



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

CARRERA DE TELECOMUNICACIONES

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED 100 G-PON
PARA PROVEER SERVICIOS DE BANDA ULTRA
ANCHA EN LA CIUDAD DE PELILEO.**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniero en Telecomunicaciones**

AUTOR: Eder Joel Rodríguez Paredes

TUTOR: Germán Vicente Arévalo Bermeo

Quito – Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Eder Joel Rodríguez Paredes, con documento de identificación N°1804576815 manifiesto que:

Soy autor y responsable del presente trabajo; y, autorizo a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Quito, 28 de febrero de 2024

Atentamente,



Eder Joel Rodríguez Paredes

1804576815

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Yo, Eder Joel Rodríguez Paredes, con documento de identificación N°1804576815, expreso mi voluntad y por medio del presente documento cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del Proyecto Técnico: “Diseño y simulación de una red 100 G-PON para proveer servicios de banda ultra ancha en la ciudad de Pelileo.”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero en Telecomunicaciones, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribo este documento en el momento que hago la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero de 2024.

Atentamente,



Eder Joel Rodríguez Paredes

1804576815

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, German Vicente Arévalo Bermeo con documento de identificación N°0103152500, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED 100 G-PON PARA PROVEER SERVICIOS DE BANDA ULTRA ANCHA EN LA CIUDAD DE PELILEO, realizado por Eder Joel Rodríguez Paredes, con documento de identificación N°1804576815, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto Técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, 28 de febrero de 2024

Atentamente,



Ing. German Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

0103152500

DEDICATORIA

Con mucha gratitud, dedico este trabajo técnico a los pilares que sustentan mi vida. A mis padres cuyo amor y sacrificio incondicional son el motivo de mis logros. A mi hermano y familia que con sus palabras de aliento han sido el refugio en los momentos difíciles. A cada lagrima derramada en este largo y difícil camino, porque cada obstáculo ha sido un peldaño hacia esta meta. A las personas que han iluminado mi camino dedico con amor y gratitud este logro.

EDER

AGRADECIMIENTO

A Dios, mi guía celestial fuente de inspiración y fortaleza quien ha guiado mis pasos a lo largo de este camino.

A mi mamá y mi papá por brindarme esas palabras de aliento en cada momento difícil, gracias por su amor incondicional, por ser mis héroes silenciosos y por enseñarme que el esfuerzo y la perseverancia son la semilla hacia el éxito.

A mi hermano, cómplice de alegrías y desafíos, agradezco por ser mi motivación y mi soporte. Tu presencia ha sido una inspiración en mi vida.

A mi respetado tutor Dr. German Arévalo expreso mi agradecimiento, gracias por su comprensión, sabiduría y por creer en mi potencial sin su ayuda este trabajo no hubiera sido posible.

A la Universidad Politécnica Salesiana por ser el escenario donde mis sueños florecieron y a sus docentes que forman profesionales competitivo y sobre todo calidad de seres humanos, gracias infinitas.

EDER JOEL RODRIGUEZ PAREDES

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tabla de contenido

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	i
CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA	ii
CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN.....	11
ABSTRACT	12
CAPÍTULO 1.....	13
1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.3 JUSTIFICACIÓN.....	15
1.4 METODOLOGÍA	16
1.4.1 Paradigma de Investigación.....	16
1.4.2 Tipo de investigación	16
1.4.3 Alcance	16

1.4.4	Unidad de Análisis	16
1.5	Diseño de la investigación.....	16
1.6	MARCO CONCEPTUAL.....	17
1.6.1	FIBRA ÓPTICA.....	17
1.6.2	Fibra Monomodo.....	17
1.6.3	Fibra Multimodo	17
1.7	FTTH.....	18
1.8	Redes GPON	18
1.9	NG-PON	18
1.10	Multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing).....	18
1.11	Arquitectura GPON.....	19
1.12	OLT.....	20
1.13	Spliters.....	20
1.14	Optical Network Unit (ONU).....	20
1.15	Network Access Point (NAP).....	21
	SITUACIÓN ACTUAL.....	22
	CAPÍTULO 2.....	22
2.1	Redes GPON en la actualidad	22
2.2	Elementos que conforman una red GPON	23
2.3	Limitaciones de GPON.....	24
2.4	Presupuesto Energético.....	24

2.5	Escalabilidad	24
2.6	Camino del paquete desde OLT a ONT	25
2.7	Camino desde ONT a OLT	25
	CAPÍTULO 3.....	26
3.	Software de simulación	26
3.1	Optsim.....	26
3.2	Matlab.....	26
3.3	Diseño del trayecto de la red.....	27
3.4	Diseño del entorno de simulación	27
3.5	Generación de la señal	28
3.6	Modulación por amplitud de pulso (PAM2)	28
3.7	No Return to Zero (NRZ)	28
3.8	Generador laser	28
3.9	Modulador de amplitud	28
3.10	Fibra.....	28
3.11	Atenuador	29
3.12	Fotodiodo pin.....	29
3.13	Módulo de recepción de la señal.....	29
	CAPÍTULO 4.....	30

4.1	RESULTADOS.....	30
4.2	Simulación PAM 2 con 25 Gbps	30
4.3	Procedimiento.....	30
4.4	Resultados.....	31
	CAPÍTULO 5.....	34
5.1.	CONCLUSIONES.....	34
5.2.	RECOMENDACIONES.....	34
	Bibliografía	35

