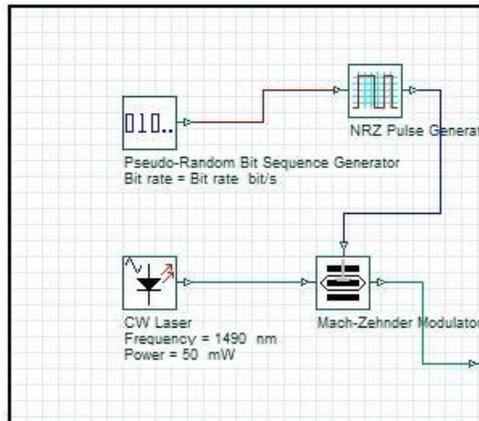


Figura 3. 8: Esquemático del modelo de unidad GPON OLT.
Elaborado por: Autor.

La parte del transmisor en la aplicación es un diseño OLT. Dado que la transmisión de datos es bidireccional en GPON, la estructura interna de la ONU consta de una parte transmisora y una receptora.

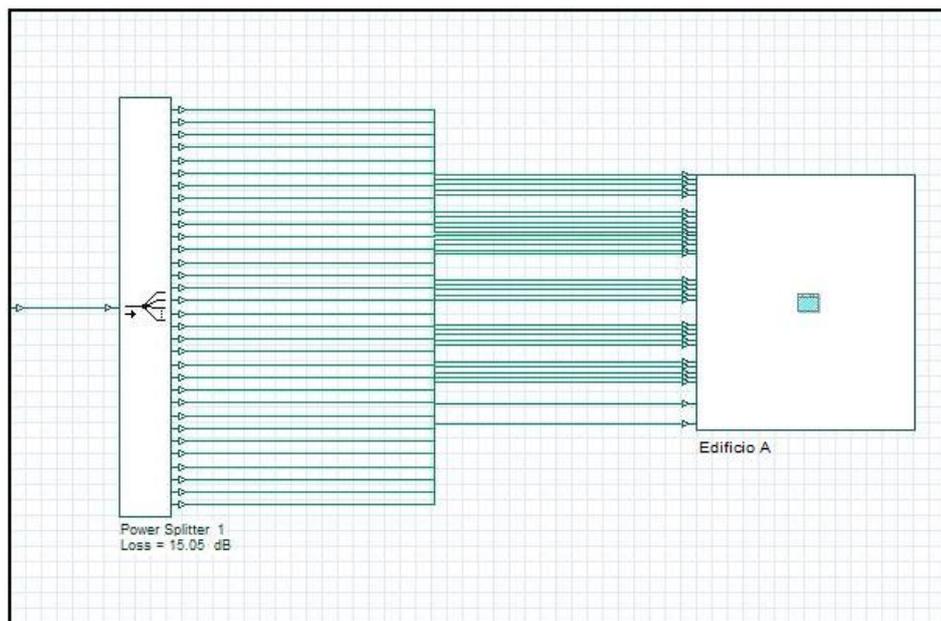


Figura 3. 9: Estructura del divisor óptico 1:32 ubicada en el edificio A.
Elaborado por: Autor.

En el sistema GPON, la línea principal de distribución de fibra es de 5 km. El divisor óptico 1: 2 ubicado entre la central y los sitios A y B están a 500 m y 2 km, respectivamente. El divisor óptico 1:32 colocado debajo del edificio distribuye fibra a los suscriptores en todos los pisos. La distancia de los abonados en el primer piso del Edificio A al divisor óptico 1:32 es de 10 m, y la distancia de los abonados en el último piso al divisor óptico es de 40 m. La figura 3.9 muestra la estructura del divisor óptico 1:32 en el edificio A.

La figura 3.10 muestra la distribución de suscriptores en el Edificio A según los pisos ya descritos. El primer suscriptor en el primer piso del Edificio A se llama ONU1 y el primer suscriptor en el séptimo piso se llama ONU2, y estos suscriptores serán examinados de acuerdo con varios análisis en el software OptiSystem.

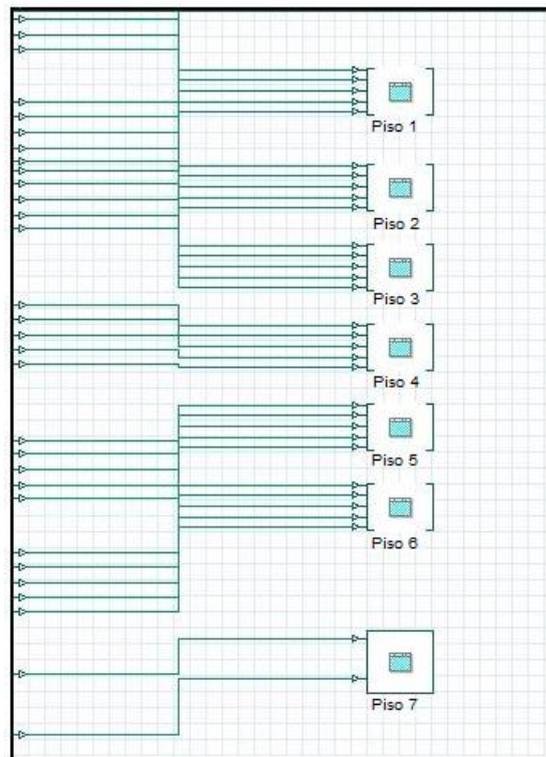


Figura 3. 10: Distribución de abonados según pisos en el edificio A.
Elaborado por: Autor.

En el sistema GPON, los dispositivos ONU se ubican directamente en las casas de los usuarios. Las estructuras internas de la ONU de los suscriptores ONU1 y ONU2 se muestran en las figuras 3.11 y 3.12, respectivamente.

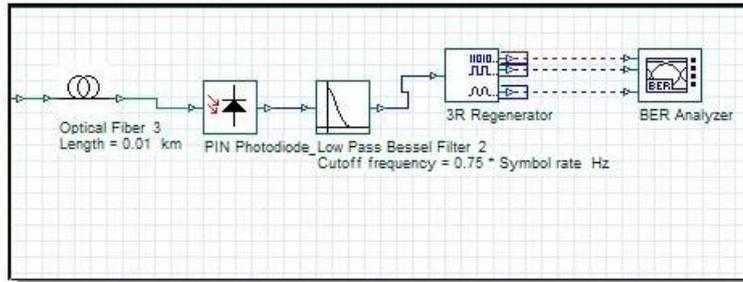


Figura 3. 11: Estructura ONU del suscriptor 1 (ONU1).
Elaborado por: Autor.

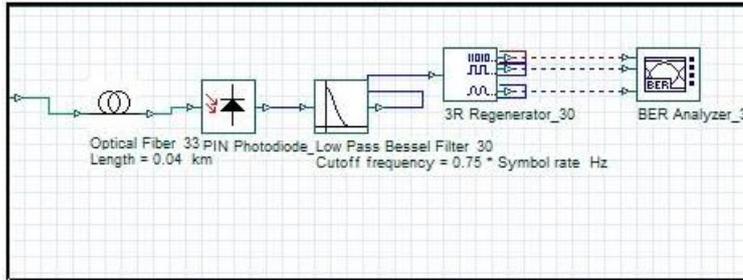


Figura 3. 12: Estructura ONU del suscriptor 2 (ONU2).
Elaborado por: Autor.

En el sistema GPON, el sitio B consta de 4 bloques (3 edificios y 1 oficina) diferentes y el divisor óptico 1:32 se coloca en un punto de la región del sitio. Las distancias de los bloques al divisor óptico 1:32 son de 0.5 km, 1 km, 0.7 km y 0.9 km, respectivamente. La figura 3.13 muestra la estructura del divisor óptico 1:32 en el sitio B.

