



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA
PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto
usando la tecnología GPON-FTTH**

AUTOR:

Cordero Pinos, Xavier Alejandro

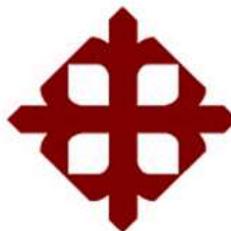
Componente práctico del examen complejo previo a la
obtención del grado de **INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

REVISOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

13 de mayo del 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **componente práctico del examen complejo**, fue realizado en su totalidad por **Cordero Pinos, Xavier Alejandro** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

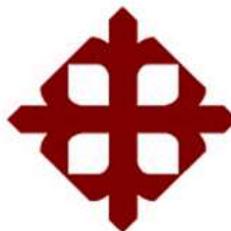
REVISOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Heras Sánchez, Miguel Armando

Guayaquil, a los 13 días del mes de mayo del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Cordero Pinos, Xavier Alejandro**

DECLARÓ QUE:

El componente práctico del examen complejo, Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH, 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.

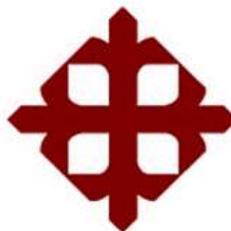
En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 13 días del mes de mayo del año 2022

EL AUTOR

Xavier Cordero

CORDERO PINOS, XAVIER ALEJANDRO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Cordero Pinos, Xavier Alejandro**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del **componente práctico del examen complejo, Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH** cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 13 días del mes de mayo del año 2022

EL AUTOR

Xavier Cordero

CORDERO PINOS, XAVIER ALEJANDRO

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, document details are displayed: **Documento**: Cordero_Xavier_EC.docx (D136119034); **Presentado**: 2022-05-10 16:01 (-05:00); **Presentado por**: fernandopm23@hotmail.com; **Recibido**: edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com; **Mensaje**: Revisión EC del estudiante Xavier Cordero. A green box highlights '9%' and text indicates that 18 pages are composed of text from 0 sources. On the right, the 'Lista de fuentes' (List of sources) is shown with columns for 'Categoría' and 'Enlace/nombre de archivo'. Sources include links to repositories and PDF files like 'QUEHUIRI_TESIS.pdf' and 'Sarmiento_Jameson.pdf'. A 'Fuentes alternativas' section is also visible. The bottom of the interface features navigation icons and buttons for 'Advertencias', 'Reiniciar', and 'Compartir'.

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERIA

EN TELECOMUNICACIONES

TEMA: Modelo de simulación de un enlace punto a
multipunto usando la tecnología GPON-FTTH

AUTOR: Cordero Pinos, Xavier Alejandro

Componente práctico del examen complejo

previo a la obtención del grado de INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES

REVISOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador 12 de mayo del 2022

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi abuelo quien en vida fue mi ejemplo a seguir y mi fortaleza, quien supo enseñarme que con esfuerzo y perseverancia puedes lograr cualquier cosa. A mis familiares y amigos que fueron un apoyo constante en mi formación académica. A mis profesores por sus enseñanzas que a lo largo de la carrera han impartido ya que sin ellas no habría podido culminar este proyecto

EL AUTOR

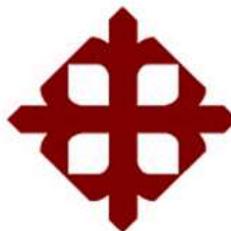
CORDERO PINOS, XAVIER ALEJANDRO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme la salud y fuerza para continuar pese a los obstáculos que se me han presentado. Agradezco a mis padres y a mi pareja quienes me han brindado su confianza y apoyo incondicional durante toda esta etapa de mi vida, quienes me han enseñado a confiar en mi y luchar por mis sueños y metas. Agradezco a mis profesores quienes supieron guiarme durante mi formación académica al compartir sus conocimientos que son valiosos para mi carrera y vida profesional

EL AUTOR

CORDERO PINOS, XAVIER ALEJANDRO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f.

M. Sc. HERAS SÁNCHEZ, MIGUEL ARMANDO

COORDINADOR DEL ÁREA

f.

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIII
Resumen	XIV
Capítulo 1: Descripción General	2
1.1. Introducción.....	2
1.2. Antecedentes.	2
1.3. Definición del problema.	3
1.4. Objetivos del Problema de Investigación.....	3
1.4.1. Objetivo General.....	3
1.4.2. Objetivos Específicos.	3
Capítulo 2: Fundamentos Teóricos	4
2.1. Introducción de las comunicaciones por fibra óptica.	4
2.2. Evolución de las comunicaciones por fibra óptica	4
2.3. Elementos de comunicación por fibra óptica	5
2.3.1. Tipos de fibra.....	5
2.3.1.1. Fibra óptica multimodo	5
2.3.1.2. Fibra óptica monomodo	6
2.3.1.3. Fibra óptica plástica.....	6
2.3.2. Transmisores y receptores ópticos.....	7
2.3.2.1. Transmisores ópticos.....	7
2.3.2.2. Receptores ópticos	8
2.3.3. Analizadores de espectro de fibra óptica	8
2.4. Espectro radioeléctrico	8
2.4.1. Definición.....	8
2.4.2. Usos del espectro radioeléctrico	9
2.5. Interacción de radio sobre fibra	10
2.5.1. La fibra óptica como medio de transmisión	10
2.5.2. Tipos de modulación en los sistemas de radio sobre fibra	11
Capítulo 3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados	14
3.1. Descripción del componente práctico.....	14
3.2. Descripción del software OptiSystem.....	14
3.2.1. Principales características del software OptiSystem	15

3.2.2.	Aplicaciones informáticas del sistema OptiSystem.....	15
3.3.	Criterios de calidad para la transmisión óptica.	16
3.3.1.	Factor de calidad (Q)	17
3.3.2.	La Tasa de Error de Bits (BER)	17
3.3.3.	Diagrama del ojo.....	17
3.4.	Diseño del enlace punto a multipunto en una red FTTH-GPON usando multiplexación TDMA.	18
3.4.1.	Bloque de transmisión.	19
3.4.2.	Bloque del canal de transmisión.	19
3.4.3.	Bloque de recepción.....	20
3.5.	Análisis de resultados obtenidos del sistema FTTH-GPON.	21
3.5.1.	Escenario 1: Análisis del impacto de la distancia del enlace óptico.....	21
3.5.2.	Escenario 2: Análisis del impacto de la potencia del enlace óptico.....	23
3.5.3.	Escenario 3: Análisis del impacto de la cantidad de usuarios del enlace óptico.....	24
3.5.4.	Escenario 4: Análisis del impacto de la velocidad de transmisión del enlace óptico.	26
	CONCLUSIONES	29
	RECOMENDACIONES.....	30
	Bibliografía	31

Índice de Figuras

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Sistemas de comunicaciones ópticas	4
Figura 2. 2: Cable de fibra óptica monomodo/multimodo.....	5
Figura 2. 3: Diodo Led	7
Figura 2. 4: Diodo Laser	8
Figura 2. 5: Bandas de frecuencia	10
Figura 2. 6: Modulación Mach Zehnder (MZM)	12
Figura 2. 7: Modulador Electro-Absorción.....	13

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Los componentes de una red GPON FTTH.....	14
Figura 3. 2: Interfaz de OptiSystem	16
Figura 3. 3: Red del sistema FTTH-GPON usando la técnica TDMA.	18
Figura 3. 4: Esquemático del bloque de transmisión del sistema FTTH-GPON.	19
Figura 3. 5: Esquema del bloque del canal de transmisión SMF.	20
Figura 3. 6: Esquemático del bloque de recepción del sistema FTTH-GPON.	20
Figura 3. 7: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación para el factor de calidad (Q) con relación a la distancia del enlace óptico.....	22
Figura 3. 8: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación para la BER con relación a la distancia del enlace óptico.....	22
Figura 3. 9: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la Potencia(dBm).....	23
Figura 3. 10: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la Potencia(dBm).....	24
Figura 3. 11: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la cantidad de usuarios conectados.	25

Figura 3. 12: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para la BER con relación a la cantidad de usuarios conectados.	26
Figura 3. 13: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la velocidad de transmisión.	27
Figura 3. 14: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para la BER con relación a la velocidad de transmisión.	28

Índice de Tablas

Capítulo 3

Tabla 3. 1: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación.	21
Tabla 3. 2: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación.....	23
Tabla 3. 3: Resultados obtenidos del tercer escenario de simulación.	24
Tabla 3. 4: Resultados obtenidos del cuarto escenario de simulación.....	27

Resumen

Los avances tecnológicos de las redes de acceso de banda ancha a escala mundial evolucionan con rapidez. Por ejemplo, la tecnología que aplica fibras monomodo proporciona un medio de transmisión de gran capacidad capaz de responder al crecimiento de la demanda de servicios de banda ancha. Conforme los despliegues de fibra se aproximan al cliente y la demanda de ancho de banda se incrementa de manera exponencial, crece la necesidad de fibras optimizadas a nivel de curvatura. Por esto se desarrolló el componente práctico del examen complejo “Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH”. En el capítulo 2 se presentan los fundamentos teóricos de las comunicaciones por fibra óptica. A continuación, en el capítulo 3, se presentan los escenarios de simulación y se discuten los resultados obtenidos de las simulaciones para validar el enlace punto a multipunto en una red GPON-FTTH. Por último, el documento termina con una breve conclusión y recomendaciones.

”

Palabras claves: modulación, Multiplexación, Fibra, Monomodo, Simulación, Rendimiento.

Capítulo 1: Descripción General

1.1. Introducción.

Las redes FTTH han evolucionado para encontrar soluciones rentables. El desarrollo de la utilización de una sola fibra para el tráfico ascendente y descendente supone una mejora significativa. Se trata de redes punto a multipunto, en las que la fibra se conecta a divisores ópticos pasivos, lo que da lugar al nombre de "red óptica pasiva". La primera variante de PON, Asynchronous PON (APON), actualmente conocida como Broadband PON (BPON), se desplegó comercialmente. Para llevar a cabo la transmisión de datos, se utilizaba el protocolo de Modo de Transferencia Asíncrono (ATM), con una capacidad de bajada de hasta 622 Mbps. Ethernet PON (EPON) es otra alternativa, estandarizada como IEEE 802.3ah. Tiene la misma arquitectura que GPON y utiliza las mismas longitudes de onda, pero con protocolos diferentes. (Zacharias et al., 2018)

En este caso, se elige una fibra monomodo (SMF) como medio de transmisión debido a su baja pérdida, alta capacidad y amplio ancho de banda. Existen varios esquemas de modulación con los que se puede modular una portadora óptica puede ser modulada. Estos esquemas de modulación incluyen la doble banda lateral (DSB), la banda lateral única (SSB) y la doble banda lateral con supresión de portadora óptica (DSBCS). La técnica de modulación de banda lateral única con supresión de portadora (SSB-SC).