ÍNDICE DE FIGURAS

GRÁFICO 1: FIBRA MONOMODO “VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA FIBRA OPTICA.” RECUPERADO DE: HTTPS://XXXAMIN1314.MEDIUM.COM/VENTAJAS-Y-DESVENTAJAS-DE-LA-FIBRA-%C3%B3PTICA-CDF2ADC31732/ (ACCESSED ENERO 02, 2024).....	17
GRÁFICO 2: FIBRA MULTIMOSO “LOS DE FIBRA OPTICA” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW2.UDEC.CL/~JDUPRE/FIBRA/TIPOS.HTML/ (ACCESSED ENERO 02, 2024).....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
GRÁFICO 3: FIBRA MULTIMOSOMULTIPLEXACIÓN WDA “QUE ES WDM?” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.CIENA.COM.MX/INSIGHTS/WHAT-IS/WHAT-IS-WDM_ES_LA.HTMLL/ (ACCESSED ENERO 02, 2024).....	19
GRÁFICO 4: ARQUITECTURA GPON “QUE ES Y COMO FUNVIONA LA TEGNOLOGIA GPON: SECRETOS TECNICOS?” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.REDEZONE.NET/TUTORIALES/REDES-CABLE/TECNOLOGIA-FTTH-GPON-QUE-ES-FUNCIONAMIENTO/ (ACCESSED ENERO 02, 2024)	19
GRÁFICO 5: SPLITER 1X8 “RUTER” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.RUTEA2.COM/PRODUCTO/SPLITTER-1X8-SC-UPC/ (ACCESSED ENERO 03, 2024).....	20
GRÁFICO 6: EVOLUCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE LAS REDES PON “MONOGRAFIAS” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.MONOGRAFIAS.COM/TRABAJOS72/EVOLUCION-REDES-OPTICAS-FUTURO/EVOLUCION-REDES-OPTICAS-FUTURO2/ (ACCESSED ENERO 03, 2024).....	23
GRÁFICO 7: DISEÑO DE UNA RED GPON “QUE ES Y COMO FUNVIONA LA TEGNOLOGIA GPON: SECRETOS TECNICOS?” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.REDEZONE.NET/TUTORIALES/REDES-CABLE/TECNOLOGIA-FTTH-GPON-QUE-ES-FUNCIONAMIENTO/ (ACCESSED ENERO 07, 2024)	25
GRÁFICO 8: SENTIDO DESCENDENTE DEL TRÁFICO “QUE ES Y COMO FUNVIONA LA TEGNOLOGIA GPON: SECRETOS TECNICOS?” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.REDEZONE.NET/TUTORIALES/REDES-CABLE/TECNOLOGIA-FTTH-GPON-QUE-ES-FUNCIONAMIENTO/ (ACCESSED ENERO 07, 2023)	25
GRÁFICO 9: SENTIDO ASCENDENTE DEL TRÁFICO “QUE ES Y COMO FUNVIONA LA TEGNOLOGIA GPON: SECRETOS TECNICOS?” RECUPERADO DE: HTTPS://WWW.REDEZONE.NET/TUTORIALES/REDES-CABLE/TECNOLOGIA-FTTH-GPON-QUE-ES-FUNCIONAMIENTO/ (ACCESSED ENERO 07, 2023)	25
GRÁFICO 10: TRAZADO DE LA RED PRINCIPAL ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ.....	27
GRÁFICO 11: ESQUEMA DE LA RED ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ.....	27
GRÁFICO 12: CONFIGURACIÓN DE LA RED PRINCIPAL ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ.....	32
GRÁFICO 13: DIAGRAMA DE OJO SIMULADO CON PAM2 A 25GBPS ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ	32
GRÁFICO 14: DIAGRAMA DE LOS BITS TRASMITIDOS COMO RECIBIDOS CON PAM2 A 24GBPS ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ.....	33
GRÁFICO 15: BER VS POTENCIA ELABORADO POR EDER RODRÍGUEZ.....	34

RESUMEN

El crecimiento poblacional, la migración a fibra óptica ha crecido de forma exponencial en los últimos años. San Pedro de Pelileo cuenta con una gran población y cada año las tasas de incremento demográfico aumentan, por lo tanto, es un cantón con una considerable cantidad de habitantes que emplean aplicaciones que demandan mayor ancho de banda y velocidad de transmisión.

Existen caseríos en la parte rural por ejemplo Valle Hermoso, en donde el ancho de banda y la velocidad de transmisión se reduce considerablemente a causando de la atenuación de la fibra, el número de splitters, fusiones causando una afectación a la mayoría de los usuarios. La meta principal del presente proyecto técnico consiste en llevar a cabo la planificación de una red de 100 G-PON. para proveer servicios de banda ultra ancha en la ciudad de Pelileo, la cual se basa en multiplexar 4 láseres a distintas longitudes de onda y cada señal de datos tratada con un código de línea NRZ (No Return to Zero) a 25Gbps para garantizar una velocidad de 100 Gbps.

El diseño consta de una OLT ubicada en el caserío Artezón, la red de distribución está dirigida hacia el casco urbano del cantón la primera división es en la parroquia de Pelileo Grande debido a que se tiene como proyección dar servicio a esta parroquia y la ciudad de Patate, la segunda división está en el centro de la ciudad de Pelileo donde se comenzará a distribuir a las ONT.

El diseño y la simulación, así como los cálculos de parámetros principales se realizará en el software OptSim y nos ayudará a comprender más sobre este tema a ser desarrollado.

Palabras claves. — Splitters, NRZ (No Retorno a Cero), ONT

ABSTRACT

Population growth and the migration to fiber optics have experienced exponential growth in recent years. San Pedro de Pelileo has a large population, and each year, demographic growth rates increase. Therefore, it is a canton with a considerable number of inhabitants using applications that demand higher bandwidth and transmission speed.

There are rural hamlets, such as Valle Hermoso, where bandwidth and transmission speed are significantly reduced due to fiber attenuation, the number of splitters, and mergers, causing an impact on the majority of users.

The main goal of this technical project is to carry out the planning of a 100 G-PON network to provide ultra-wideband services in the city of Pelileo. This network is based on multiplexing 4 lasers at different wavelengths, with each data signal treated with NRZ (No Return to Zero) line code at 25 Gbps to ensure a speed of 100 Gbps.

The design includes an OLT located in the hamlet of Artezón. The distribution network is directed towards the urban area of the canton. The first division is in the parish of Pelileo Grande, as there is a projection to provide service to this parish and the city of Patate. The second division is in the center of the city of Pelileo, where distribution to the ONTs will commence.

The design, simulation, and calculations of key parameters will be carried out using the OptSim software, which will help us gain a deeper understanding of this topic under development.

Keywords. – Splitters, NRZ (No Return to Zero), ONT

CAPÍTULO 1

1.1 PROBLEMA DE ESTUDIO

Hoy en día las telecomunicaciones han dado pasos agigantados convirtiéndose en una tecnología fundamental en nuestra vida profesional como personal, provocando que el mercado de las telecomunicaciones crezca e impulsando servicios de ultra banda ancha (Información, 2023).