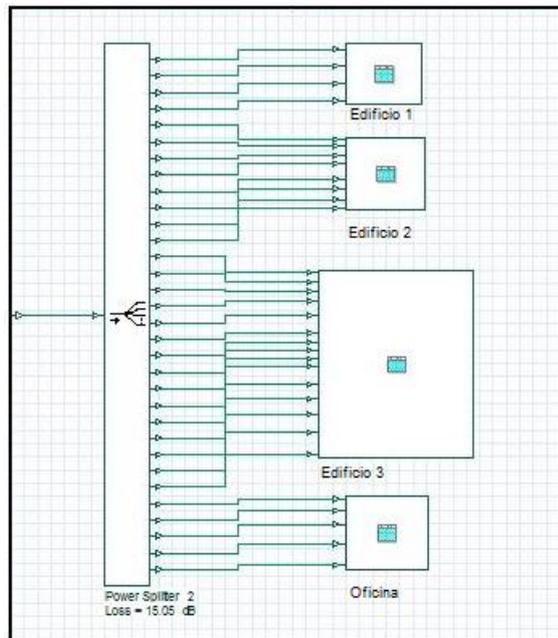


Figura 3. 13: Estructura del divisor óptico 1:32 ubicada en el sitio B.
Elaborado por: Autor.

El suscriptor de GPON en el primer piso del edificio 1 en el sitio B se llama ONU3 y el suscriptor de GPON en el primer piso del bloque de oficinas se llama ONU4. Las estructuras internas de ONUs de los suscriptores ONU3 y ONU4 se muestran en las figuras 3.14 y 3.16. La distribución de los suscriptores del bloque de oficinas del sitio B por pisos se muestra en la figura 3.15.

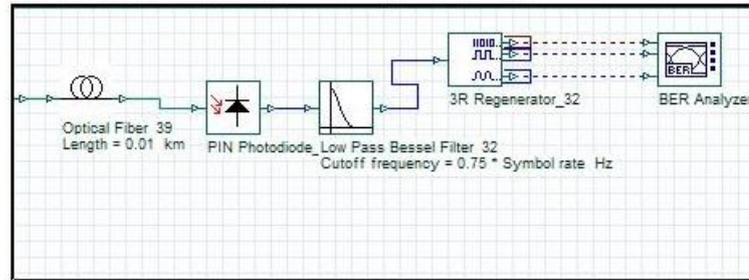


Figura 3. 14: Estructura ONU del suscriptor 4 (ONU4).
Elaborado por: Autor.

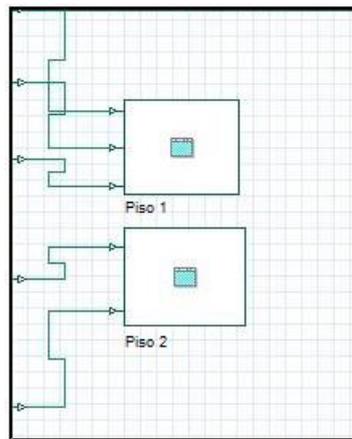


Figura 3. 15: Distribución de suscriptores del bloque de oficinas del sitio B por pisos.
Elaborado por: Autor.

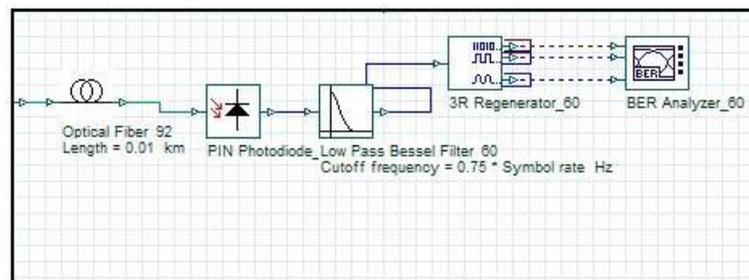


Figura 3. 16: Estructura ONU del suscriptor 5 (ONU5).
Elaborado por: Autor.

En los análisis, se obtuvieron inferencias como resultado de examinar el comportamiento de ONU1 y ONU2 en el Edificio A y de los suscriptores de ONU3 y ONU4 en el sitio B según diversas características. En el modelo GPON de ejemplo, se utiliza la técnica WDM en sentido ascendente. Los análisis de la tasa de error de bits (BER) se realizaron cambiando la distancia de la línea de fibra principal y el número de suscriptores activos en el sistema. La arquitectura de red para el tráfico ascendente se muestra en la figura 3.17.

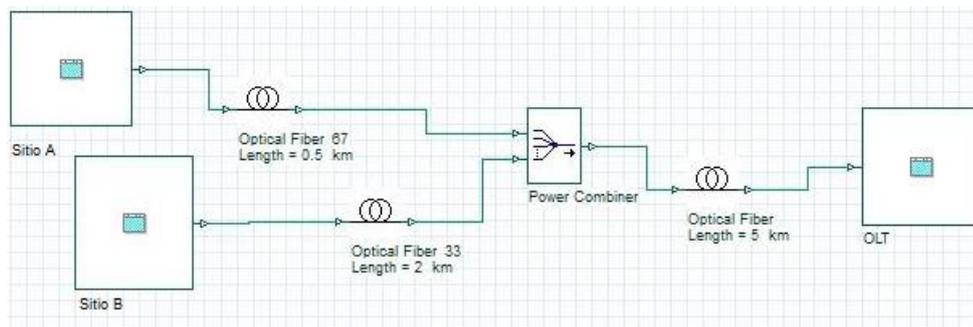


Figura 3. 17: Esquemático del modelo de canal ascendente GPON.
Elaborado por: Autor.

En el modelo GPON de canal ascendente, el multiplexor WDM está conectado a los suscriptores en ambos sitios y la asignación de longitud de onda se realiza para todos los suscriptores. Por lo tanto, se garantiza el uso más eficiente del tráfico ascendente. Las conexiones de los sitios A y B al multiplexor WDM se muestran en las figuras 3.18 y 3.19.

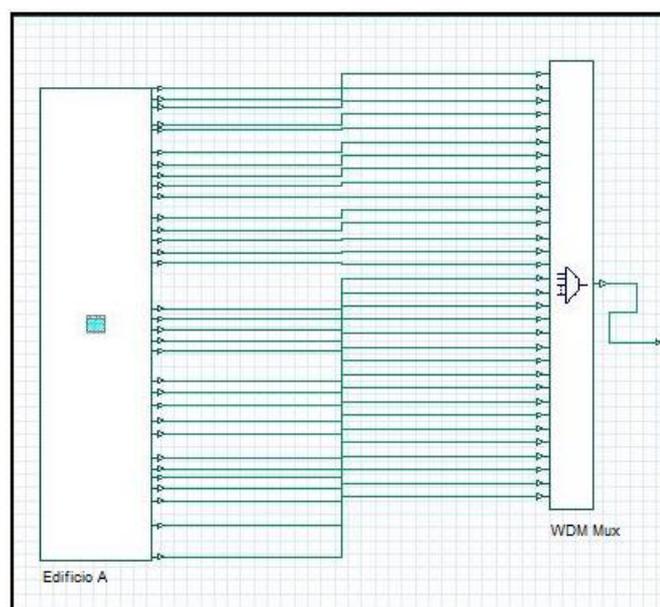


Figura 3. 18: Representación de conexión entre Edificio A y multiplexor WDM.

Elaborado por: Autor.

En el método WDM aplicado para el canal ascendente, las longitudes de onda aproximadas a las que pueden acceder se asignan a cada abonado (64 usuarios). El rango de 1310 a 1310.99 nm se comparte para 64 abonados y los abonados utilizan el canal ascendente de forma más activa. Las longitudes de onda asignadas a los abonados se muestran en la figura 3.20.