La generación y transmisión simultánea de señales multibanda puede realizarse mediante diferentes técnicas. La generación de señales multibanda utilizando el modulador Mach-Zehnder (MZM) da lugar a varios problemas de deriva de polarización y hace que el sistema sea complejo.

1.2. Antecedentes.

La topología de fibra requiere un sistema central de control de acceso que administre los derechos de envío de cada usuario final, evitando así la distorsión de la señal/transmisión. Los sistemas GPON cumplen esta tarea con el Terminal de Línea Óptica (OLT) en el sitio central, interactuando con

los Terminales de Red Óptica (ONT) dedicados en las instalaciones del cliente. Pero el uso de la fibra está limitado a las opciones que ofrece un sistema GPON, por lo que hoy en día su ancho de banda está limitado a 2.5 Gbps para el canal de bajada y 1.25 Gbps para el canal de subida, compartidos por todos los usuarios del OLT.

1.3. Definición del problema.

Necesidad de realizar el modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH a través de una herramienta de simulación.

1.4. Objetivos del Problema de Investigación.

1.4.1. Objetivo General.

Evaluar el modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH utilizando el entorno OptiSystem.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Describir los fundamentos teóricos de las comunicaciones por fibra óptica.
- Diseñar los escenarios de simulación del enlace punto a multipunto (P2M) en una red GPON-FTTH usando el software OptiSystem.
- Evaluar las incidencias de los resultados obtenidos en los escenarios de simulación del enlace P2M sobre la red GPON-FTTH.

Capítulo 2: Fundamentos Teóricos

2.1. Introducción de las comunicaciones por fibra óptica.

Un sistema de comunicación es un sistema utilizado para transmitir información de un lugar a otro, tanto si están separados por unos pocos metros como por distancias intercontinentales. La información suele ser transportada por una onda electromagnética de alta frecuencia llamada onda portadora, cuya frecuencia puede variar desde unos pocos kilohercios hasta cientos de terahertz. Los sistemas de comunicaciones ópticas utilizan señales portadoras de alta frecuencia (unos 100 THz) en la región visible o cercana al infrarrojo del espectro electromagnético.

Estos sistemas se denominan a veces sistemas de ondas luminosas para distinguirlos de los sistemas de microondas, cuyas frecuencias portadoras suelen ser cinco órdenes de magnitud inferiores (alrededor de 1 GHz). Los sistemas de comunicaciones de fibra óptica son sistemas de comunicaciones ópticas que utilizan fibras ópticas como líneas de transmisión. Estos sistemas se utilizan en todo el mundo desde 1980 y han revolucionado la tecnología de las telecomunicaciones. (Pallo Noroña, 2004)

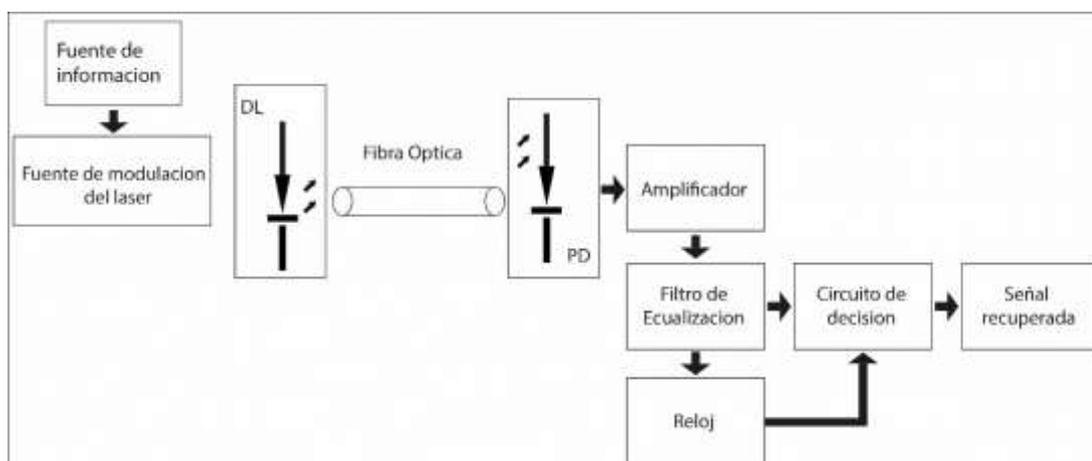


Figura 2. 1: Sistemas de comunicaciones ópticas
Fuente: (Cabezas & Pinto G., 2014)

2.2. Evolución de las comunicaciones por fibra óptica

El desarrollo de la fibra óptica se remonta a los años 70, pero su primer uso comercial a gran escala data de finales de los 80, y fue durante los 90 cuando las redes de fibra revolucionaron la industria de las

telecomunicaciones. Los nuevos desarrollos se sucedieron rápidamente y, a finales de 2000, la tecnología iba muy por delante de la demanda real. Para ilustrar la velocidad del progreso, la primera conexión comercial de fibra instalada en abril de 1977 en Long Beach, California, transportaba 6 Mbps y requería dos fibras, una para cada dirección de comunicación. Hoy, las redes utilizan una sola fibra y alcanzan velocidades de 3,2 Tbps, es decir, un millón de veces más rápidas que al principio. Tras un parón de unos años a principios de siglo, el desarrollo se reanudó en 2006 y el mercado en su momento fue optimista sobre las perspectivas de crecimiento de las comunicaciones ópticas. (OCDE, 2008)

2.3. Elementos de comunicación por fibra óptica

2.3.1. Tipos de fibra

Los diferentes tipos de fibras ópticas, que se obtienen variando determinadas características, permiten optimizar el uso de los cables ópticos, tanto desde el punto de vista económico como de su utilización.

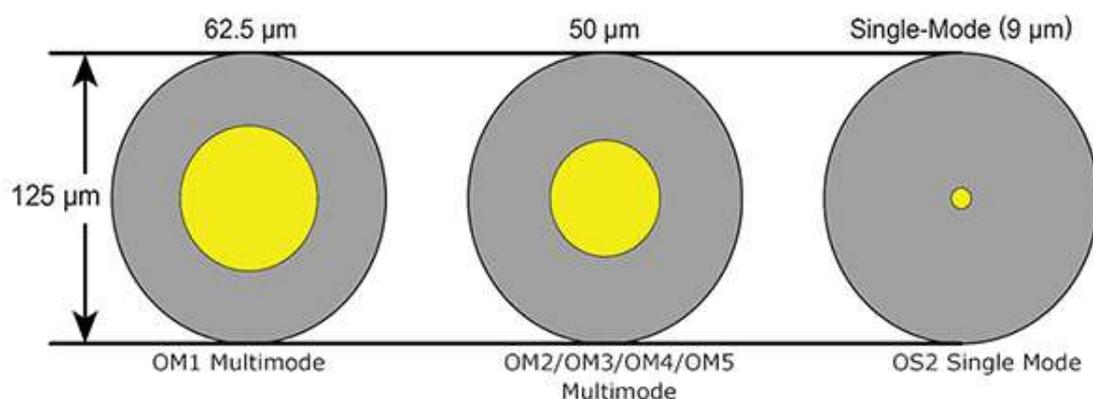


Figura 2. 2: Cable de fibra óptica monomodo/multimodo

Fuente: (Llorente, 2014)

2.3.1.1. Fibra óptica multimodo

La fibra multimodo de índice escalonado es la fibra más común, es este tipo de fibra la que se utiliza en redes locales tipo LAN. Dado que la fibra de índice escalonado es multimodo, existen varios modos de propagación de la luz dentro de su núcleo de sílice. Hay una variación muy grande en esta fibra entre el índice de refracción del núcleo y el del revestimiento óptico. Esta es la razón por la cual los rayos de luz se propagan por reflexión interna total en

un patrón de diente de sierra. La fibra de índice escalonado tiene un núcleo muy grande. La atenuación en este tipo de fibra es muy alta como se puede ver por la diferencia entre los pulsos de entrada y salida.(Llorente, 2014)

2.3.1.2. Fibra óptica monomodo

La fibra monomodo es la mejor fibra disponible en la actualidad. Es este tipo de fibra el que se utiliza en los núcleos de las redes mundiales. Sólo existe un modo de propagación de la luz, el modo de línea recta. A diferencia del multimodo, el cable de fibra óptica monomodo sólo tiene un tipo de dispersión: una única longitud de onda en el núcleo del cable. Por lo tanto, no hay interferencias ni solapamiento entre las diferentes longitudes de onda, como ocurre con longitudes de onda, como ocurre con el cable multimodo. La fibra monomodo ofrece un rendimiento significativamente mayor que la fibra multimodo. Se pueden utilizar dos hilos de fibra monomodo para casi duplicar el rendimiento del cable multimodo. Los resultados de longitud y velocidad del cable monomodo son posibles porque la transmisión de luz en monomodo anula el retardo de modo diferencial (DMD), que limita el rendimiento principal del multimodo. La fibra monomodo tiene un núcleo muy fino, ¡del tamaño de un pelo! La atenuación en este tipo de fibra es casi nula, eso es lo que hace su fuerza.(Open Up, 2017)

2.3.1.3. Fibra óptica plástica

Las fibras ópticas de plástico no tienen, en sentido estricto, núcleo ni revestimiento. Están formadas por un tubo de plástico transparente, de uno a dos milímetros de diámetro, rodeado por una vaina de plástico negro, de modo que hay reflexión en la interfaz transparente-opaca. Las pérdidas son importantes, ya que limitan el flujo y la distancia, pero su coste y facilidad de aplicación - las fibras son muy fáciles de conectar - abren nichos de mercado.