A lo largo del tiempo las redes de comunicaciones han ido evolucionando exponencialmente de manera que brindan mayores anchos de banda, menor tiempo de retardo y reduciendo costos, aprovechando estos sistemas de información que las empresas en el país brindan como: sistemas de telecomunicaciones, telefonía móvil, comunicaciones vía satélite, televisión en alta definición, redes de comunicaciones de datos, etc. Todos estos servicios tienen como objetivo común organizar, procesar y distribuir la información de forma rápida, eficiente y segura utilizando las tecnologías disponibles en el medio.

Las redes de datos nos permiten implementar diferentes aplicaciones como telefonía, televisión, transferencia de datos y archivos, internet o por medio de la convergencia relacionar sistemas informáticos mediante la tecnología de Rede Óptica Pasiva con Capacidad de Gigabit (Gigabit-capable Passive Optical Network, GPON) brindando n-Play, donde n es la cantidad de servicios provistos al mismo tiempo sin que se afecte la velocidad de transferencia de datos garantizando mayor velocidad y más servicios en un solo medio (Calderón, 22). Pero esta tecnología ya no soporta la oferta de banda ultra ancha (en el orden de los 1000Mb/s a los usuarios), es así que es necesario determinar y diseñar escenarios de implementación de redes PON de nueva generación.

El cantón Pelileo no cuenta con una red PON de nueva generación que permita tener acceso a los servicios de datos, voz o video que satisfagan la necesidad de tener comunicación a Banda Ultra Ancha (Ultra-wideband, UWB), generando la necesidad de realizar el estudio y la elaboración de la red mencionada con tecnología de punta el cual nos brinde mayores ventajas y que permitan conectarse con un solo proveedor de internet sin afectar la conexión y la velocidad de navegación por un solo medio.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular de una red 100 G-PON para proveer servicios de banda ultra ancha en la ciudad de Pelileo.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Recopilar información de las nuevas tecnologías PON.
- Desarrollar un modelo de la red 100GPON para la ciudad de Pelileo y brindar los servicios triple Play en ultra ancho de banda.
- Simular la red previamente desarrollada para la ciudad de “Pelileo” y evaluar su desempeño mediante indicadores (KPIs).

1.3 JUSTIFICACIÓN

Hoy en día la ciudad de Pelileo no cuenta con redes GPON de nueva generación por esta razón surge la necesidad de proponer este proyecto para brindar a la ciudad una red interna que ofrezca servicio Nplay (telefonía fija, internet, televisión en alta definición, wifi para los dispositivos móviles) con ultra ancho de banda, menores precios y por un solo medio esto lo lograremos mediante la tecnología GPON que está basado en la fibra óptica que nos ofrece velocidad, seguridad y confiabilidad.

Se han realizado diversos estudios que abordan la planificación de redes GPON, ya sea para implementar una red nueva o mejorar una existente, como se evidencia en la investigación de tesis realizada por (Gómez Bossano, 2013) y en menor escala se realiza el estudio y las simulaciones de redes NGPON es por este motivo que nos enfocaremos al diseño, simulación y medición de parámetros en la topología que se planteara a posterior dentro de la ciudad de Pelileo.

Por medios de la convergencia GPON podemos combinar múltiples servicios como: datos, voz y video en una unica infraestructura de fibra óptica. La convergencia GPON logra la multiplexación de varios servicios en una sola fibra a través de la asignación de tiempos y longitudes de onda que son específicas para cada servicio dando como resultado infraestructuras de red más simples y reduciendo precios. Los dispositivos GPON que están en los extremos de la red como el Terminal de Línea Óptico (Optical Line Terminal, OLT) en la central y el Terminal de Red Óptico (Optical Network Terminal, ONT) en los hogares son los responsables de la demultiplexación de los sistemas para brindar a los usuarios los servicios de manera independiente (Ivica, 2007).

La Red de Distribución Óptica (Optical Distribution Network ,OND) está formada de elementos pasivos como: conectores, fibra óptica, splitters, ubicados a lo largo de red entre la OLT y la ONT dando una gran ventaja en lo energético debido a que no existe el consumo de energía eléctrica, la ONT es el dispositivo que se encuentra en el extremo del cliente siendo el dispositivo final de la red este es el que proporciona los servicios que el cliente solicita (Zapardiel, 2014).

Gracias a los avances tecnológicos no existe la necesidad de configurar a las ONTs desde el usuario final sino mediante el protocolo de interfaz de control y gestión de terminal de red óptica (ONT Management and Control Interface, OMCI) permite la configuración, administración y supervisión de forma remota desde la OLT (Lacnic, 2015). Con los beneficios mencionados y que nos entregan la tecnología GPON se podrá llegar a todos los hogares ubicados en la ciudad brindando triple play (voz, datos, video) con un servicio de calidad, ultra ancho de banda y que no tengan necesidades de que los usuarios busquen otros proveedores que le brinden servicios adicionales ahorrándoles tiempo y dinero.

1.4 METODOLOGÍA

1.4.1 Paradigma de Investigación.

El enfoque de investigación adoptado es positivista, ya que se centra en la metodología científica, fundamentándose en la obtención de conocimiento a través de una observación objetiva.

1.4.2 Tipo de investigación

La metodología de investigación seleccionada es la cuantitativa, ya que implica el análisis y recolección de datos medibles, los cuales se utilizarán para describir, explicar o predecir algún fenómeno específico.

1.4.3 Alcance

Este proyecto se categoriza como una investigación descriptiva, ya que se centrará en proporcionar una descripción detallada de la red que será simulada, así como de los resultados obtenidos. Es importante recalcar que el alcance del proyecto se limitará al diseño de la red 100 G-PON y no incluirá su implementación.

1.4.4 Unidad de Análisis

Usuarios residenciales de internet del cantón Pelileo

1.5 Diseño de la investigación

El propósito de este proyecto es crear el diseño y simulación de una red de fibra óptica de nueva generación (NG-PON) para el cantón Pelileo, con el objetivo de brindar servicios de internet de banda ancha de alta velocidad a los residentes de la zona.

Se plantea implementar esta innovadora tecnología de fibra óptica hasta el hogar (FTTH) para reemplazar la infraestructura actual y así poder ofrecer mayores velocidades y capacidades a los usuarios residenciales y empresariales.