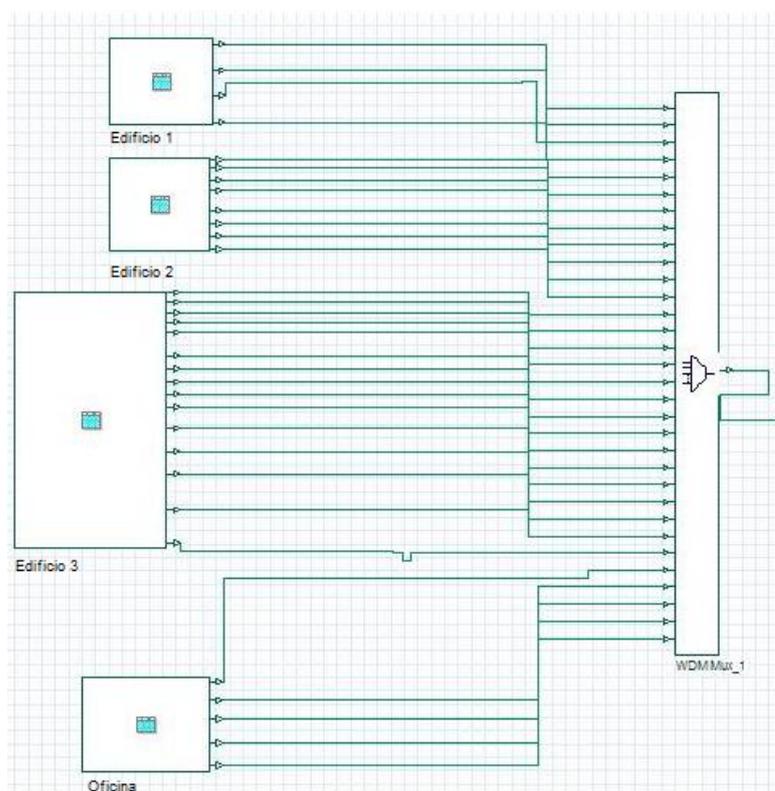


Figura 3. 19: Representación de conexión entre Sitio B y multiplexor WDM.
Elaborado por: Autor.

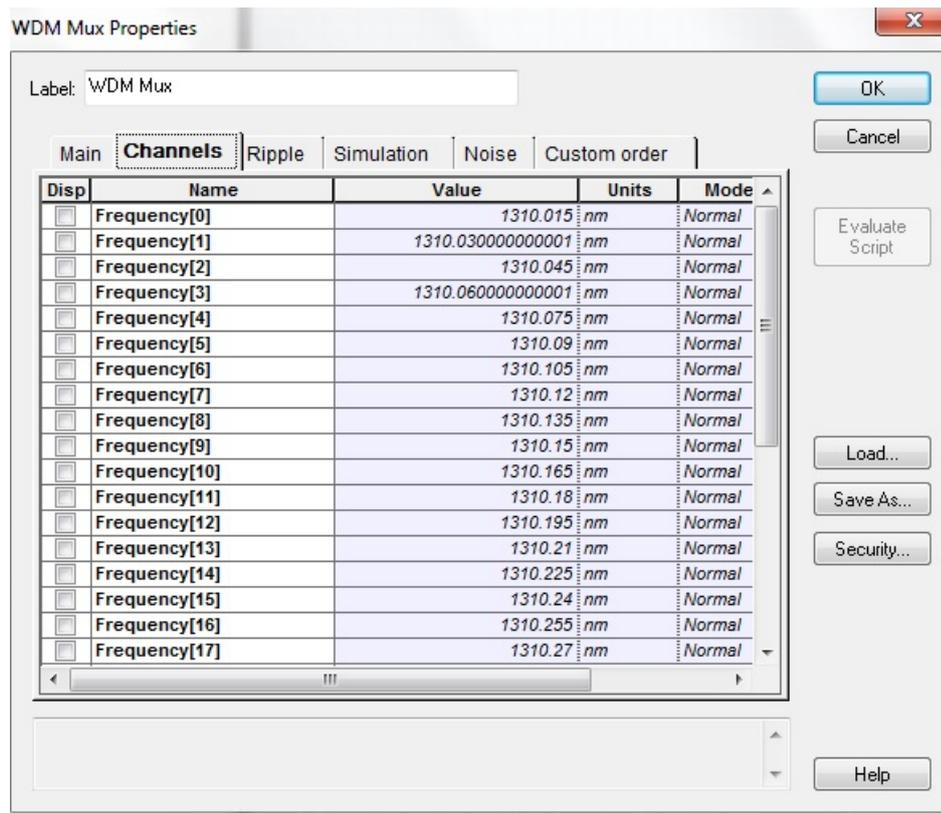


Figura 3. 20: Asignación de longitud de onda a suscriptores de sistema GPON.
Elaborado por: Autor.

En la siguiente sección, se modifican las variables de la tasa de bits, las longitudes de onda de las fibras, la potencia de entrada y los números de abonados activos con respecto al modelo propuesto FTTH – GPON, se cuestiona cómo el sistema se ve afectado por esta situación y se examinan los diagramas de ojo mediante diagramas de tasa de error de bits (BER). Las estructuras del diagrama de ojo son un poderoso método de medición para evaluar la capacidad de transmisión de datos de un sistema de transmisión digital, y las distorsiones en la onda se pueden ver fácilmente en el osciloscopio.

3.4. Discusión de los resultados obtenidos del sistema FTTH-GPON.

En esta sección, se incluyen los resultados de análisis y simulación del modelo FTTH-GPON propuesto, y se hacen varias inferencias al examinar estos resultados. Las figuras 3.21 y 3.22 muestran los diagramas de análisis de espectro óptico obtenidos para los canales descendente y ascendente, respectivamente.

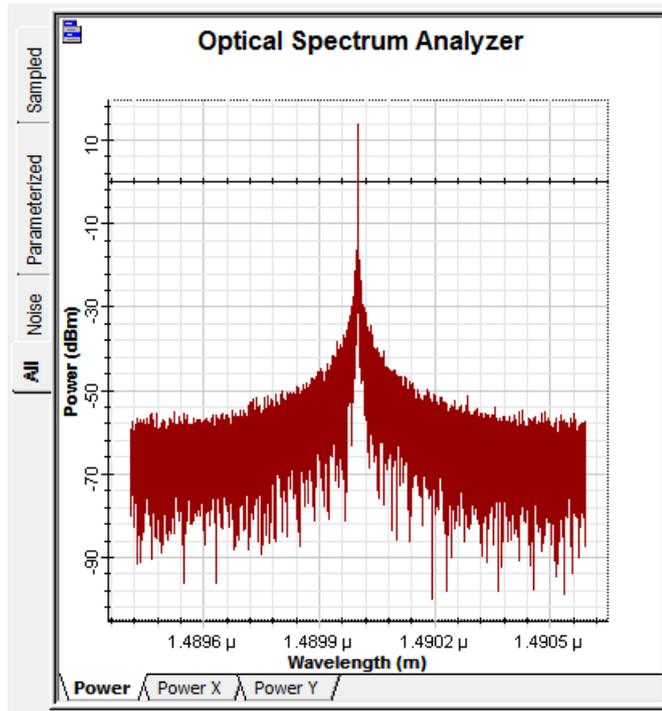


Figura 3. 21: Gráfica del analizador de espectro óptico en la OLT.
Elaborado por: Autor.

Como se observa en las figuras 3.23 y 3.24, la potencia máxima se obtiene a una longitud de onda de 1490 nm en el canal descendente y 1310 nm provenientes del canal ascendente, y la potencia disminuye a medida que avanza hacia otras longitudes de onda. Este es un análisis que prueba la precisión del sistema.