Se utilizan sobre todo en la iluminación de automóviles, la arquitectura interior, la decoración de ventanas, la señalización, el sector audiovisual y también en la comunicación voz-datos-imagen. Sus principales ventajas son la sencillez de uso e instalación, la inmunidad a las interferencias electromagnéticas, el aislamiento galvánico (sin riesgo de chispas), la

verificación inmediata del funcionamiento gracias a la luz visible y la seguridad de las transmisiones frente a la posible piratería de las líneas de cobre, sin olvidar su amplia apertura digital.(Alban Jaramillo, 2006)

2.3.2. Transmisores y receptores ópticos

Los transceptores de fibra óptica son dispositivos que utilizan la tecnología de la fibra óptica para recibir y enviar datos. A diferencia de los receptores o transmisores de fibra óptica, los transceptores de fibra óptica incluyen un transmisor y un receptor en el mismo componente. Sin embargo, tanto el transmisor como el receptor tienen sus propios circuitos para poder gestionar las transmisiones en ambas direcciones.(Migelle, 2021)

2.3.2.1. Transmisores ópticos

Entre los emisores ópticos tenemos a los diodos LED y los diodos LASER

Diodos LED: Un diodo emisor de luz, más conocido como Del o Led (light-emitting diode), es un componente optoelectrónico que permite la emisión de luz monocromática.

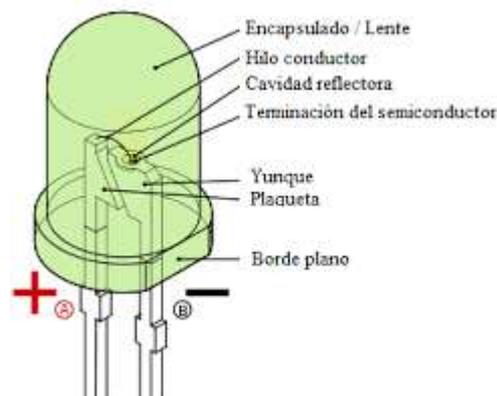


Figura 2. 3: Diodo Led
Fuente: (Segura Antúnez, 2014)

Diodos Laser: Son fuentes de luz coherente de emisión estimulada con espejos semirreflejantes formando una cavidad resonante, la cual sirve para realizar la retroalimentación óptica, así como el elemento de selectividad (igual fase y frecuencia). La emisión del LD es siempre de perfil, estos tienen una

corriente de umbral y a niveles de corriente arriba del umbral la luz emitida es coherente, y a niveles menores al umbral el LD emite luz incoherente como un LED.

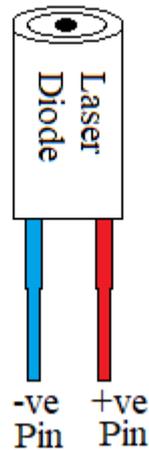


Figura 2. 4: Diodo Laser
Fuente: (Sanchis & Ejea, 2008)

2.3.2.2. Receptores ópticos

La función de un receptor optoelectrónico o fotodetector es transformar una señal óptica en una señal eléctrica.

2.3.3. Analizadores de espectro de fibra óptica

Un analizador de espectro óptico es un dispositivo utilizado para muestrear (o filtrar) una o más bandas espectrales de luz a partir de una señal óptica de entrada. Este analizador consiste en un dispositivo óptico que contiene un conjunto de colimadores, un elemento dispersivo y un espejo.

2.4. Espectro radioeléctrico

2.4.1. Definición

Son ondas de radio u ondas hertzianas: "ondas electromagnéticas cuya frecuencia es, por convención, inferior a 3.000 GHz, que se propagan en el espacio sin guía artificial"; están comprendidas entre 9 kHz y 3.000 GHz, lo que corresponde a longitudes de onda de 33 km a 0,1 mm. Sin embargo, las ondas por debajo de 9 kHz son ondas de radio, pero no están reguladas.

Las ondas de frecuencia superior a 3 000 GHz se clasifican en las ondas infrarrojas (irradiación), porque la tecnología asociada a su uso es actualmente óptica y no eléctrica, pero esta frontera es artificial, no hay diferencia de naturaleza entre las ondas de radio y las ondas de luz (y otras ondas electromagnéticas).(ITU, 2021)

2.4.2. Usos del espectro radioeléctrico

El espectro radioeléctrico es usado por un número muy grande de servicios. Se trata de una parte del espectro electromagnético de 1Hz a 3,000GHz, y es esencial para casi todas las formas de las comunicaciones modernas. Las diferentes partes del espectro radioeléctrico son asignadas a las diferentes tecnologías de radio y aplicaciones como:

- Sistemas de comunicaciones móviles
- Televisión
- Sistemas de comunicación por satélite
- Radares meteorológicos
- Radares militares
- Navegación y control aeronáutico
- Sistemas de seguimiento de misiles
- Sistemas de peaje
- Wi-Fi
- Sistemas de transporte inteligentes
- Alarmas de bebé
- Radio AM y FM
- Walkie-talkies
- Radares de vehículos
- Radioterapia
- Wireless para automatización industrial
- Bluetooth
- Radio navegación (GPS y otros)
- Radioastronomía e investigación espacial
- Implantes médicos (marcapasos, audífonos)
- Comunicaciones marítimas
- Drones

- Alarmas

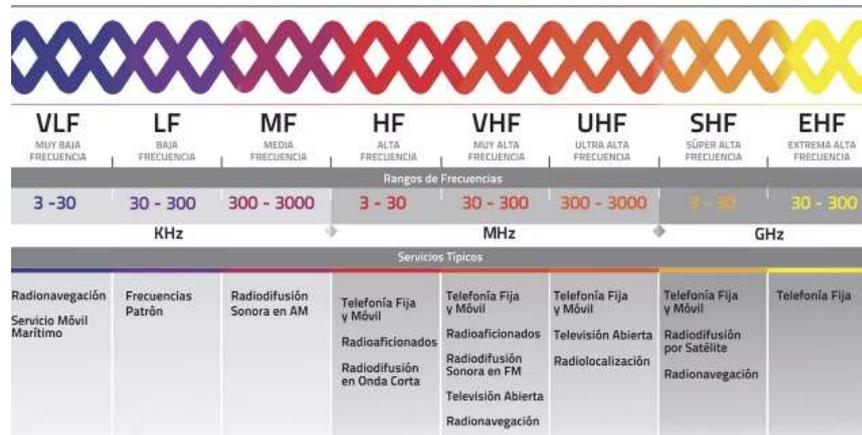


Figura 2. 5: Bandas de frecuencia
Fuente: (Espinoza, 2021)

2.5. Interacción de radio sobre fibra

2.5.1. La fibra óptica como medio de transmisión

La fibra, tiene una atenuación casi constante en una gama de frecuencias considerable y ofrece, por tanto, la ventaja de disponer de anchos de banda gigantescos, lo que permite prever hoy en día la transmisión de velocidades de datos muy elevadas (varios terabits por segundo) requeridas por la multiplicación de los servicios y las necesidades crecientes de transmisión de imágenes. Los sistemas ópticos también permiten, en comparación con los sistemas de cable coaxial (cobre), una ganancia en la distancia entre los diferentes repetidores-regeneradores, que se ha reducido de unos pocos kilómetros a unas decenas de kilómetros.

Ya en 1978 se introdujeron sistemas que trabajaban a una longitud de onda óptica de 0,8 μm , que transportaban un caudal de entre 50 y 100 Mbps con una separación entre repetidores del orden de 10 km, es decir, unas tres veces más que los sistemas sobre cable coaxial de capacidad equivalente. La segunda generación de sistemas de transmisión por fibra óptica, surgida en los años 80, es consecuencia directa del desarrollo de la fibra monomodal y del láser semiconductor de 1,3 μm , la longitud de onda para la que la dispersión cromática (es decir, la distorsión inducida en las señales por la propagación) es mínima.

Así se consiguen velocidades de transmisión de datos superiores a 1 Gbps, con una distancia entre repetidores de varias decenas de kilómetros. Los alcances de estos sistemas están limitados por las pérdidas de la fibra, 0,5 dB/km en el mejor de los casos, y la idea parece entonces desarrollar fuentes que emitan en la longitud de onda de 1,55 μm , para la que la atenuación es mínima. Sin embargo, esta ganancia es destruida por el efecto de la dispersión cromática, que es mucho más fuerte en esta longitud de onda y que limita el ancho de banda y, por tanto, el rendimiento.

Los progresos realizados tanto en los láseres que emiten en un solo modo como en el medio de transmisión (fibras con dispersión) vinieron a aportar soluciones a estos problemas y los primeros sistemas que trabajaban a 1,55 μm aparecieron a finales de los años 80, con un rendimiento superior a 2 Gbps. La aparición de los amplificadores de fibra a finales de los 80, seguida del desarrollo de la multiplexación por división de longitudes de onda, hizo de la óptica una técnica que superó a todas las demás tanto en capacidad como en calidad de transmisión, en redes de larga distancia formadas por arterias de gran capacidad que conectan grandes ciudades. Esta supremacía también ha afectado a los enlaces internacionales de alta velocidad, que ahora se realizan exclusivamente mediante cables submarinos de fibra óptica.

2.5.2. Tipos de modulación en los sistemas de radio sobre fibra

Modulación Mach Zehnder (MZM)

El modulador Mach-Zehnder (MZM) es una estructura interferométrica fabricada con un material con un fuerte efecto electroóptico (como LiNbO₃, GaAs, InP). La aplicación de campos eléctricos a los brazos cambia las longitudes de los caminos ópticos, lo que da lugar a una modulación de fase. La combinación de dos brazos con diferente modulación de fase convierte la modulación de fase en modulación de intensidad. (Macho Ortiz, 2012)

La entrada óptica CW se divide en los brazos moduladores superior e inferior, que se modulan en fase con dos desplazadores de fase accionados por las señales eléctricas U1 y U2 y luego se recombinan en la salida óptica light out. Antes de analizar la implementación anterior con más detalle, existen

un par de estructuras MZM que han atraído mucha atención últimamente debido a los avances en las tecnologías de interconexión de centros de datos (DCI) y la integración fotónica.

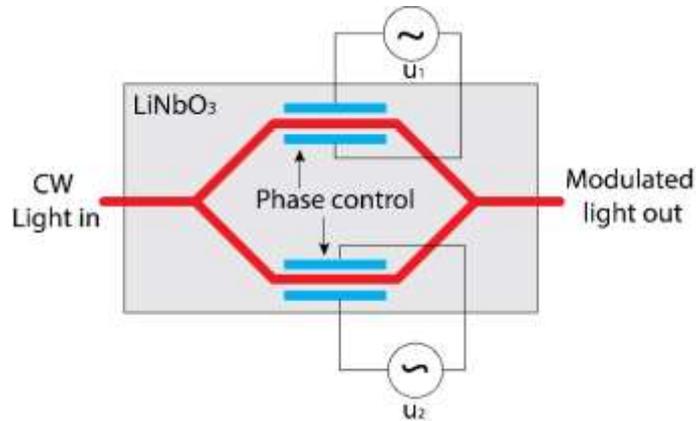


Figura 2. 6: Modulación Mach Zehnder (MZM)
Fuente: (Huszaník et al., 2018)

Modulación Electro Absorción (EAM)

Un modulador de electro absorción (EAM) es un dispositivo semiconductor que puede utilizarse para modular la intensidad de un rayo láser mediante una tensión eléctrica. Su principio de funcionamiento se basa en el efecto Franz-Keldysh, es decir, una modificación del espectro de absorción causada por un campo eléctrico aplicado, que modifica la energía de la brecha de banda (por lo tanto, la energía fotónica de un borde de absorción), pero generalmente no implica la excitación de los portadores por el campo eléctrico. (Rodríguez Bazurto, 2019)

Para los moduladores en telecomunicaciones, se desea un tamaño y voltajes de modulación pequeños. El EAM es un candidato para su uso en enlaces de modulación externa en telecomunicaciones. Estos moduladores pueden realizarse utilizando materiales semiconductores a granel o materiales multipunto o de pozo cuántico.