El diseño incluirá el dimensionamiento adecuado de la red, equipos necesarios, esquema de distribución de fibra óptica, número de splitters requerido, también se realizarán simulaciones para analizar el funcionamiento de la red planteada.

Este proyecto busca que Pelileo cuente con una moderna red de telecomunicaciones que impulse el desarrollo productivo, educativo, empresarial y social de la población, al permitir el uso de aplicaciones y contenidos que demandan un gran ancho de banda.

1.6 MARCO CONCEPTUAL

1.6.1 FIBRA ÓPTICA

Es un medio de transmisión empleado para enviar información mediante pulsos de luz a lo largo de hilos delgados fabricados con materiales como plástico o vidrio. Estas fibras tienen la capacidad de transmitir enormes volúmenes de datos a velocidades excepcionalmente rápidas.

1.6.2 Fibra Monomodo

Se refiere a una fibra óptica que posibilita la transmisión de un único modo de propagación con un ancho de banda expandido, permitiendo llegar a distancias más largas.

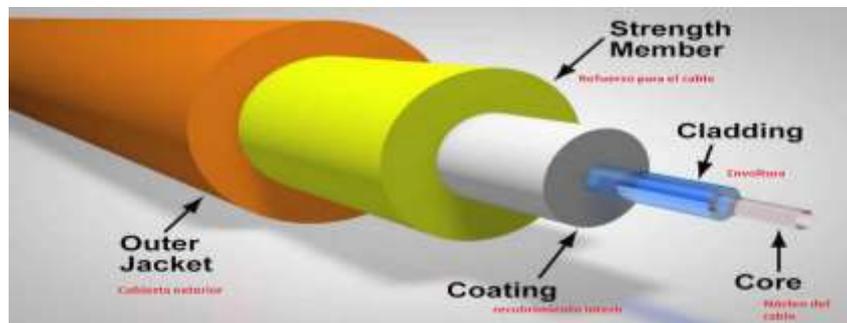


Gráfico 1: Fibra monomodo. Fuente: (Beyondtech, 2017).

1.6.3 Fibra Multimodo

Esta clase de fibra óptica se emplea en comunicaciones de corto alcance, tales como dentro de edificaciones o campus. Los enlaces multimodo tienen velocidades de transmisión de datos que oscilan entre 10 Mbps y 10 Gbps, abarcando distancias aproximadas de unos 600 metros.

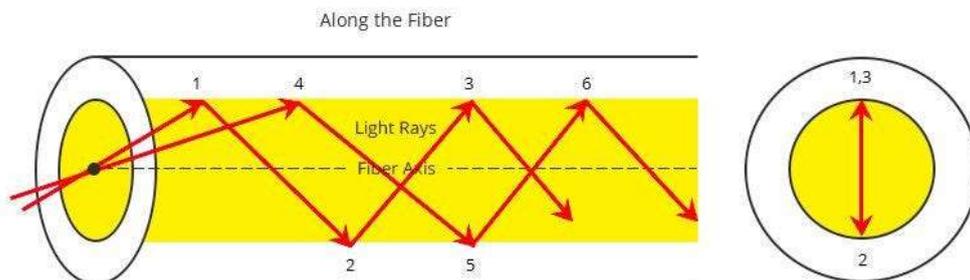


Gráfico 2: Fibra multimodo. Fuente: (Black Box, 2024).

1.7 FTTH

La aplicación de tecnología FTTH involucra el uso de cables de fibra óptica y sistemas de distribución óptica, los cuales se emplean para ofrecer servicios Triple Play, incluyendo conexión a internet de velocidad. Esta avanzada tecnología garantiza velocidades de conexión a banda ancha que destacan por su extraordinario rendimiento, ya sea para actividades de navegación, transmisión de datos o cualquier otro servicio relacionado. Su infraestructura de fibra óptica permite una eficiencia notoria en la transmisión de información, posicionándola como una solución de vanguardia para satisfacer las crecientes demandas de conectividad en la era digital. (Iptel, 2016).

1.8 Redes GPON

A nivel global, las redes GPON son infraestructuras ópticas de acceso más prevalentes. Ofrecen una capacidad de tráfico de hasta 2.5 Gbps en la dirección descendente y 1.25 Gbps en la dirección ascendente, proporcionando estabilidad y capacidad de expansión para conexiones de banda ancha. Dentro de estas redes GPON, destaca un eficiente índice de hasta el 92%, subrayando su habilidad para optimizar la transmisión de datos de manera efectiva y mejorar la calidad de la conectividad para los usuarios finales (Electric, 2021).

1.9 NG-PON

Los requisitos fundamentales de las redes NG-PON se centran en la mejora significativa del ancho de banda y alcance en comparación con las redes GPON. Este mejoramiento se logra al optimizar al máximo la utilización de la red óptica pasiva, que se extiende desde la central hasta los suscriptores y se conoce como Red de Acceso Óptico (ODN). Dada la importancia económica, ya que aproximadamente el 75-85% del costo total de brindar servicios de banda ancha mediante fibra óptica a los usuarios recae en esta infraestructura, el objetivo principal es facilitar la introducción eficiente de nuevos servicios de telecomunicaciones. Entre estos servicios se incluyen opciones avanzadas como televisión y video bajo demanda en alta definición 3D, comunicaciones unificadas, videoconferencias, juegos en línea, computación en la nube, entre otros. La finalidad es proporcionar a los usuarios una experiencia integral y de alta calidad en el campo de las comunicaciones y el entretenimiento (Millán, 2012).

1.10 Multiplexación WDM (Wavelength Division Multiplexing)

La Multiplexación por División de Longitud de Onda es una técnica fundamental en las comunicaciones ópticas que permite la transmisión simultánea de varias señales a través de una fibra óptica utilizando

diferentes longitudes de onda. Cada una de estas longitudes de onda, transporta datos de manera independiente, mejorando así el rendimiento y la capacidad de transmisión de la red.

La multiplexación WDM se clasifica principalmente en dos categorías: WDM Coherente, que proporciona mayor capacidad y flexibilidad en la asignación de frecuencias, y WDM Densa (DWDM), que permite una mayor cantidad de canales en una única fibra, multiplicando significativamente la capacidad de transmisión. Esta técnica es esencial en las redes de fibra óptica modernas, ya que provoca una maximización en la utilización del ancho de banda y facilita la transmisión de grandes volúmenes de datos a través de distancias considerables (Ciena, 2024).