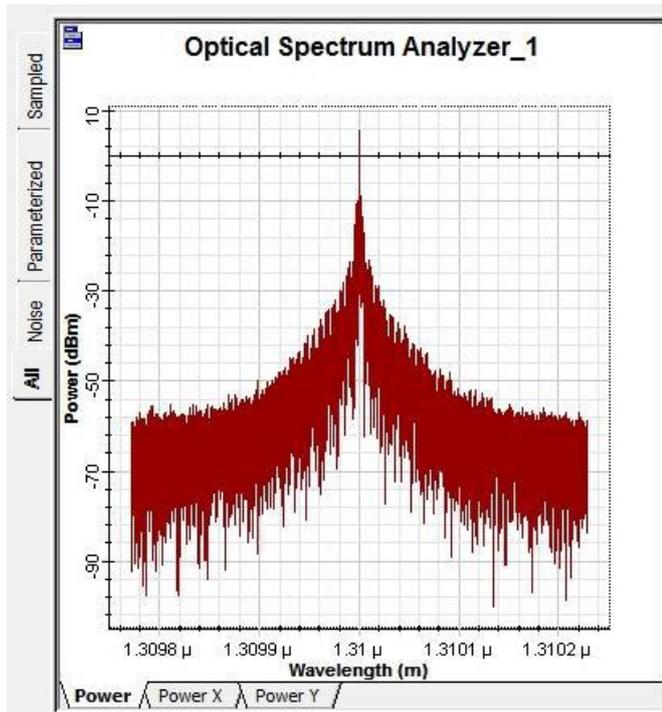


Figura 3. 22: Gráfica del analizador de espectro óptico del suscriptor 1 (ONU1).
Elaborado por: Autor.

El diagrama de ojo del suscriptor ONU1 a una distancia de la línea de fibra principal de 5 km y una velocidad de transmisión del canal descendente de 2.5 Gbps se muestra en la figura 3.23. El cambio en los factores de calidad (Q) de los suscriptores ONU1, ONU2, ONU3, ONU4 como resultado de cambiar la longitud de la línea de fibra principal a 5, 10, 15, 20 km en el sistema GPON tal como se muestra en la tabla 3.5.

Como se ve en la tabla 3.5, el factor de calidad máxima disminuye a medida que aumenta la longitud de la fibra en el sistema. En caso de que la longitud de la fibra aumente a 25 km, se ha observado que los factores Q de los suscriptores son cero. Un factor Q de cero significa que la tasa de error de bit es 1 y teóricamente significa que los datos no llegan al usuario.

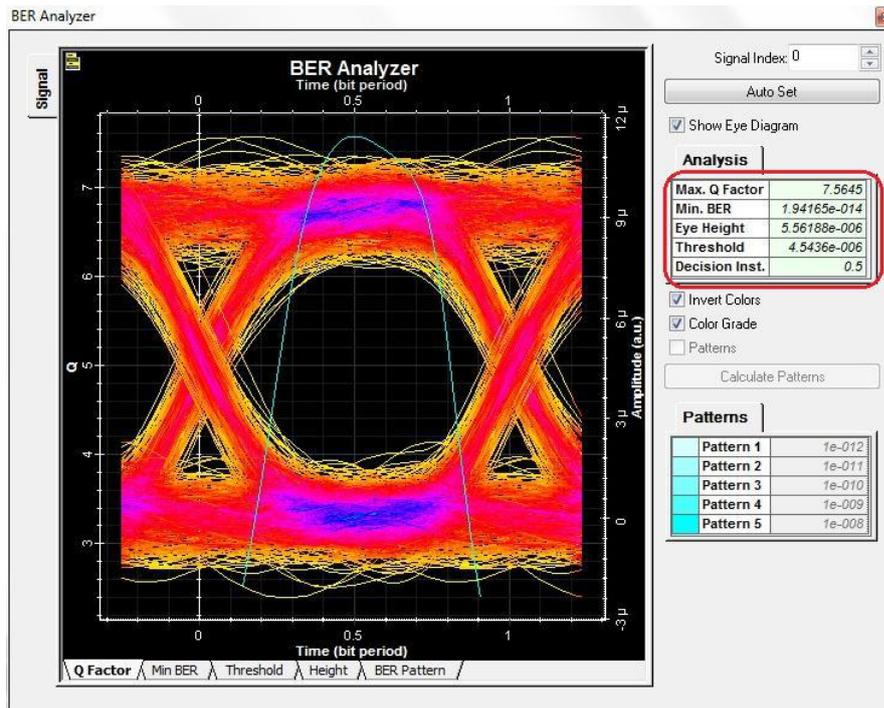


Figura 3. 23: Diagrama de ojo del suscriptor 1 para una longitud de 5 km de fibra óptica.

Elaborado por: Autor.

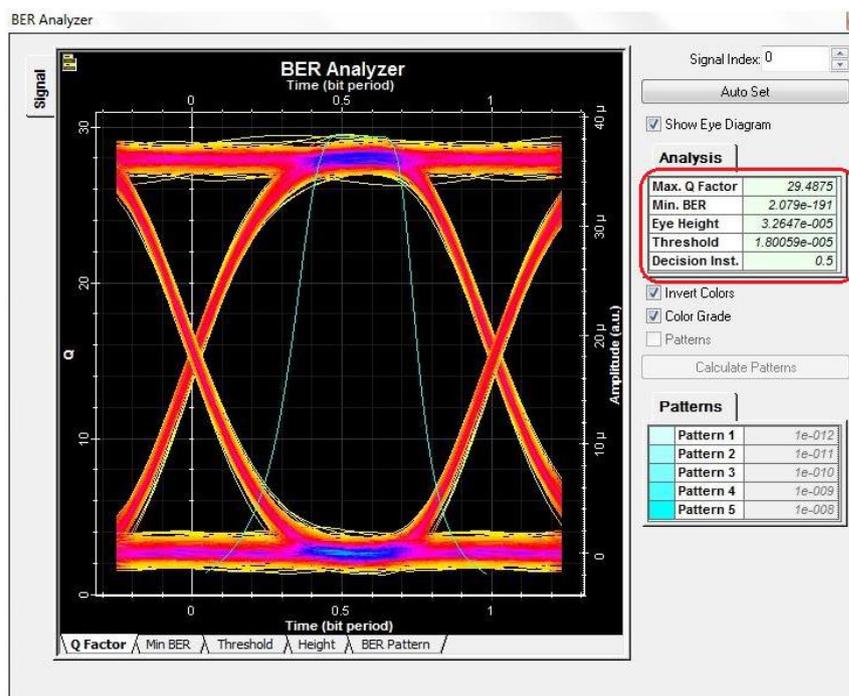
Tabla 3. 5: Resultados de la variación del factor Q de las ONU con la longitud de la fibra.

Parámetros	Longitud de la fibra
------------	----------------------

Tasa de bits (Gbps)	Suscriptor	5 km	10 km	15 km	20 km
2.5	ONU1	7.56	5.62	4.47	3.63
2.5	ONU2	7.20	5.53	4.28	3.51
2.5	ONU3	6.95	5.31	4.20	3.37
2.5	ONU4	6.74	5.15	4.03	3.19

Elaborado por: Autor.

En este sistema GPON con 64 suscriptores, se ve que el factor de calidad es bajo debido al alto número de suscriptores. Los diagramas de ojo de los suscriptores de ONU1 y ONU2 se muestran en la figura 3.24 si solo el Edificio A proporciona acceso activo al sistema, es decir, hay 32 suscriptores en el sistema.