La mayoría de los EAM se realizan en forma de guía de ondas con electrodos para aplicar un campo eléctrico en dirección perpendicular al haz de luz modulado. Para lograr una alta tasa de extinción, se suele aprovechar

el efecto de confinamiento cuántico (QCSE) en una estructura de pozo cuántico.

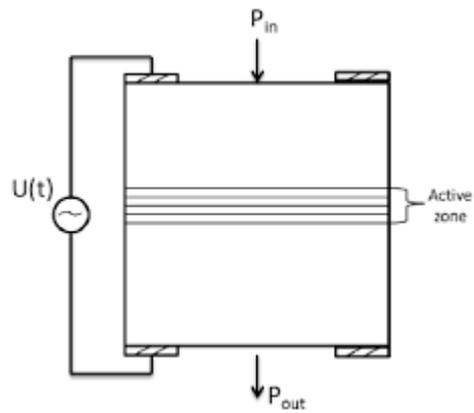


Figura 2. 7: Modulador Electro-Absorción
Fuente: (Rodríguez Bazurto, 2019)

Capítulo3: Diseño, Implementación y Análisis de Resultados

En este capítulo se presenta la implementación y análisis de resultados del componente práctico del examen complejo.

3.1. Descripción del componente práctico.

Tras una breve descripción de redes ópticas pasivas en especial la red de acceso GPON en el capítulo 2, en este capítulo 3 se realizan las simulaciones de un enlace punto a multipunto (P2P) sobre un sistema GPON FTTH, utilizando el simulador OptiSystem. Este es una herramienta para simular sistemas de comunicaciones ópticas. En primer lugar, se presenta el software OptiSystem (sección 3.2), seguido del análisis de rendimiento de un enlace P2P sobre la red GPON FTTH utilizando multiplexación TDMA y WDM. La figura 3.1 muestra el diagrama de bloques de cada uno de los componentes de un sistema de comunicación óptica (GPON FTTH).

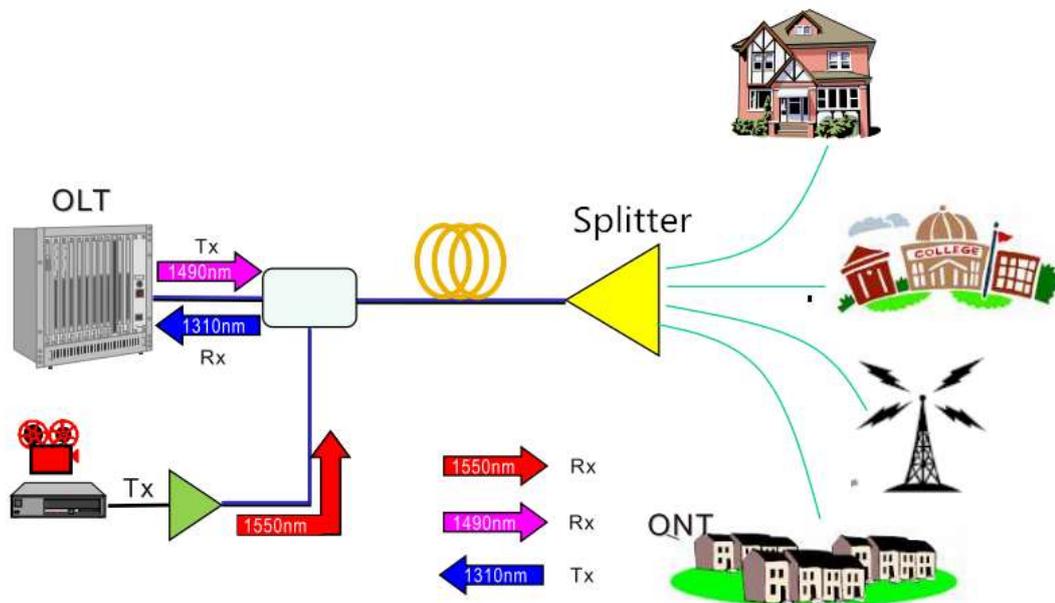


Figura 3. 1: Los componentes de una red GPON FTTH.
Elaborado por: Autor.

3.2. Descripción del software OptiSystem.

El programa computacional llamado OptiSystem, que fue desarrollado por la empresa canadiense Optiwave; permite a los usuarios diseñar, simular y analizar sistemas de transmisión por fibra óptica. La diversidad de los sistemas simulados puede ampliarse gracias a la posibilidad de insertar

funciones hechas por el usuario que pueden añadirse a los sistemas simulados. El software OptiSystem permite probar y optimizar casi cualquier tipo de enlace óptico. Es decir, que este software se basa en el modelado de sistemas de comunicación de fibra óptica.

3.2.1. Principales características del software OptiSystem

Las principales características del software son:

- ❖ Los componentes virtuales de la biblioteca que son capaces de reproducir el mismo comportamiento y efecto especificado por la precisión y eficacia seleccionadas de los componentes reales.
- ❖ La biblioteca de componentes permite la introducción de parámetros que pueden ser medidos desde dispositivos reales, estos componentes se integran con equipos de prueba y medición de diferentes proveedores.
- ❖ Las herramientas avanzadas de visualización producen señales de sonido, diagramas de ojos y estados de polarización.
- ❖ Es posible conectar un número arbitrario de visores en el monitor al mismo puerto.

3.2.2. Aplicaciones informáticas del sistema OptiSystem

Existen múltiples aplicaciones de redes de comunicaciones ópticas desarrolladas con el software OptiSystem. Entre las diversas aplicaciones de OptiSystem se mencionan las más utilizadas:

- ❖ Diseño del sistema de comunicación óptica del componente a nivel de capa física.
- ❖ Tasa de error de bits (BER) y cálculo del presupuesto del enlace.
- ❖ Diseño de redes TDM/WDM y redes ópticas pasivas (PON).

Los componentes más importantes de la interfaz gráfica de usuario del software OptiSystem (véase la figura 3.2) contiene las siguientes ventanas principales:

- ❖ La biblioteca de componentes permite la introducción de parámetros que pueden ser medidos desde dispositivos reales,

estos componentes se integran con equipos de prueba y medición de diferentes proveedores.

- ❖ Editor gráfico (layout) o de diseño: es la ventana principal donde se insertan los componentes en el diseño, se editan los componentes y se crean las conexiones entre ellos. Además, permite editar y configurar el diseño actual.
- ❖ Descripción del diseño: permite visualizar y mostrar los distintos archivos y componentes correspondientes al proyecto actual.
- ❖ Browser de proyectos: esta ventana contiene todos los componentes utilizados en el proyecto con el fin de proporcionar un acceso más rápido a los distintos componentes, especialmente en el caso de un proyecto complejo que contenga un gran número de componentes.

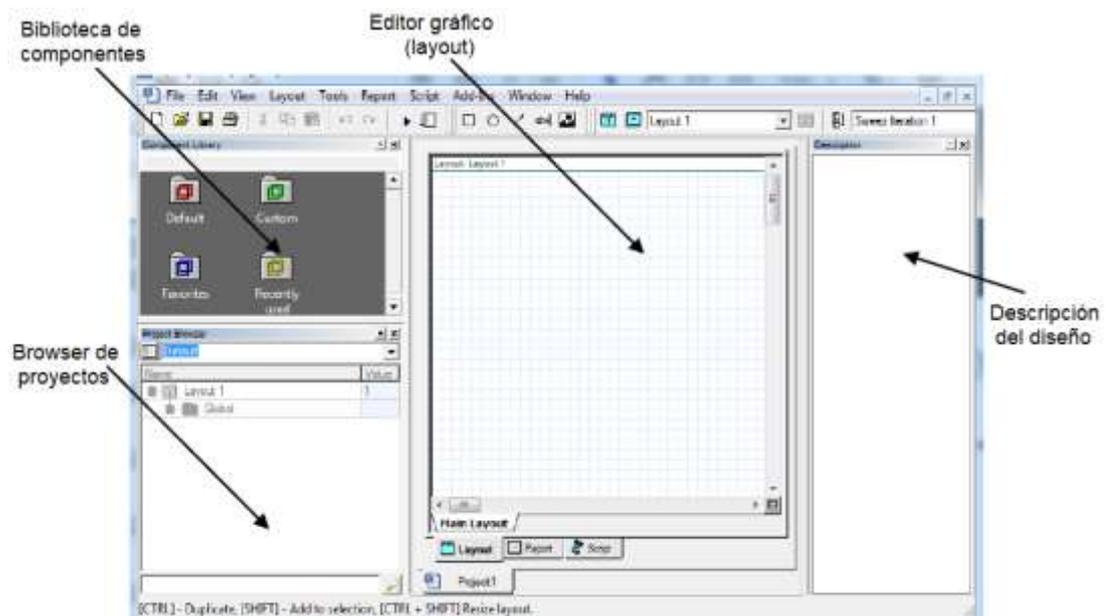


Figura 3. 2: Interfaz de OptiSystem
Elaborado por: Autor.

3.3. Criterios de calidad para la transmisión óptica.

En las siguientes secciones se trata de los criterios de calidad para la transmisión óptica. Para definir la calidad de una transmisión en sistemas de fibra óptica, existen diferentes criterios. Para ello hay tres criterios principales que son:

- ❖ El factor de calidad (Q).
- ❖ La tasa de error de bits (BER).

- ❖ El diagrama del ojo.