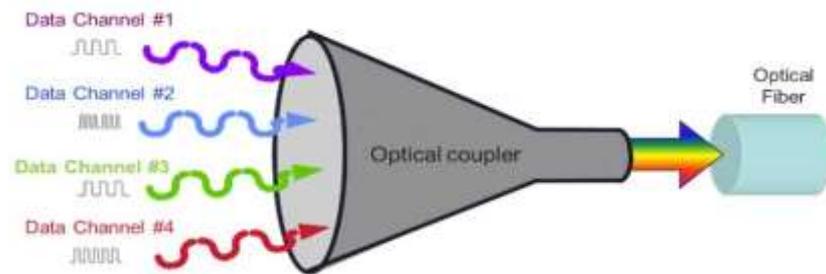


Gráfico 3: Multiplexación WDM. Fuente: (Ciena, 2024).

1.11 Arquitectura GPON

GPON redefine la arquitectura tradicional de Ethernet, que consta de tres niveles, al adoptar una estructura de red óptica de dos niveles. En este enfoque, se prescinde de los switches Ethernet de acceso y distribución, reemplazándolos con dispositivos ópticos pasivos. Este sistema tecnológico se compone de un Terminal de Línea Óptico (OLT), una Red de Distribución Óptica organizada en una topología en árbol y Terminales Ópticos de Red (ONT) ubicados en proximidad a los usuarios. Este diseño eficiente y simplificado permite una gestión más efectiva de la red, reduciendo la complejidad y mejorando la eficiencia en comparación con las arquitecturas convencionales de Ethernet de tres niveles.

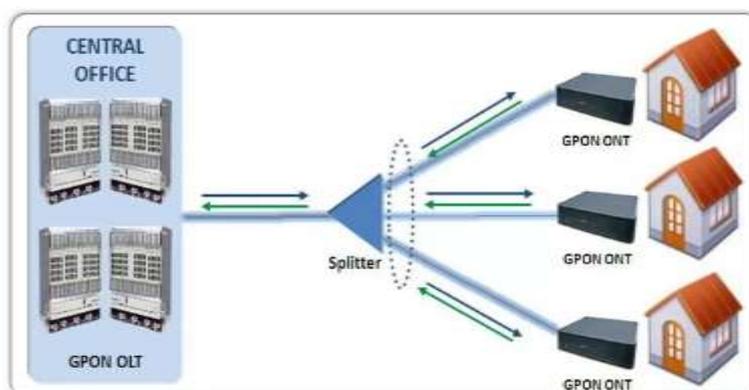


Gráfico 4: Arquitectura GPON. Fuente: (Zone, 2023).

1.12 OLT

La OLT actúa como el núcleo central de toda la red PON, ubicada en el lado del proveedor de servicios de internet. Cumple diversas funciones esenciales, como el control y la gestión de la red PON, la asignación de horarios y bandas de transmisión para cada Unidad de Red Óptica (ONU), así como la determinación de la prioridad de cada servicio. La OLT desempeña un papel crucial al definir los servicios, especificar la cantidad de ancho de banda asignado y establecer las prioridades para cada ONU. Además, envía parámetros como las VLAN y sus interfaces correspondientes a las ONUs.

La OLT también tiene la capacidad de enviar parámetros adicionales a las ONUs, como la configuración de puertos para funciones como NAT, la elección entre protocolos como PPPoE, DHCP, Bridge, entre otros. Incluso puede incluir parámetros inalámbricos. Es importante destacar que la integración efectiva de estos parámetros adicionales funciona de manera óptima cuando la OLT y la ONU son del mismo fabricante. (Cale, 2007).

1.13 Splitters

Un divisor óptico bidireccional utilizado en redes PON (Redes Ópticas Pasivas) de punto a multipunto (P2MP). Este dispositivo cuenta con una entrada desde el puerto F1 y varios puertos de salida. Los divisores son pasivos, lo que quiere decir que no necesitan de una fuente de energía externa, excepto la incidencia de la luz óptica. Son de banda ancha y generan pérdidas debido a que la potencia de entrada se distribuye entre las salidas (en sentido descendente). Estas pérdidas se expresan como pérdidas de división en dB y varían según el número de puertos, como se detalla en la tabla correspondiente. (Inc., 2012).



Gráfico 5: Splitter 1x8. Fuente: (aire.ec, 2023).

1.14 Optical Network Unit (ONU)

La ONU es un dispositivo situado en las instalaciones del usuario dentro de una red óptica. Su aplicación principal es convertir la señal óptica recibida en señales eléctricas. La ONU juega un rol

crucial al garantizar la seguridad y privacidad de los datos transmitidos, asumiendo las tareas de autenticación y control de acceso a la red.

1.15 Network Access Point (NAP)

La caja NAP (Punto de Acceso de Red) es un dispositivo diseñado para organizar y gestionar la distribución de señales en redes. También actúa como un punto de interconexión con otras NAP, permitiendo de esta manera llegar a los clientes finales.

SITUACIÓN ACTUAL

CAPÍTULO 2

2.1 Redes GPON en la actualidad

Las redes de acceso mediante fibra óptica GPON están en pleno auge de adopción a nivel global, estas redes tienen velocidades de hasta 10 Gbps, esta tecnología se posiciona como la opción predilecta para el despliegue masivo de fibra hasta los hogares (FTTH). Impulsadas por la expansión en la solicitud de capacidad de banda ancha, se prevé que para el año 2023 existan sobre 600 millones de abonados conectados mediante redes GPON. Con posibilidad de ofrecer servicios convergentes como internet ultrarrápido, TV 4K, videollamadas en alta definición y aplicaciones en la nube, las redes GPON seguirán su expansión apoyada en el desarrollo de estándares como NG-PON2, XGS-PON, así como en las inversiones de los principales operadores de telecomunicaciones. Espero esta introducción de 10 líneas le proporcione un panorama condensado pero informativo del presente y futuro prometedor que tienen las redes de fibra óptica GPON a nivel global (Narayanan, 2018).

Existen varios estudios previos que abordan el diseño de redes GPON, tanto para implementaciones nuevas como para actualizaciones de redes existentes. Un ejemplo es la tesis de grado de Gómez Bossano (2013), que realiza el diseño de una red GPON en una situación real. Sin embargo, los estudios sobre el diseño e implementación de redes NGPON (next generation PON) de nueva generación son más limitados. Por lo general se encuentran análisis teóricos o simulaciones a pequeña escala.