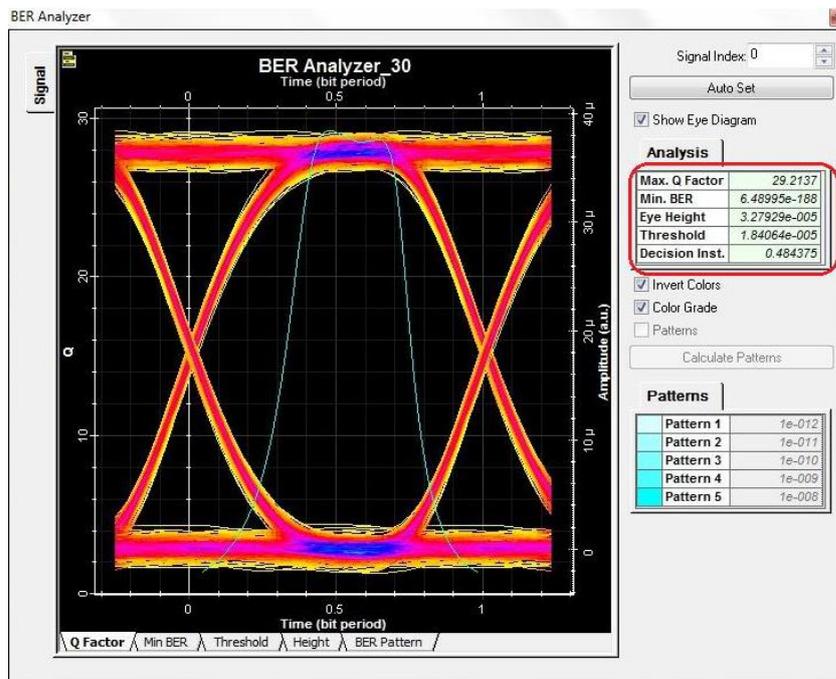


Figura 3. 24: Diagramas de ojo de los suscriptores de ONU1 y ONU2 si 32 suscriptores están activos en el sistema.

Elaborado por: Autor.

Como puede verse en los diagramas de ojo, cuando el número de abonados activos en el sistema se reduce a la mitad, los valores del factor de calidad de los abonados ONU1 y ONU2 han aumentado en aproximadamente un 310% y los diagramas de ojo se han vuelto más claros.

Los diagramas de factor de calidad y BER del suscriptor 1 se muestran en la figura 3.25 y 3.26 como resultado de cambiar la velocidad del canal descendente a 1.25 Gbps y 2.0 Gbps, respectivamente, tomando la longitud de la línea de fibra principal de 5 km como referencia en el sistema GPON propuesto.

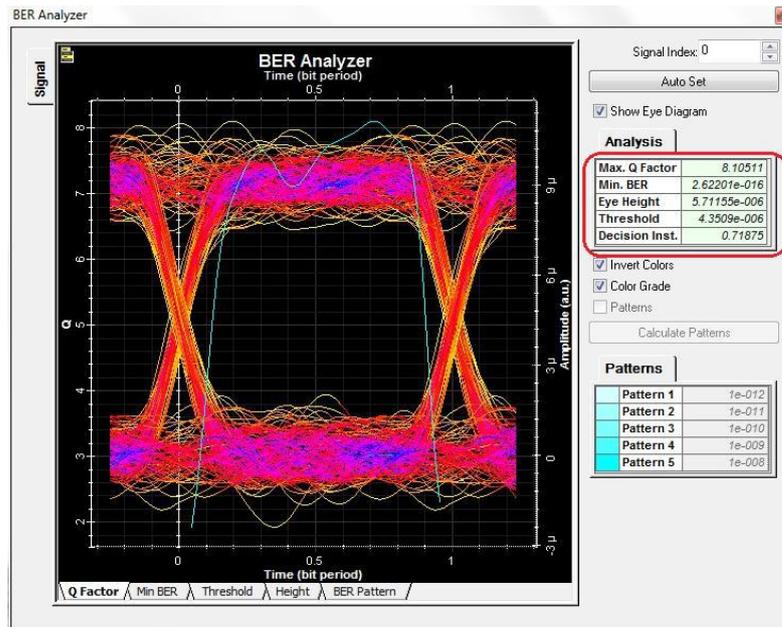


Figura 3. 25: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con velocidad de canal descendente de 1.25 Gbps para una distancia de 5 km.
Elaborado por: Autor.

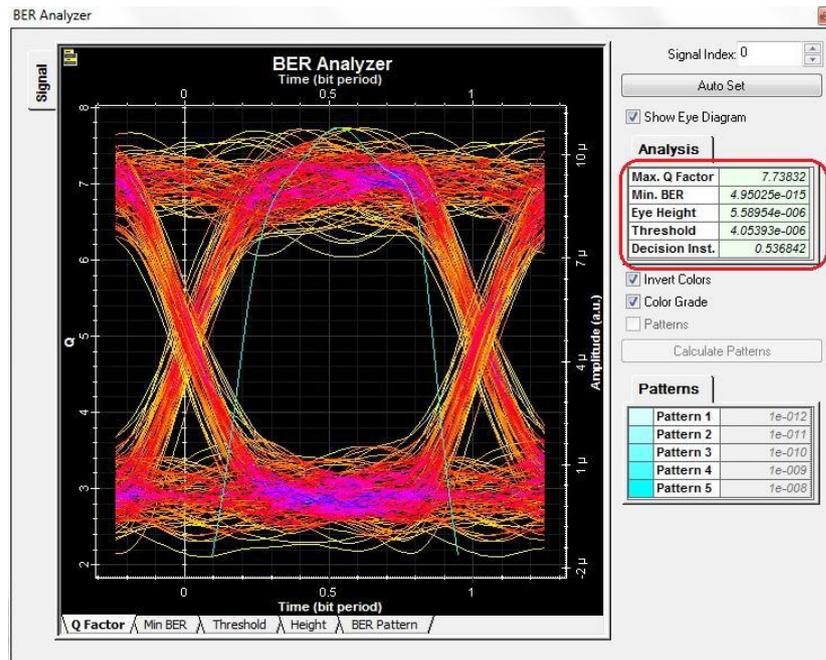


Figura 3. 26: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con velocidad de canal descendente de 2 Gbps para una distancia de 5 km.
Elaborado por: Autor.

En la figura 3.27 se muestra el factor Q máximo que disminuye dependiendo del aumento en la velocidad del canal descendente. Esto es el resultado de modificar la potencia de entrada a 60, 70 y 100 mW en el sistema GPON propuesto. Las figuras 3.28, 3.29 y 3.30 muestran los diagramas de ojo del suscriptor 1 para las potencias ya descritas.

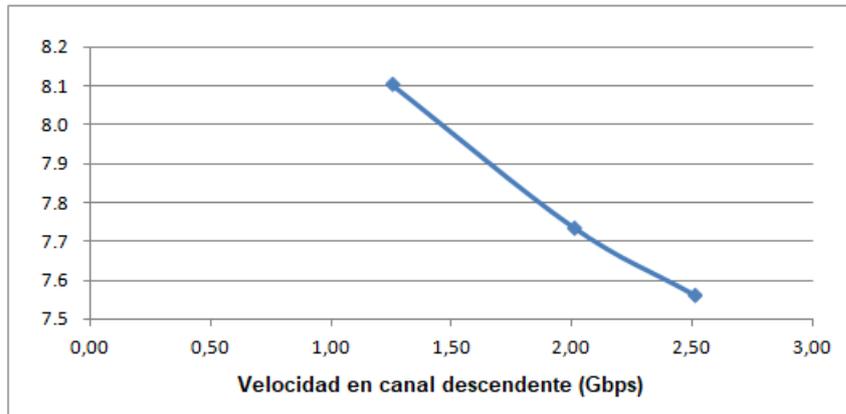


Figura 3. 27: Cambio del factor Q con relación a la velocidad del canal descendente.

Elaborado por: Autor.