3.3.1. Factor de calidad (Q)

Las señales medidas a la entrada del canal del osciloscopio tienen una respuesta de la señal deseada y también del ruido de todos los elementos de la cadena de transmisión. Además, en el diagrama de ojo correspondiente a la señal medida, la señal deseada puede representarse mediante los niveles medios μ_1 y μ_0 . Los ruidos suponen variaciones en las potencias ópticas respecto a estos niveles medios y son cuantificados mediante la combinación de las desviaciones estándar σ_1 y σ_0 . En consecuencia, el factor Q se define a través del diagrama de ojo por:

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0}$$

3.3.2. La Tasa de Error de Bits (BER)

Dado que en los sistemas de transmisión los datos se transmiten de forma digital, es decir, una secuencia de datos binarios, el criterio más intuitivo para evaluar la calidad de la señal transmitida es la comparación entre la secuencia binaria en la transmisión y en la recepción. En este caso se habla de la tasa de error de bits (BER). Se define como la relación entre el número de bits erróneos y el número de bits transmitidos:

$$BER = \frac{N^\circ \text{ de bits erróneos}}{N^\circ \text{ de bits transmitidos}}$$

3.3.3. Diagrama del ojo

El diagrama de ojo es un método de representación y análisis de una señal digital de alta velocidad que permite visualizar y determinar rápidamente los principales factores de calidad eléctrica de la señal. Se construye a partir de una forma de onda digital superponiendo las curvas correspondientes a cada bit en un único gráfico con la amplitud de la señal en Y (eje vertical) y el tiempo en X (eje horizontal). Al repetir la operación sobre un gran número de muestras de señal, el gráfico obtenido proporciona la estadística media de la señal y tiene la apariencia de un ojo. La apertura del ojo corresponde a un

periodo de 1 bit y constituye la anchura de la UI (Unit Interval) del diagrama del ojo.

3.4. Diseño del enlace punto a multipunto en una red FTTH-GPON usando multiplexación TDMA.

En esta sección se realiza la implementación del modelo de red GPON FTTH usando el método de multiplexación TDMA (acceso múltiple por división de tiempo). La figura 3.3 muestra la implementación del modelo de red propuesto que se comporta como un enlace punto a multipunto. En el diagrama de bloques de la figura 3.3 se utilizaron los elementos, tales como: (1) generador de secuencias de bits definidas por el usuario, (2) generador de pulsos de no retorno a cero (NRZ), (3) diodo láser de onda continua (CW), (4) modulador Mach-Zehnder (MZM), (5) fibra óptica monomodo (SMF), (6) divisor de potencia (splitter), (7) fotodetector PIN, (8) filtro pasa bajo de Bessel, y (9) regenerador 3R para obtener la BER.

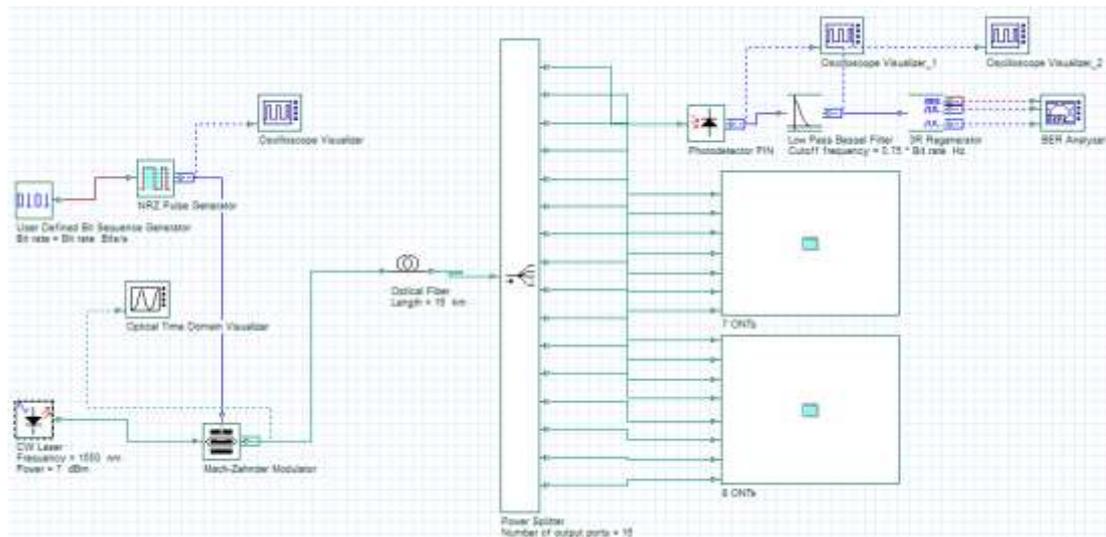


Figura 3. 3: Red del sistema FTTH-GPON usando la técnica TDMA.
Elaborado por: Autor.

Es importante especificar que los elementos (6) a (9) corresponden a un dispositivo terminal de red óptica (ONT). Los bloques ONTs son subsistemas creados con el propósito de minimizar el diseño del modelo de red en el software OptiSystem. En el primer y segundo ONTs se encuentran 7 y 8 usuarios o dispositivos ONT, respectivamente. De acuerdo con esto, se tiene un enlace para 16 usuarios (1:16) lo que indica un enlace punto a multipunto.

Además, se incluyen elementos que sirven para obtener métricas del modelo propuesto. Los elementos utilizados para realizar mediciones son: (1) visualización del osciloscopio (analizador óptico de oscilaciones), (2) visualizador óptico en el dominio del tiempo, y (3) analizador de la tasa de error de bits (BER).

En las secciones 3.4.1. a 3.4.3. se describen por fases el diseño de la red FTTH-GPON implementada en el software OptiSystem.

3.4.1. Bloque de transmisión.

La función de este bloque (véase la figura 3.4) es emitir una señal óptica continua y modularla según los datos binarios y el formato elegido. En los sistemas de comunicación óptica que se han estudiado en la formación como ingenieros en telecomunicaciones, el transmisor consta de los siguientes elementos

- ❖ Láser CW
- ❖ Generador de secuencias de bits definidas por el usuario
- ❖ Generador de pulsos NRZ
- ❖ Modulador Mach-Zehnder

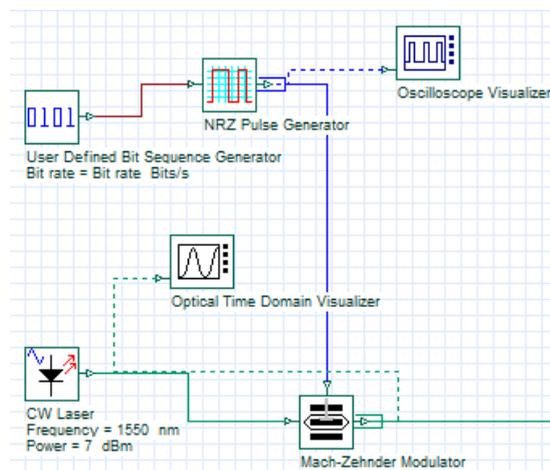


Figura 3. 4: Esquemático del bloque de transmisión del sistema FTTH-GPON.
Elaborado por: Autor.

3.4.2. Bloque del canal de transmisión.

La transmisión de datos a muy alta velocidad y a largas distancias entre terminal de línea óptico (OLT) y el terminal de red óptico (ONT) se realiza a través de una fibra óptica monomodo. La figura 3.5 muestra el esquema de

bloque del canal de transmisión que emplea una fibra óptica de 16 km de longitud.

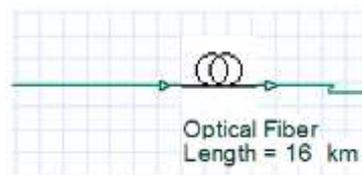


Figura 3. 5: Esquema del bloque del canal de transmisión SMF.
Elaborado por: Autor.

3.4.3. Bloque de recepción.

La función del receptor es recibir la señal efectiva deseada con la mínima distorsión para satisfacer las necesidades de los clientes. Consta de los siguientes componentes:

- ❖ Divisor de potencia
- ❖ Fotodetector PIN
- ❖ Filtro de Bessel de paso bajo
- ❖ Regenerador 3R
- ❖ Analizador de la BER

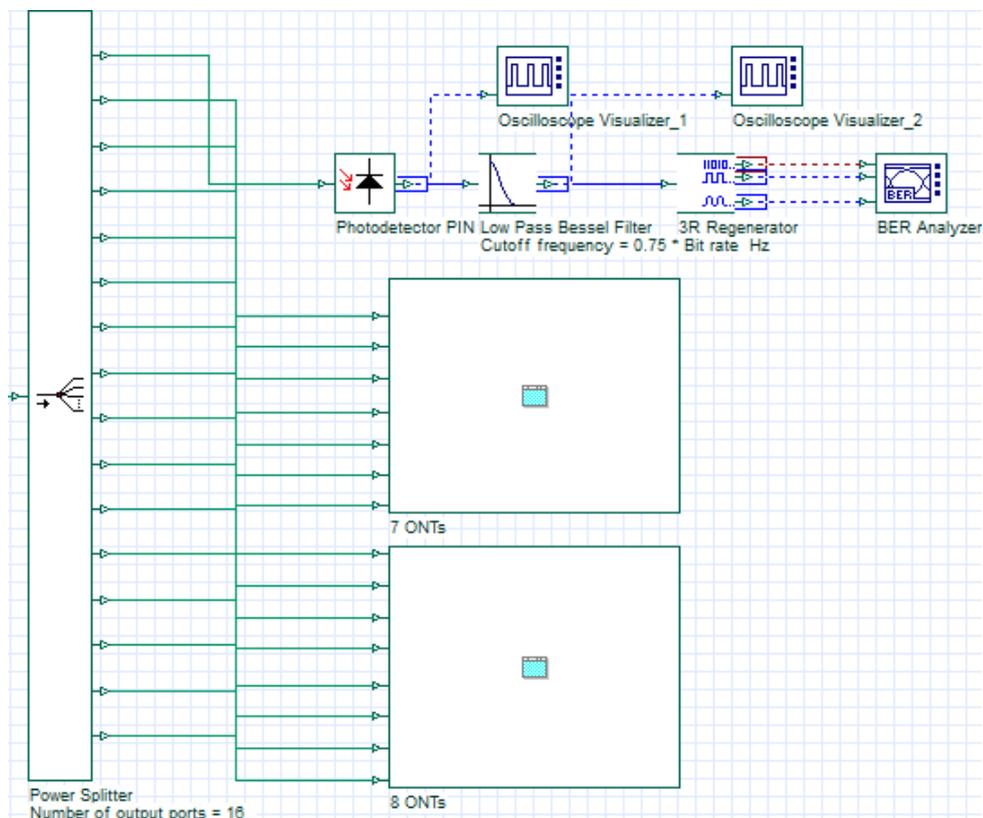


Figura 3. 6: Esquemático del bloque de recepción del sistema FTTH-GPON.
Elaborado por: Autor.