No existen investigaciones que traten puntualmente sobre el diseño e implementación de una red 100G-PON para la ciudad de Pelileo. Tampoco estudios de este tipo de red aplicados a nivel de una ciudad intermedia en el contexto ecuatoriano.

De igual manera no se ha encontrado estudios que aborden específicamente el diseño e implementación de una red 100G-PON para la ciudad de Pelileo. Tampoco estudios de este tipo de red aplicados a nivel de una ciudad intermedia en el contexto ecuatoriano, sin embargo, la tecnología de red 100G-PON específicamente es bastante reciente, por lo que ahora se han enfocado más en el desarrollo teórico.

Evolución de estándares de redes PON desde GPON				
Estándar	Año	Velocidad Downstream	Velocidad Upstream	Implementación
GPON	2003	2.5 Gbps	1.25 Gbps	Masiva
10G-EPON	2009	10 Gbps	10 Gbps	Incipiente
XG-PON1	2010	10 Gbps	2.5 Gbps	Creciente
NG-PON2	2010	40 Gbps	10 Gbps	Limitada
XGS-PON	2016	10 Gbps	10 Gbps	En despliegue
100G-EPON	2021	100 Gbps	100 Gbps	Investigación
100G-PON	2022	100 Gbps	100 Gbps	Investigación

Gráfico 6: Evolución e Implementación de las redes PON. Fuente: (ITU-T, 2010).

Como se puede apreciar, inicialmente nos basamos en GPON, aprovechando sus velocidades significativas de 2.5 Gbps y 1.25 Gbps, lo que facilitó una amplia aceptación a nivel global. Posteriormente, surgieron los estándares XG-PON1 y NG-PON2 como evoluciones directas para continuar aumentando el ancho de banda disponible. Las tecnologías más recientes se centran en alcanzar velocidades simétricas de hasta 100 Gbps, tanto para redes EPON como para GPON (ITU-T, 2010).

2.2 Elementos que conforman una red GPON

- OLT
- ONT/ONU
- Splitter
- ODN
- OLT Management System
- Pigtails
- Patch Cables
- OLT Power Supply
- ONT Power Supply

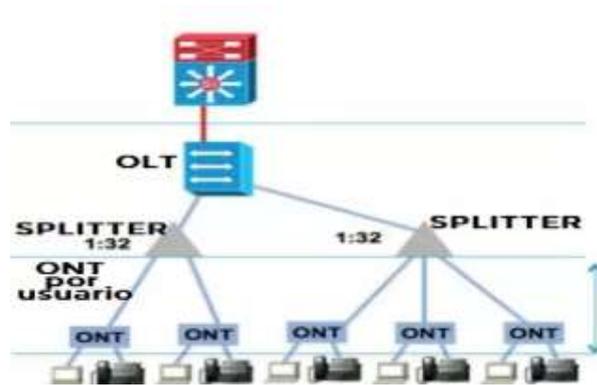


Gráfico 7: Diseño de una red GPON. Fuente: (Zone, 2023).

2.3 Limitaciones de GPON

- Alcance de la red: 20 km.
- Tasa de: 2.48832 Gbps de descarga y 1.24416 Gbps de subida.
- Ancho de banda compartido: Varios usuarios comparten el mismo ancho de banda en una única fibra óptica. Si muchos usuarios están activos al mismo tiempo, puede haber congestión y reducción del rendimiento.
- Latencia: A pesar de que la latencia en GPON suele ser baja, no es tan baja como en algunas tecnologías de acceso de fibra óptica punto a punto. Esto puede afectar aplicaciones que son sensibles a la latencia, como juegos en línea y videoconferencias

2.4 Presupuesto Energético

En toda red óptica existe el balance del enlace en el cual se toma en cuenta las pérdidas de potencia óptica, estas pérdidas se pueden insertar de varias formas, como:

- Pérdida por Splitter (spliter 1x4= 7dB, spliter 1x8= 10.5dB)
- Pérdida en la fibra (aproximadamente 0,22 dB por km).
- Pérdida en fusión (0,05 dB).
- Perdidas por conectores (0.15dB).

2.5 Escalabilidad

Otro aspecto positivo del GPON es su capacidad, tanto en términos de estructura como de operación, para facilitar una evolución futura hacia XG-PON. Esto implica que, en el futuro próximo, es posible llevar a cabo esta transición hacia XG-PON utilizando la misma infraestructura de fibra existente. Esto beneficia a la tecnología GPON, brindando una flexibilidad que permite adaptarse y adoptar tecnologías más avanzadas sin necesidad de modificar la infraestructura básica de fibra.

2.6 Camino del paquete desde OLT a ONT

La transmisión de información desde la ONT hacia la OLT se dirige a los usuarios finales. Durante la transmisión ascendente de paquetes, se emplea la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA). La determinación de la distancia entre la OLT y la ONT constituye parte del proceso.

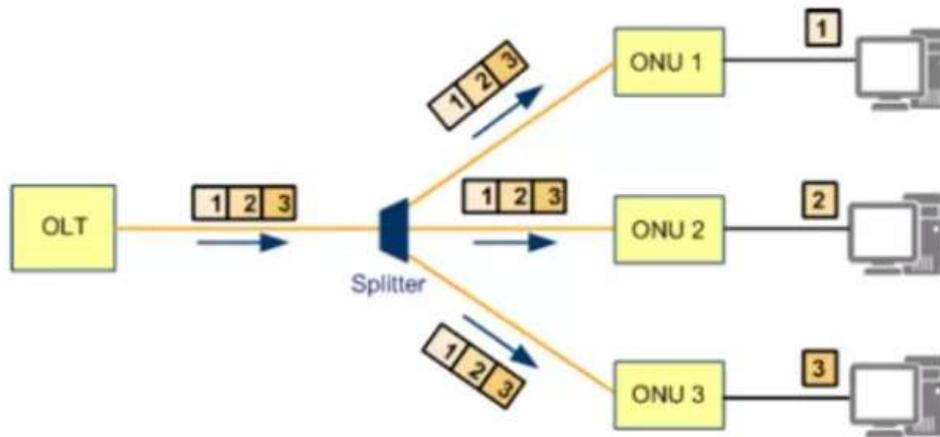


Gráfico 8: Sentido descendente del tráfico. Fuente: (Zone, 2023).