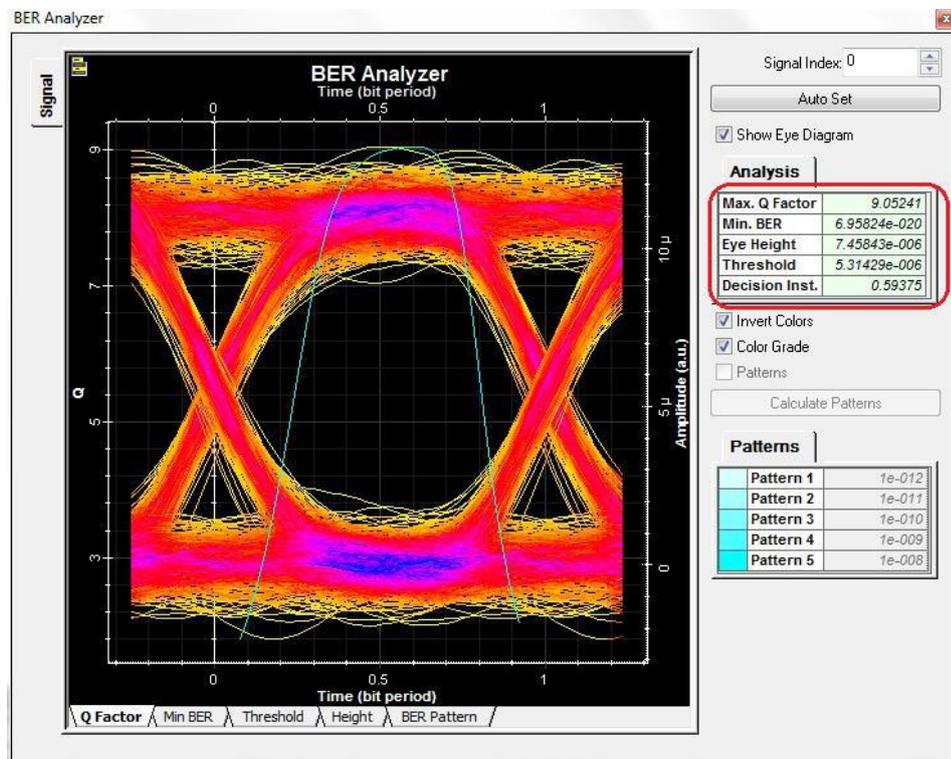


Figura 3. 28: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 60 mW.

Elaborado por: Autor.

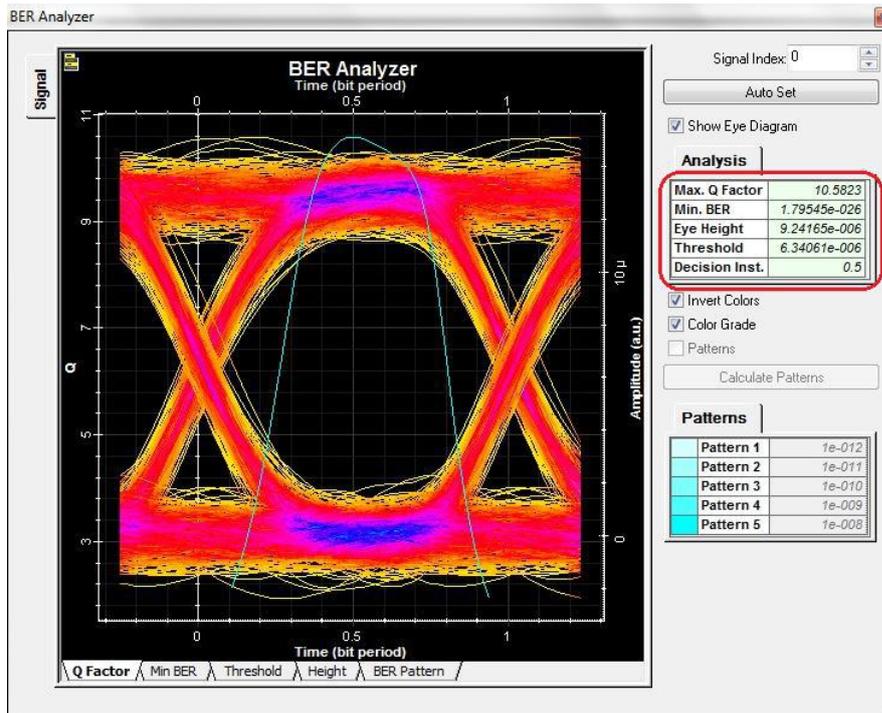


Figura 3. 29: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 70 mW.
Elaborado por: Autor.

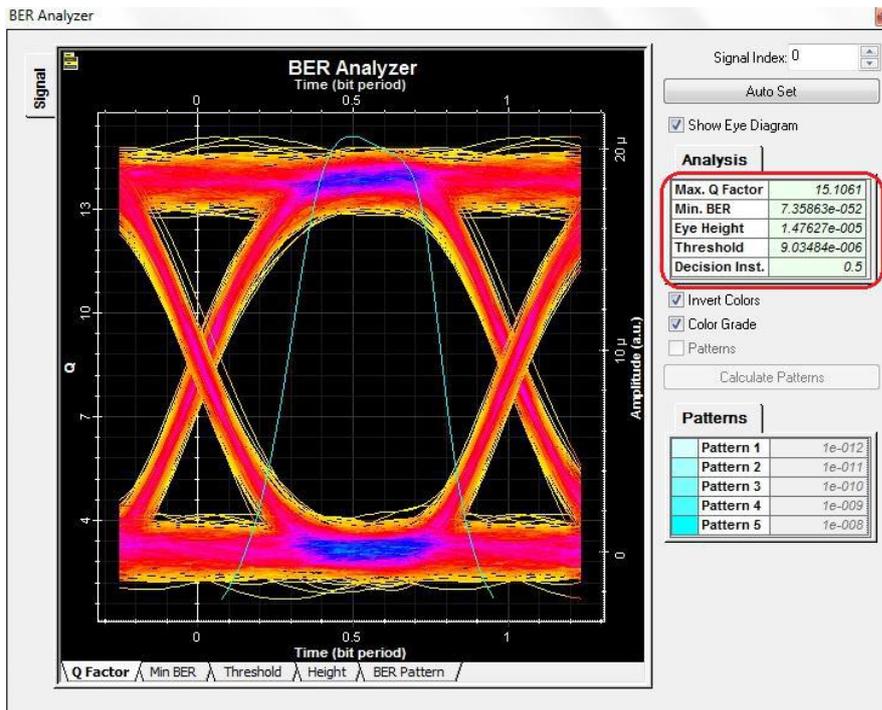


Figura 3. 30: Diagrama de ojo del suscriptor 1 con una potencia de 100 mW.
Elaborado por: Autor.

En el caso de aumentar la potencia de entrada en el sistema GPON, el factor de calidad máximo aumenta como se ve en los diagramas de ojo del suscriptor 1. El factor que provoca el aumento del factor de calidad es el

aumento de la potencia transferida a los abonados con el aumento de la potencia de entrada.

Para el modelo GPON propuesto, se examina el comportamiento del sistema de acuerdo con varias características a lo largo del canal ascendente, como los resultados de la simulación del canal descendente. La figura 3.31 muestra el diagrama de ojo obtenido como resultado de tomar la distancia de la línea principal de fibra de 5 km a lo largo del canal ascendente donde se aplica el método WDM.