3.5. Análisis de resultados obtenidos del sistema FTTH-GPON.

En esta sección se analizan los resultados obtenidos con relación a los efectos de la distancia del enlace, potencia, usuarios y velocidad.

3.5.1. Escenario 1: Análisis del impacto de la distancia del enlace óptico.

Para estudiar el impacto de la distancia del enlace óptico en el rendimiento de una red FTTH-GPON, se calcula la calidad del servicio en términos de dos factores, que son la calidad (Q) y tasa de error de bits (BER). Una buena calidad de transmisión requiere un $Q > 6$, lo que corresponde a una $BER < 10^{-9}$.

Para empezar, se establece la tasa de bits $C=2.5$ Gbps con un número de usuarios $N=16$ que se comunican simultáneamente. La potencia óptica del transmisor láser es $P=7$ dBm. La longitud de la fibra óptica monomodo varía de 5 a 25 km. El analizador de BER proporciona los resultados de las mediciones de los factores Q, BER y diagrama de ojo. En la tabla 3.1 se muestra en resumen los resultados obtenidos de la simulación para el escenario 1.

Tabla 3. 1: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación.

Distancia del enlace (km)	Factor de calidad (Q)	BER
5	12.6656	4.5891e-037
10	9.82894	4.22272e-023
15	7.61715	1.29572e-014
20	5.9002	1.81317e-009
25	4.5681	2.45767e-006

Elaborado por: Autor.

A continuación, se evalúa el rendimiento del factor Q, y la BER para diferentes valores de longitudes de fibra óptica. Como puede verse en la figura 3.7, al aumentar la distancia del canal (fibra óptica), el rendimiento del sistema de comunicación FTTH disminuye. Este hecho se debe sobre todo a la atenuación de la señal óptica durante su propagación, lo que conlleva a

pérdidas entre los datos. En consecuencia, conforme se incrementa la distancia entre la OLT y ONT (canal), la atenuación de la señal es mayor y, por lo tanto, el rendimiento del sistema de comunicación FTTH disminuye. De manera análoga, en la figura 3.8 se observa como disminuye la BER a medida que se incrementa la longitud del enlace óptico.

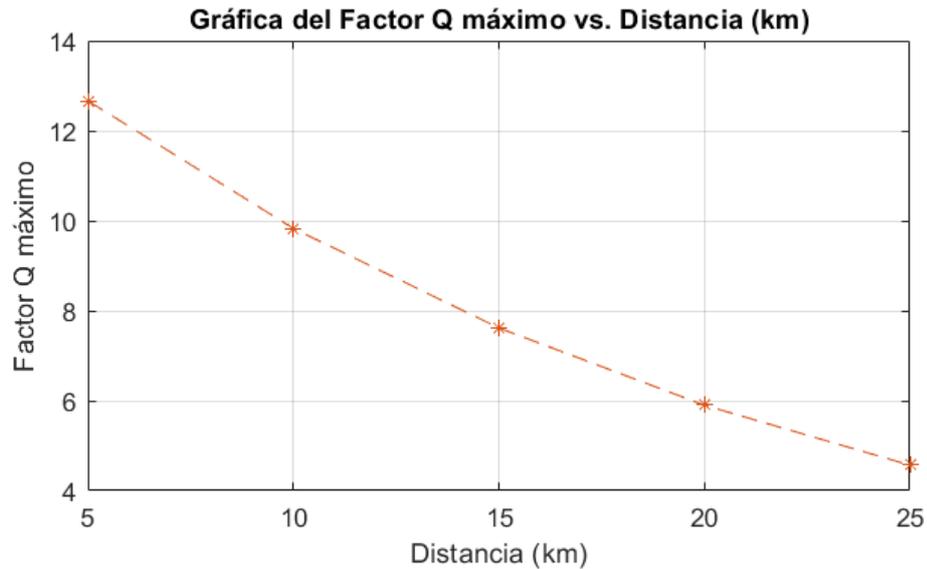


Figura 3. 7: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación para el factor de calidad (Q) con relación a la distancia del enlace óptico.

Elaborado por: Autor.

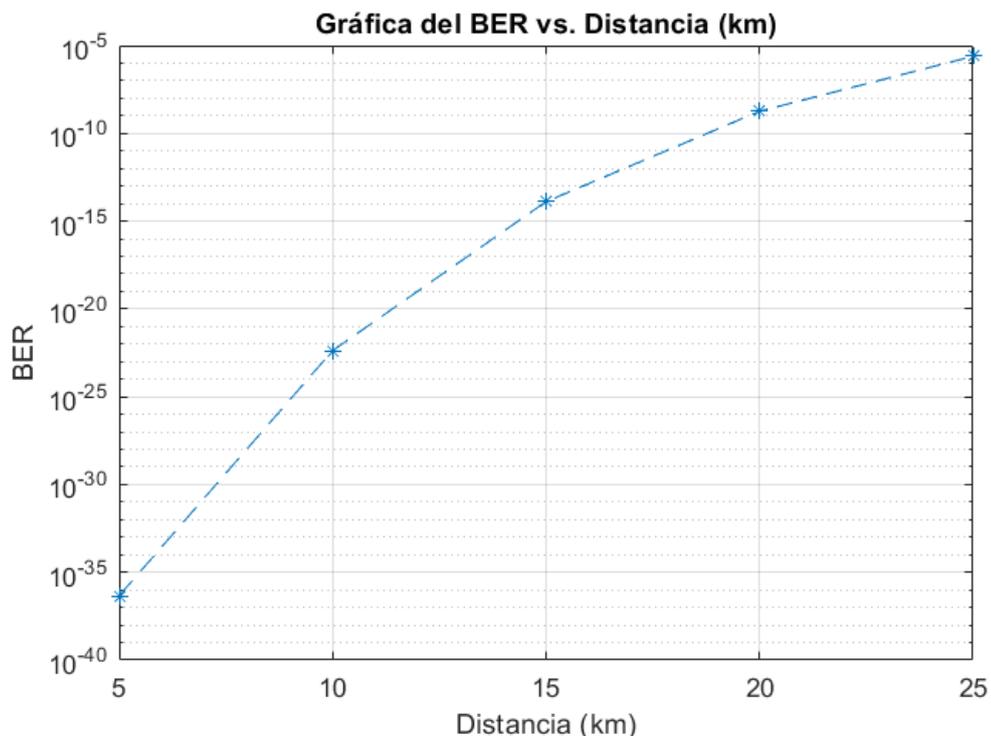


Figura 3. 8: Resultados obtenidos del primer escenario de simulación para la BER con relación a la distancia del enlace óptico.

Elaborado por: Autor.

3.5.2. Escenario 2: Análisis del impacto de la potencia del enlace óptico.

En este caso, hay que estudiar el impacto de la potencia en el rendimiento de la red GPON FTTH. En este sentido, se establece la tasa de bits en 2.5 Gbps con un número de usuarios $N=16$ y una distancia de 16 km, con una variación de la potencia de 5 a 9 dBm. Los resultados son visualizados en el analizador BER que proporciona valores de Q, BER y diagrama de ojos.

Tabla 3. 2: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación.

Potencia del enlace (dBm)	Factor de calidad (Q)	BER
5	4.54758	2.71006e-006
6	5.73834	4.77501e-009
7	7.23828	2.26945e-013
8	9.12723	3.51121e-020
9	11.5038	6.30782e-031

Elaborado por: Autor.

Según las figuras 3.9 y 3.10, se observa un comportamiento de la potencia del sistema de comunicación FTTH que aumenta el rendimiento. Al incrementar la potencia, se mejoraron los valores del factor Q y BER, es decir, una menor BER y con mayor factor Q como consecuencia de una mayor SNR.

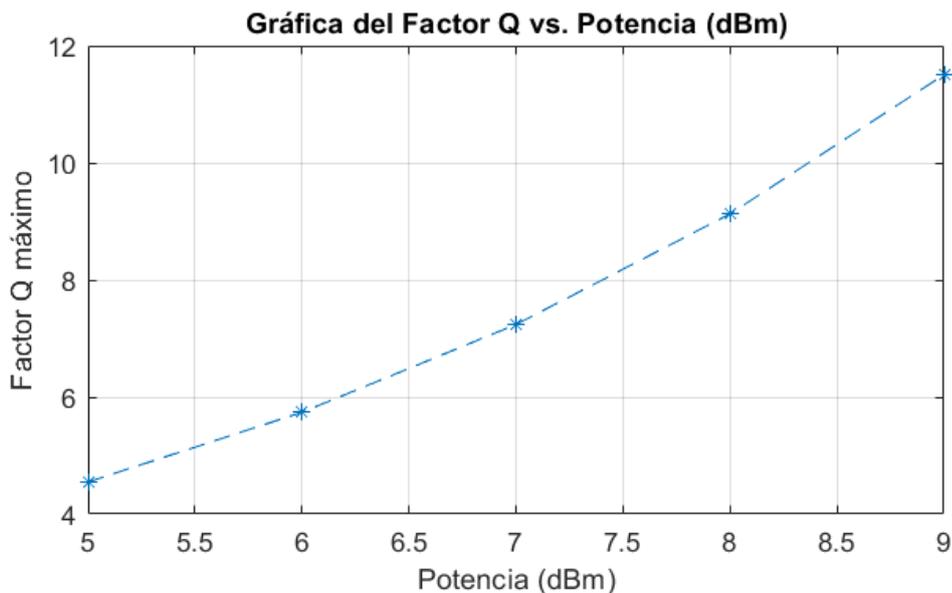


Figura 3. 9: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la Potencia(dBm).

Elaborado por: Autor.