2.7 Camino desde ONT a OLT

El flujo de tráfico se envía desde la ONT hacia la Terminal de Línea Óptica (OLT) dirigida a los usuarios finales. Durante la transmisión ascendente de paquetes de datos, se implementa la técnica de TDMA. Asimismo, se efectúa la medición de la distancia entre la OLT y la ONT

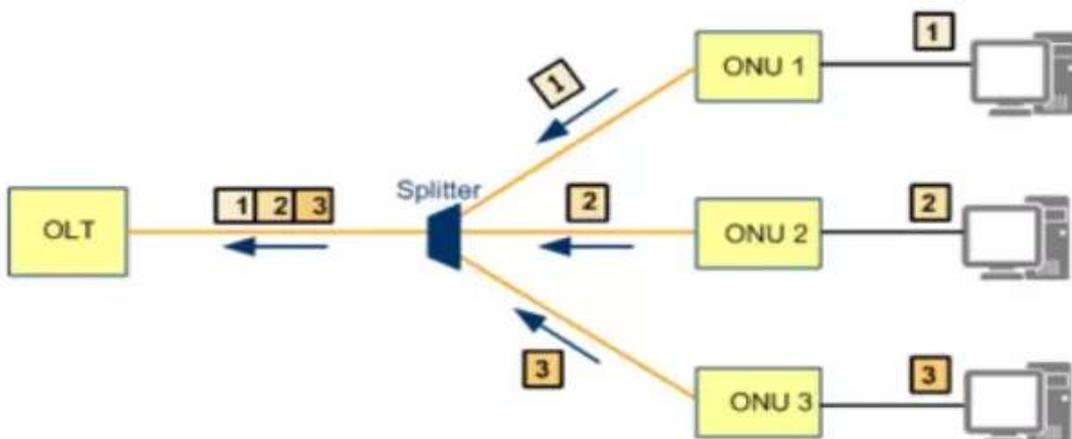


Gráfico 9: Sentido ascendente del tráfico. Fuente: (Zone, 2023).

CAPÍTULO 3

3. Software de simulación

Para el presente estudio se han empleado dos programas, la primera es Optsim® que sirvió para simular la transmisión de la red PON y la aplicación de Matlab® que nos permite integrar los elementos lógicos en el transmisor como en el receptor.

3.1 Optsim

La herramienta de software a la que te refieres, disponible comercialmente desde 1998, tiene como función principal el diseño y simulación de sistemas de comunicación óptica. Su propósito es evaluar el rendimiento de un sistema de transmisión. Destaca por contar con una interfaz sencilla para el usuario, ya que sus equipos virtuales son muy similares a los de un laboratorio físico (Group, 2011), algunas de las características tenemos:

- Modelado de componentes y sistemas: atenuación, dispersión cromática y polarización, ruido.
- Análisis y visualización de señales: diagramas de ojo, diagramas de constelación, batimentos, formas de onda.
- Compatibilidad con Matlab, Python y C++ para programación y conexión con modelos personalizados

3.2 Matlab

Matlab constituye una plataforma de cómputo numérico que proporciona un entorno de desarrollo integrado, acompañado de su propio lenguaje de programación. Permite realizar análisis de datos, algoritmos, modelado de sistemas y aplicaciones de ingeniería. Matlab posibilita la simulación computacional gracias a sus extensas librerías especializadas, sin necesidad de compilación previa para la ejecución de los programas. Entre sus principales rasgos se encuentran:

- Interfaz orientada a resolver inconvenientes técnicos.
- Lenguaje de cuarta generación centrado en el cálculo matricial.
- Herramientas para la visualización gráfica de información y diagramas adaptables.
- Funcionalidades para procesamiento y análisis de señales, con capacidad de crear aplicaciones con interfaces de usuario.
- conectividad con lenguajes de programación como C, C++, Java, Python y plataformas como NET, SQL, Hadoop y Excel.

3.3 Diseño del trayecto de la red

En la gráfica que se muestra a continuación se encuentra la trayectoria que tendrá la fibra óptica desde la OLT ubicada en el caserío Artezón hasta el cantón Pelileo esta trayectoria tiene una distancia de 5.5 Km en este punto se ha decidido poner un splitters 1x8 pensando en un futuro dar servicios a dicha parroquia como también llegar al cantón de Patate, desde la OLT hacia el punto más lejano existe una distancia máxima de 6 km, el segundo nivel se encuentra en el casco urbano del cantón donde se realizará las redes de distribución hasta las ONT.

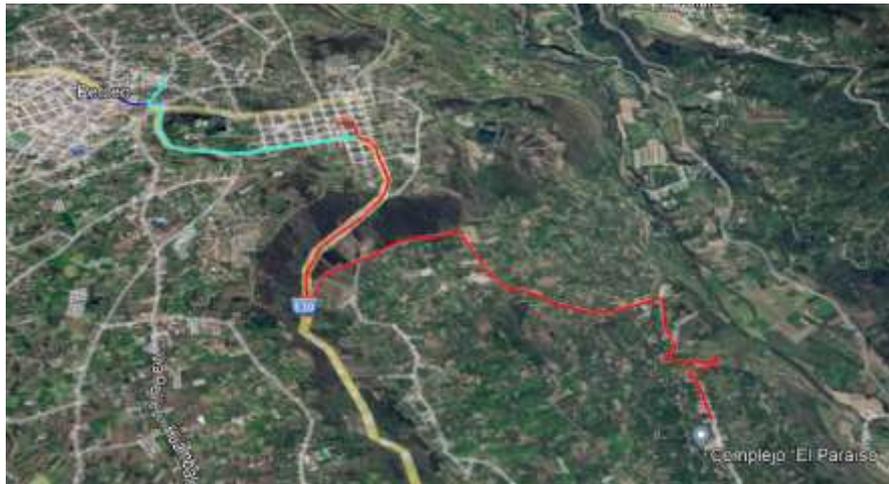


Gráfico 10: Trazado de la red principal. Fuente: Eder Rodríguez.