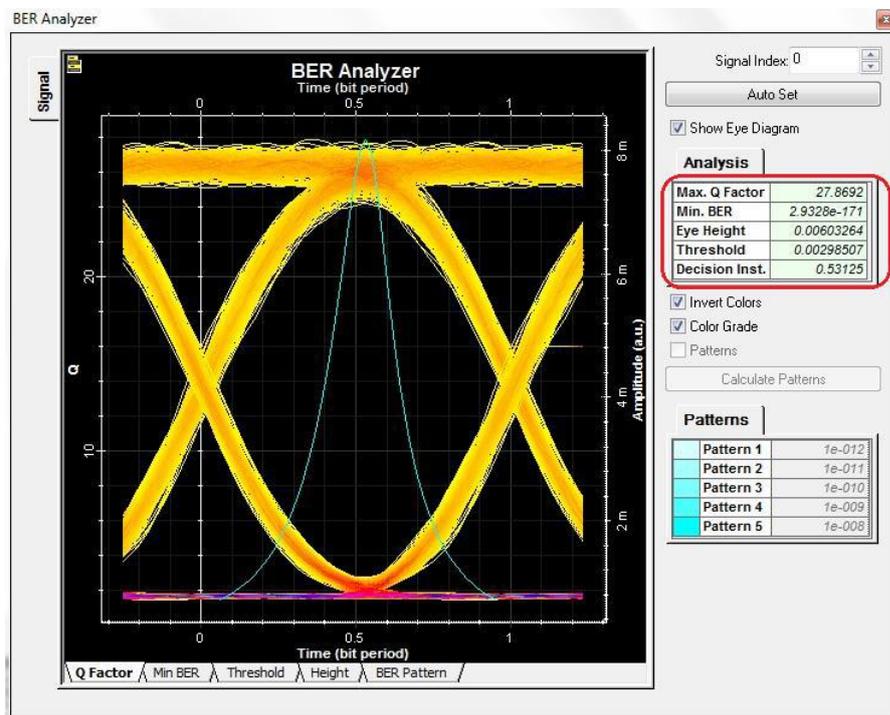


Figura 3. 31: Gráfica de BER de la OLT de canal ascendente.
Elaborado por: Autor.

El cambio en el factor de calidad como resultado de cambiar la distancia de la línea de fibra principal a lo largo del canal ascendente a 10, 15 y 20 km se muestra en la figura 3.32. Como puede verse en el gráfico, el factor de calidad disminuye dependiendo del aumento de la distancia de la fibra a lo largo del canal ascendente. Los factores de calidad para el canal ascendente son más altos que para el canal descendente. Dependiendo del cambio en la distancia de la línea de fibra principal en el canal ascendente donde se usa la tecnología WDM, el factor de calidad disminuyó a tasas más bajas en comparación con el canal descendente. El diagrama de ojo

obtenido cuando el número de suscriptores se reduce a la mitad tomando la distancia de la línea de fibra principal de 5 km como referencia para el tráfico ascendente en el sistema GPON se muestra en la figura 3.33.

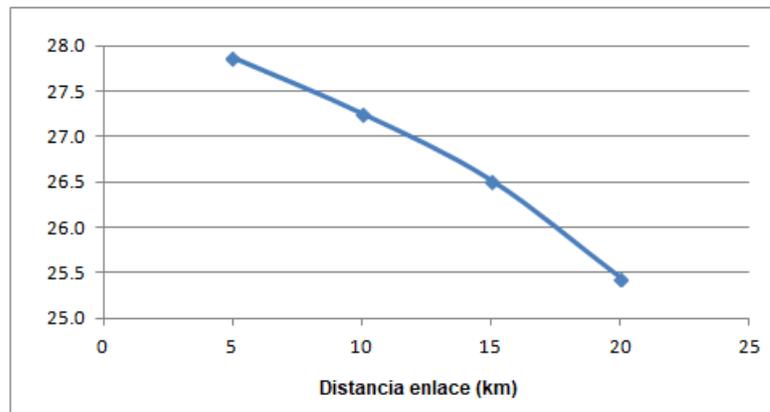


Figura 3. 32: Cambio del factor Q con relación a la distancia del enlace.
Elaborado por: Autor.

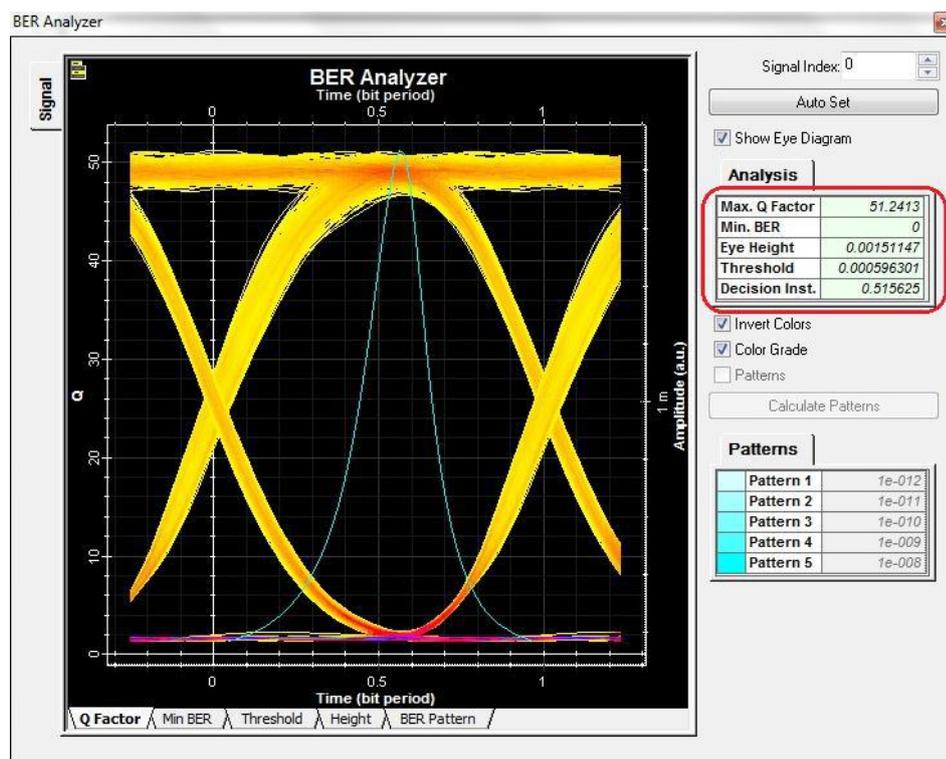


Figura 3. 33: Gráfica de BER de canal ascendente con 32 clientes activos.
Elaborado por: Autor.

Como resultado de reducir a la mitad el número de suscriptores a lo largo del canal ascendente, el factor Q se incrementó en un 88%. Finalmente, para examinar el efecto amplificador en el sistema GPON propuesto, se modifica el valor de ganancia del elemento amplificador óptico

en 5 dB ubicado justo detrás de la estructura del transmisor y el ruido en 4 dB. La razón para elegir estos valores es eliminar el efecto de las pérdidas de fibra óptica de 1 dB en el sistema.

En el modelo GPON, se observó que las estructuras oculares fueron completamente destruidas a una distancia de 25 km en la transmisión a lo largo del canal descendente y el factor de calidad fue cero. En la misma situación, en la figura 3.34 se muestra el cambio en el diagrama de ojo del suscriptor 1 en caso de utilizar un amplificador óptico.