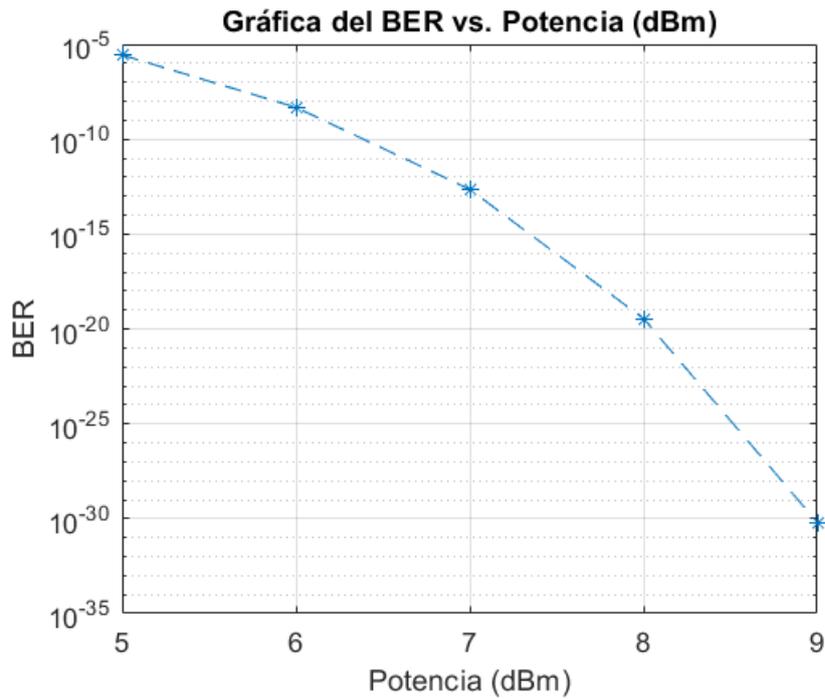


Figura 3. 10: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la Potencia(dBm).

Elaborado por: Autor.

3.5.3. Escenario 3: Análisis del impacto de la cantidad de usuarios del enlace óptico.

Se analiza la influencia del número de usuarios en el rendimiento de una red GPON FTTH, se calcula la calidad del servicio en términos de dos factores (Q, y BER), para mantener la calidad de la transmisión, con un factor $Q > 6$ lo que corresponde a una $BER < 10^{-9}$. Se establece una velocidad de transmisión de bits de 2,5 Gbps, una distancia de 16 km y una potencia de $P=7$ dBm, variando el número de usuarios de 8 a 128.

Tabla 3. 3: Resultados obtenidos del tercer escenario de simulación.

Número de usuarios	Factor de calidad (Q)	BER
8	28.7523	4.23635e-018
16	7.23828	2.26945e-013
32	4.7544	9.92616e-007
64	3.79253	3.43776e-005
128	2.95708	0.00154914

Elaborado por: Autor.

Según la figura 3.11, el rendimiento del sistema disminuye a medida que se incrementa la cantidad de usuarios que se comunican simultáneamente. Este deterioro de la calidad de servicio se explica debido al aumento de las interferencias entre los datos de varios usuarios que se comunican simultáneamente en el canal de transmisión (fibra óptica). Como consecuencia de esta limitación, cualquier usuario que se comunique al mismo tiempo con el usuario deseado tendrá la posibilidad de perturbar la variable de decisión de este último.

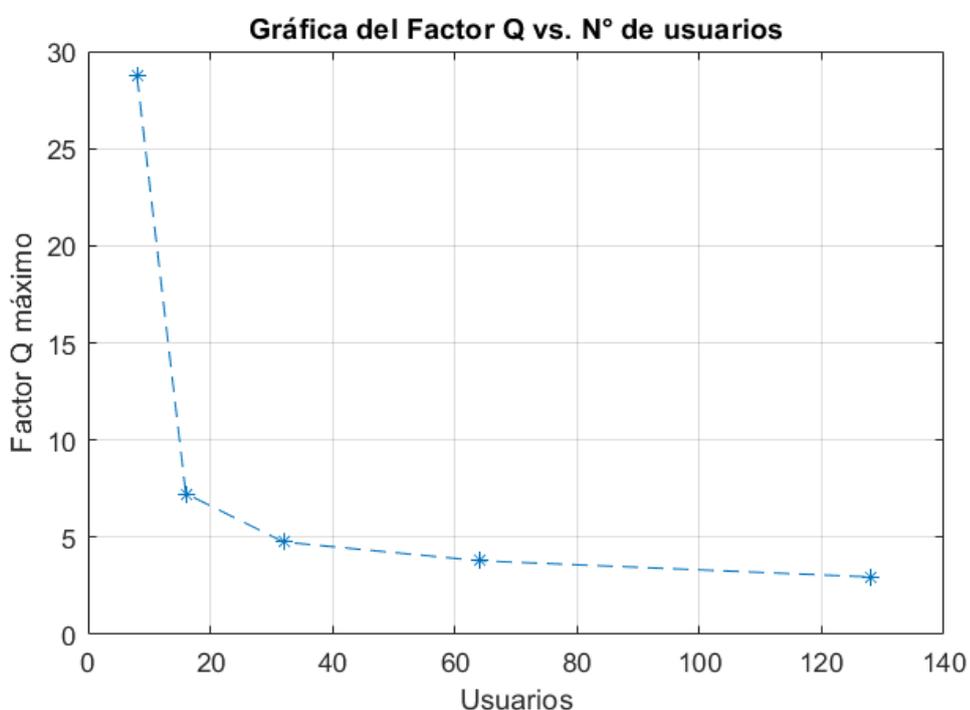


Figura 3. 11: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la cantidad de usuarios conectados.

Elaborado por: Autor.

De manera análoga, en la figura 3.12 se observa como disminuye la BER a medida que se incrementa la cantidad de usuarios conectados al nodo óptico de la red GPON-FTTH.

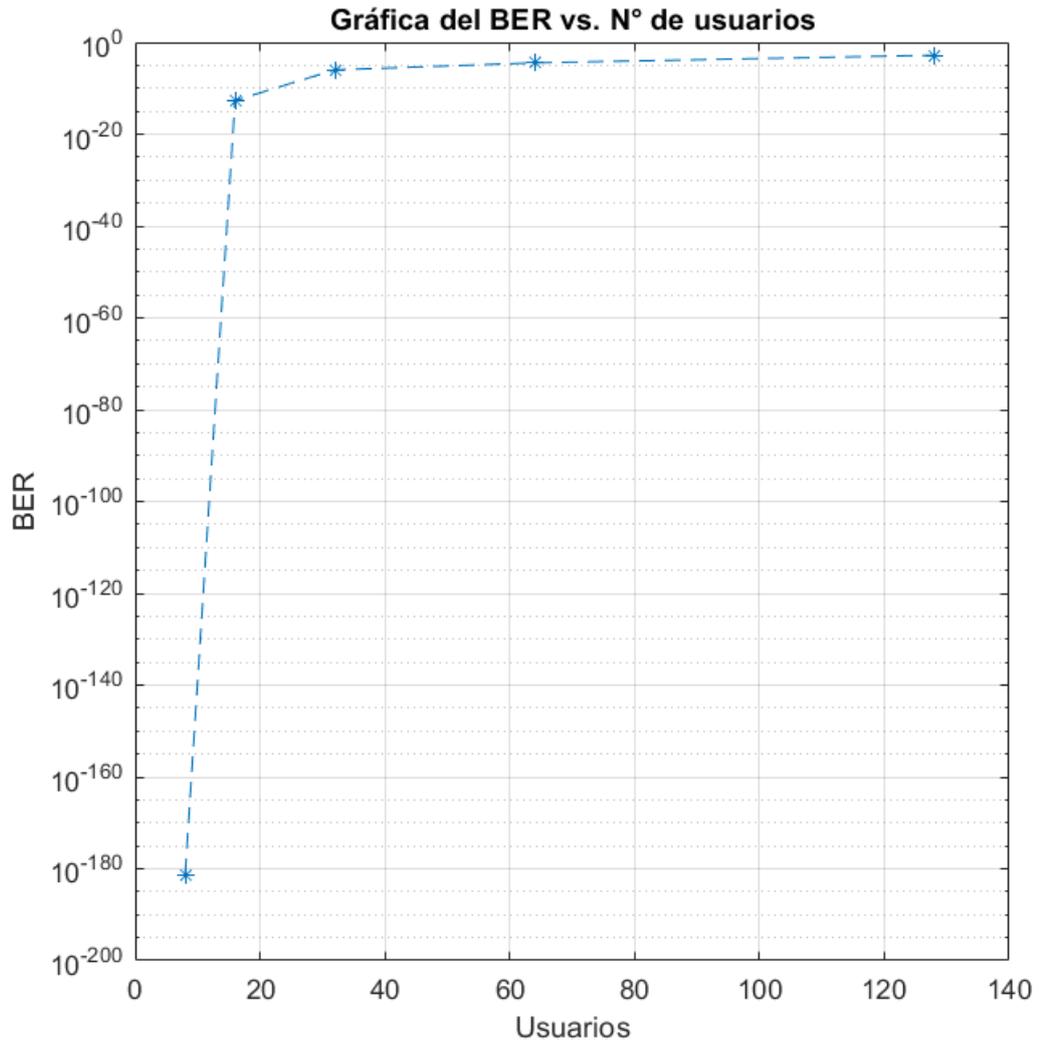


Figura 3. 12: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para la BER con relación a la cantidad de usuarios conectados.
Elaborado por: Autor.

3.5.4. Escenario 4: Análisis del impacto de la velocidad de transmisión del enlace óptico.

La calidad de servicio se calcula en función de dos factores: factor Q, y BER, que permiten mantener la calidad de la transmisión. Como ya se ha mencionado, un factor $Q > 6$, corresponde a una $BER < 10^{-9}$, es decir, estudiar el impacto de la tasa de bits del enlace óptico en el rendimiento de una red GPON FTTH. En este sentido, se establece la cantidad de usuarios en $N=16$ a lo largo de una distancia de 16 km con una potencia de $P=7$ dBm. La velocidad de transmisión varía de 0.5 a 5 Gbps. En la tabla 3.5 se muestra el resumen de los datos obtenidos en la simulación del impacto de la velocidad de transmisión del enlace óptico.

Tabla 3. 4: Resultados obtenidos del cuarto escenario de simulación.

Velocidad de Tx	Factor de calidad (Q)	BER
0.5	15.996	6.80646e-058
1.0	11.3037	6.28184e-030
1.5	9.36421	3.82894e-021
2.0	7.23828	2.26945e-013
2.5	5.07938	1.88969e-007

Elaborado por: Autor.