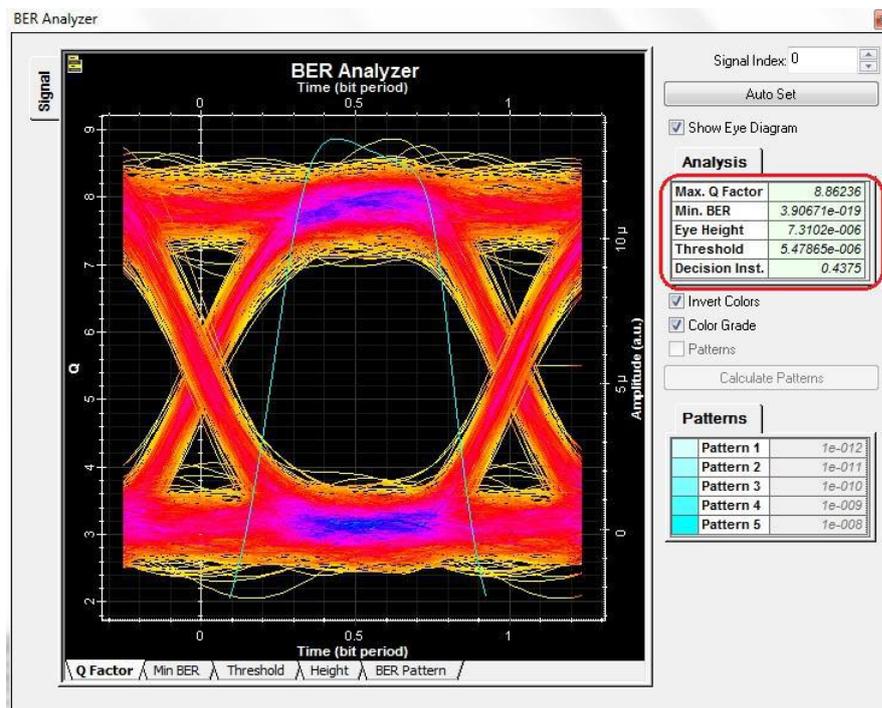


Figura 3. 34: Efecto del amplificador en el rendimiento del sistema.
Elaborado por: Autor.

En el primer caso, el factor de calidad fue 0 y pasó a 8.86 gracias al amplificador. Con el uso de amplificador óptico, el valor máximo del factor Q del sistema ha aumentado. Esto tuvo un efecto positivo en la eficiencia del sistema. Si se aumenta la ganancia del amplificador, su efecto sobre la eficiencia del sistema aumentará gradualmente.

Conclusiones

- ✚ Los tipos de redes de acceso óptico se han examinado en detalle y se ha llegado a la conclusión de que las redes de acceso punto a multipunto requieren un costo menor que otras topologías de red. Se examinan las arquitecturas de distribución óptica en aplicaciones FTTx, tanto pasivas como activas, y se explica el equipo técnico utilizado en estas arquitecturas. Se concluye que las arquitecturas GPON, un estándar PON avanzado, tienen componentes actualizables simples para aplicaciones futuras que requieren un gran ancho de banda.
- ✚ Finalmente, con la información teórica obtenida, se realizaron aplicaciones con el programa de simulación OptiSystem 13.0 y se realizaron análisis según diversos parámetros. La aplicación FTTH se realizó con GPON, que es una estructura de red óptica pasiva. Se investigaron los efectos de la velocidad de transmisión de bits y la distancia de la fibra en el sistema. En la práctica, cuando se aumenta la longitud de la fibra, el factor de calidad del sistema GPON disminuye y se produce un deterioro en las muestras de ojos en el diagrama BER.
- ✚ La importancia de los resultados obtenidos radica en que las características de las que depende el rendimiento del sistema GPON prácticamente utilizado se comprueban mediante datos numéricos. Aprovechando los resultados obtenidos, se pueden continuar los estudios para aumentar el rendimiento del sistema utilizando diferentes técnicas de acceso y diferentes estructuras de fibra óptica en FTTH GPON u otros modelos de red óptica pasiva.

Recomendaciones

- ✚ Diagnóstico eficaz de las redes PON con Ethernet de nivel de operador y WDM-PON
- ✚ Análisis del rendimiento de la red óptica pasiva (PON) híbrida WDM-TDM utilizando OptiSystem.

Bibliografía

- Burgos, C., & Pio, J. (2017). Diseño de una red de acceso FTTH utilizando el estándar GPON para la empresa AMITEL S.A.C, Puno. *Universidad Nacional del Altiplano*.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/3859>
- Castellanos Casas, J. S., Rojas Piña, C. S., & Puerto Leguizamón, G. A. (2018). Diseño de una red óptica pasiva bidireccional con particionamiento espectral de una fuente de banda ancha. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo; Volumen 18, número 1 (Enero-Junio 2018)*. <https://doi.org/10.19053/1900771X.v18.n1.2018.7852>
- Farmer, J., Lane, B., Bourg, K., & Wang, W. (2017a). GPON. En *FTTx Networks* (pp. 51–68). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420137-8.00004-4>
- Farmer, J., Lane, B., Bourg, K., & Wang, W. (2017b). Performance Management. En *FTTx Networks* (pp. 377–401). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-420137-8.00016-0>
- Horvath, T., Munster, P., Oujezsky, V., & Bao, N.-H. (2020). Passive Optical Networks Progress: A Tutorial. *Electronics*, 9(7), 1081. <https://doi.org/10.3390/electronics9071081>
- Indio, D., & Gonzalo, E. (2020). *ESTUDIO DE UNA RED ADMINISTRABLE PARA MEJORAR LA COMUNICACIÓN ENTRE EL CENTRO DE DATOS Y EL EDIFICIO “LA CASONA” DE LA UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABÍ*.
<http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/2578>
- López, M. A. M., Tovar, A. T., Agredo, G. A. G., & Velasco, I. F. (2019). Estudio de factibilidad técnico—Económico para la implementación de

una red FTTH/GPON en el contexto colombiano para servicios Triple Play. *Perspectiv@s*, 15(16), 50–63.

Moreno Mejías, E. (2019). Migración a redes de acceso de banda ancha en reparto Abel Santamaría. Isla de la Juventud. 32. <http://dspace.uclv.edu.cu:8089/xmlui/handle/123456789/10680>

Naeem, A., Shafique, S., Ahmad, S., Safwan, N., Awan, S., & Khan, F. (2019). Techno-economic planning with different topologies of Fiber to the Home access networks with Gigabit Passive Optical Network technologies. *Journal of Mechanics of Continua and mathematical sciences*, 14(4), 595–612.

Ricciardi, S., Santos-Boada, G., Careglio, D., & Domingo-Pascual, J. (2012). GPON and EP2P: A techno-economic study. *2012 17th European Conference on Networks and Optical Communications*, 1–6. <https://doi.org/10.1109/NOC.2012.6249954>

Rosas Leiva, H. J. (2021). Diseño de una red FTTH basado en arquitectura GPON para la ciudad de Huacho. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*. <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/4515>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

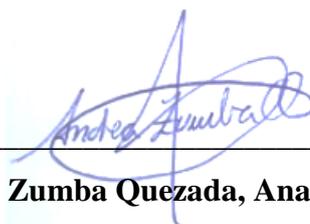
Yo, **Zumba Quezada, Ana Andrea** con C.C: # 092546414-1 autor del trabajo de titulación: Evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 23 de noviembre del 2021

f. _____



Nombre: **Zumba Quezada, Ana Andrea**

C.C: 092546414-1

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda utilizado en redes ópticas pasivas		
AUTOR(ES)	Zumba Quezada, Ana Andrea		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando; M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor Armando; M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	Guayaquil, 23 de noviembre del 2021	No. DE PÁGINAS:	69
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Inalámbricas, Teoría de la Comunicación		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Multiplexación, Divisor, Transmisión, GPON, Redes, WDM.		
RESUMEN/ABSTRACT:	<p>En el presente trabajo de maestría se realiza la evaluación del rendimiento del sistema de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) utilizado en redes ópticas pasivas (PON). El propósito de este trabajo fue describir las tecnologías PON estándar y tecnologías PON de próxima generación en términos de capacidad para proporcionar una tasa de transmisión descendente de 2.5 Gbps y ascendente de 1.25 Gbps. Las relaciones de división óptica (splitter) seleccionadas para las diferentes tecnologías se muestran como la única solución factible para satisfacer los acuerdos mínimos de nivel de servicio requeridos. En esta topología GPON se considera la tecnología WDM para suscriptores residenciales con una relación de 1:32. Los resultados muestran que, aunque la multiplexación por división de tiempo (WDM) es la solución más económica cuando el número de abonados no es dominante. La tecnología WDM es la alternativa más conveniente para las altas relaciones de abonados en la PON.</p>		
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593 99 102 0220	E-mail: andreazumba22@gmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			