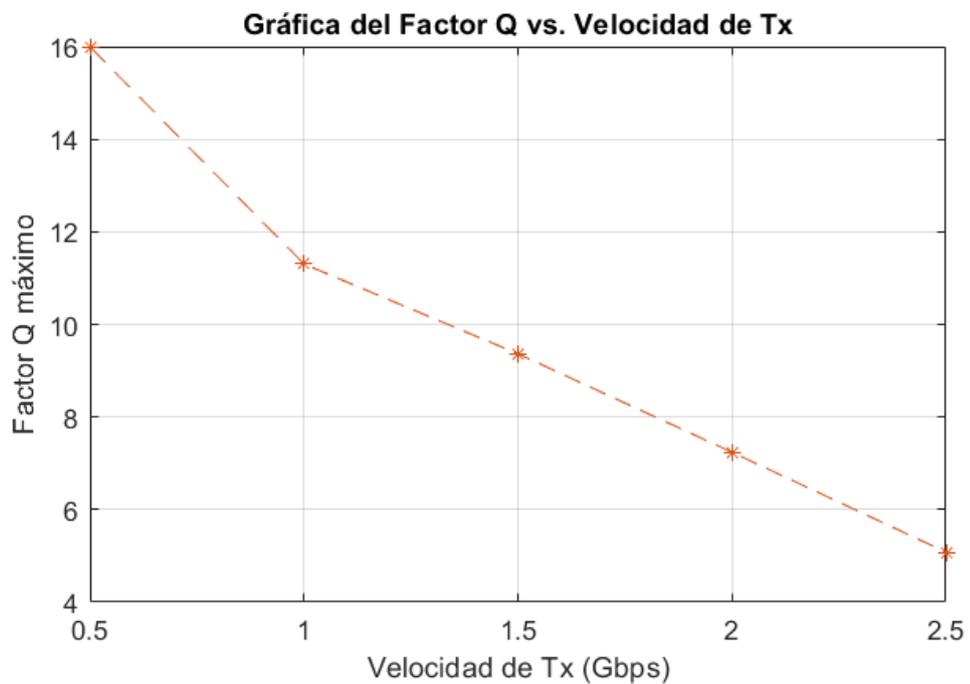


Figura 3. 13: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para el factor Q con relación a la velocidad de transmisión.

Elaborado por: Autor.

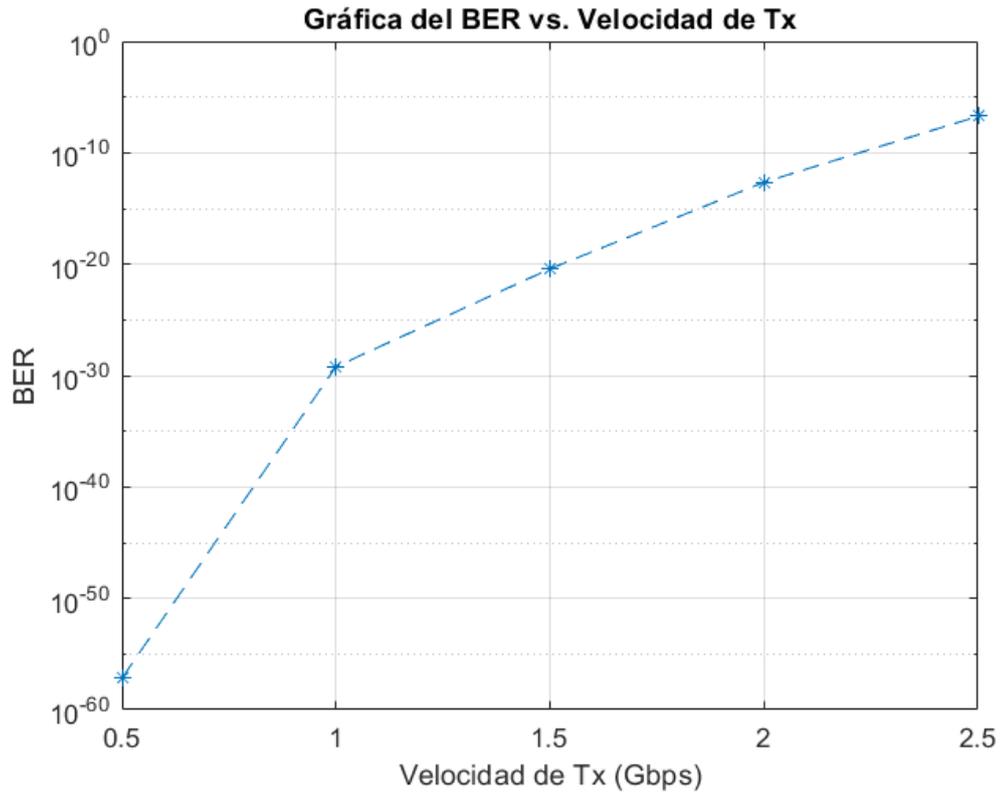


Figura 3. 14: Resultados obtenidos del segundo escenario de simulación para la BER con relación a la velocidad de transmisión.
Elaborado por: Autor.

CONCLUSIONES

- Las redes ópticas pasivas (PON) son adecuadas en términos de ancho de banda. PON es una red punto a multipunto que también mejora la eficiencia de la red y reduce los costes de terminación de esta.
- El rendimiento de la GPON se mide por las variaciones de dos factores como la tasa de error de bits BER y el factor de calidad Q. Si la BER del sistema disminuye, el factor de calidad aumenta y viceversa. Estos resultados han permitido establecer las mejores configuraciones que permiten que la red funcione con una buena calidad de transmisión.
- Por último, se ha estudiado la calidad de transmisión de un enlace GPON mediante el software OPTISYSTEM. Así, se ha demostrado las limitaciones de la longitud del enlace óptico, la velocidad de datos y la capacidad de multiplexación. A través del estudio, se comprueba que la tecnología TDMA mejora el rendimiento de la red GPON con un número reducido de usuarios.

RECOMENDACIONES.

A partir del presente trabajo del examen complejo, se realizan dos recomendaciones para ser consideradas en trabajos de titulación o examen complejo en la carrera de Telecomunicaciones:

- Análisis de las redes de acceso óptico que aprovechan los sistemas de multiplexación por división de longitud de onda.

- Evaluación de un sistema de transmisión óptica multiplexada por división de tiempo de bajo coste.

Bibliografía

- Alban Jaramillo, M. E. (2006). *Metodología de diseño de redes de fibra Óptica*.
<http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/2448>
- Cabezas, A. F., & Pinto G., R. A. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas*
[Monografía, Universidad Militar Nueva Granada].
<http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/11995>
- Espinoza, O. (2021, 27). *Qué es el espectro radioeléctrico y en qué me afecta*.
RedesZone. <https://www.redeszone.net/reportajes/tecnologias/que-es-espectro-radioelectrico/>
- Huszaník, T., Turán, J., & Ovseník, L. (2018). Utilization of 10 Gbps DWDM System with Duobinary Modulation into Passive Optical Network. *Journal of Communications Software and Systems*, 14(4).
<https://doi.org/10.24138/jcomss.v14i4.644>
- ITU. (2021). *UIT-R: Gestión del espectro de frecuencias radioeléctricas a escala mundial*. ITU.
<https://www.itu.int:443/es/mediacentre/backgrounders/Pages/itu-r-managing-the-radio-frequency-spectrum-for-the-world.aspx>
- Llorente, A. (2014, 26). *Cableado de fibra óptica para comunicaciones de datos*. <https://www.fibraoptica hoy.com/cableado-de-fibra-optica-para-comunicaciones-de-datos-1%C2%AA-parte/>
- Macho Ortiz, A. (2012, mayo 31). *Estudio y Caracterización de un Modulador Electroóptico Mach-Zehnder* [Info:eu-repo/semantics/other]. E.T.S.I. Telecomunicación (UPM). <https://oa.upm.es/32771/>
- Migelle. (2021, 13). *¿Tipos de transceiver y cuáles son las diferencias entre transceiver y transpondedor?* Blog.
<https://community.fs.com/es/blog/transceiver-vs-transponder-what-are-the-differences.html>

- OCDE. (2008). *Évolution des technologies de la fibre et de l'investissement en ce domaine*. OCDE. <https://doi.org/10.1787/230507280164>
- Open Up. (2017, junio 20). Diferentes tipos de Fibra Óptica. *Open Up*. <https://www.OpenUp.es/diferentes-tipos-fibra-optica/>
- Pallo Noroña, J. P. (2004). *Estudio de las Redes Ópticas de Acceso DWDM y Factibilidad de ser Implementas en la Zona Central del Ecuador*. <https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/317>
- Rodríguez Bazarro, L. A. (2019). *Análisis de rendimiento de filtros y moduladores ópticos en aplicaciones de redes de acceso utilizando OptiSystem*. <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/12717>
- Sanchis, E., & Ejea, J. B. (2008). *DIODO LÁSER Recombinación de e-h en una*. 43.
- Segura Antúnez, C. (2014, julio 18). *Estudio de la fiabilidad mediante ensayos acelerados de diodos ultravioletas de alta potencia* [Info:eu-repo/semantics/bachelorThesis]. E.T.S.I y Sistemas de Telecomunicación (UPM). <https://oa.upm.es/34006/>
- Zacharias, J., Supriya, S. S., & Narayanan, V. (2018). Full-duplex hybrid FTTH and RoF transport system based on polarization modulators. *Optik*, 175, 256–262. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2018.09.001>

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Cordero Pinos, Xavier Alejandro** con C.C: # 030266646-6 autor del Trabajo de Titulación: **Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH** previo a la obtención del título de **INGENIERO 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, 13 de Mayo del 2022

f. Xavier Cordero

Nombre: Cordero Pinos, Xavier Alejandro

C.C: 030266646-6

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH		
AUTOR(ES)	Cordero Pinos, Xavier Alejandro		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
PROGRAMA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	13 de mayo del 2022	No. DE PÁGINAS:	45
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de Comunicaciones, Comunicaciones Ópticas		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Modulación, Multiplexación, Fibra, Monomodo, Simulación, Rendimiento.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Los avances tecnológicos de las redes de acceso de banda ancha a escala mundial evolucionan con rapidez. Por ejemplo, la tecnología que aplica fibras monomodo proporciona un medio de transmisión de gran capacidad capaz de responder al crecimiento de la demanda de servicios de banda ancha. Conforme los despliegues de fibra se aproximan al cliente y la demanda de ancho de banda se incrementa de manera exponencial, crece la necesidad de fibras optimizadas a nivel de curvatura. Por esto se desarrolló el componente práctico del examen complejo “Modelo de simulación de un enlace punto a multipunto usando la tecnología GPON-FTTH”. En el capítulo 2 se presentan los fundamentos teóricos de las comunicaciones por fibra óptica. A continuación, en el capítulo 3, se presentan los escenarios de simulación y se discuten los resultados obtenidos de las simulaciones para validar el enlace punto a multipunto en una red GPON-FTTH. Por último, el documento termina con una breve conclusión y recomendaciones.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-81853408	E-mail: alejandropinosxc@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Palacios Meléndez Edwin Fernando		
	Teléfono: +593-9-67608298		
	E-mail: edwin.palacios@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):			