3.4 Diseño del entorno de simulación

En este proyecto, se ha concebido una red PON que incluye los tres elementos esenciales: transmisión, transporte y recepción. Cada uno de estos elementos cuenta con los componentes necesarios que serán configurados según las diversas situaciones planteadas en la simulación.

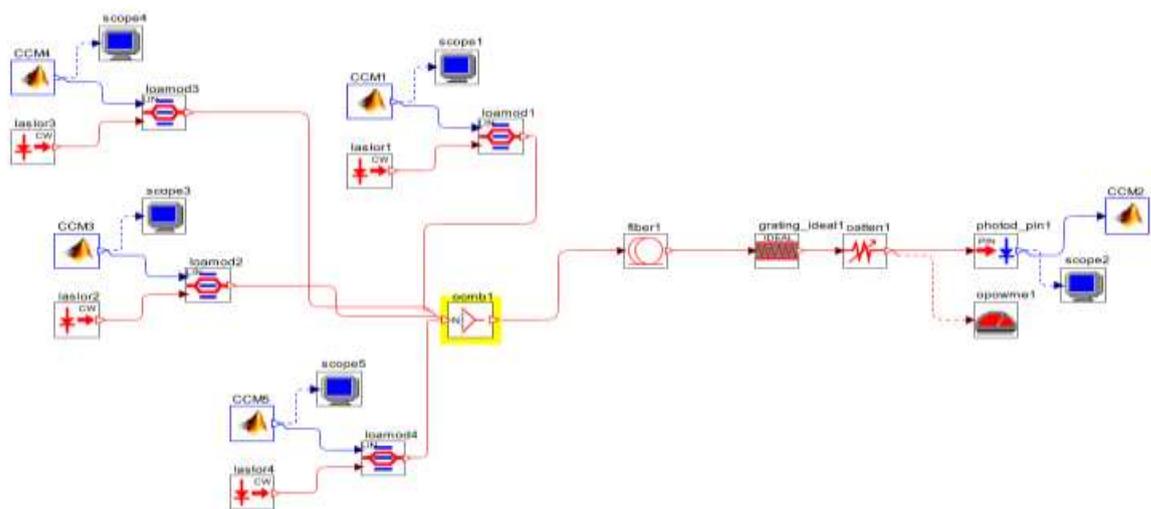


Gráfico 11: Esquema de la red. Fuente: Eder Rodríguez.

3.5 Generación de la señal

La señal está siendo generada en el bloque CCM1 en Matlab, este genera un flujo de bits aleatorios de 105000 bits con un código de línea NRZ y modulación PAM 2, se ha configurado la cantidad de muestras por ciclo, en la ejecución del programa se va a poder observar la gráfica de bits transmitidos para posteriormente poder comparar con los bits que llegan a la recepción

3.6 Modulación por amplitud de pulso (PAM2)

Es una técnica de modulación que tiene como objetivo modular la amplitud de una señal portadora en pulsos discretos para transportar información, en PAM 2 se utilizan 2 amplitudes distintas para la representación de los símbolos binarios 0 y 1 los valores pueden ser +V para representar un 1 o un -V para representar un cero.

3.7 No Return to Zero (NRZ)

NRZ es un popular formato para transmisión de datos binarios que codifica los bits/símbolos sin volver la señal a cero entre transmisiones, las principales ventajas son, su sencillez para ser implementado, sincronización fácil y permite altas velocidades de transmisión.

3.8 Generador laser

En la simulación se utilizó un láser Lorentziano, es un láser de onda continua, emite potencias ópticas constantes en el tiempo permitiendo que no tenga fluctuaciones de intensidad, tiene un espectro de emisión que está centrado en los 1550 nm con un ancho de 10MHz.

3.9 Modulador de amplitud

El modulador de amplitud Mach-Zehnder (MZM) es un dispositivo empleado para convertir la señal eléctrica en señal óptica. Algunas de sus características principales son:

- Utiliza interferencia de ondas en dos brazos para transformar una señal eléctrica a una señal óptica modulada en amplitud.
- Puede operar desde algunos MHz hasta ~50 GHz dependiendo del diseño.
- El ancho de banda óptico no presenta limitaciones significativas, puede modular señales ópticas en todo el espectro de comunicaciones por fibra (bandas O, S, C, L).

3.10 Fibra

Se empleó una fibra monomodo configurada con una distancia de 6 km, presentando una pérdida de 0,25 dB/km y una dispersión de 17 ps/nm*km. Esta fibra tiene un diámetro de núcleo de 8,3 μm y una

apertura numérica de 0,12. Se seleccionó este tipo de fibra óptica monomodo debido a que presenta baja atenuación y alto ancho de banda, permitiendo transmitir a altas velocidades y largas distancias. La longitud de 6 km de la fibra utilizada en la simulación corresponde a las distancias típicas entre la central y los usuarios finales en las redes de acceso ópticas desplegadas sobre el terreno.

3.11 Atenuador

El diseño de la red está compuesto por un atenuador óptico de amplitud, en este módulo se modificarán los valores de atenuación para determinar el desempeño de la red midiendo la potencia recibida. El atenuador óptico permite simular las pérdidas que ocurren durante la propagación de la señal a través de la fibra y componentes de la red como conectores, empalmes y splitters. Al variar la atenuación insertada, se puede analizar cómo afecta a la calidad y nivel de señal en el receptor final tras su recorrido por toda la red óptica. Esto posibilita dimensionar adecuadamente los límites admisibles de atenuación y potencia para un funcionamiento óptimo del sistema.

3.12 Fotodiodo pin

Este dispositivo es el encargado en transformar la señal óptica en señal eléctrica, ideal para alta tasa de transmisión tiene bajo ruido y eficiente conversión optoeléctrica. En la simulación se configurará su ancho de banda a 25 GHz.

3.13 Módulo de recepción de la señal

Se creó un módulo especializado en MATLAB para llevar a cabo la demodulación de una señal eléctrica a datos binarios. Este módulo se destaca por su capacidad para personalizar el nivel de Modulación por Amplitud de Pulso (PAM), así como para ajustar el número de muestras en relación con el módulo de generación y establecer umbrales de amplitud específicos para cada señal. Además de generar el diagrama de ojo, el módulo realiza un análisis exhaustivo al calcular el BER y utiliza una gráfica representativa de bits recibidos como herramienta de control y evaluación del desempeño.

En el marco del modelo Optsim, se incorporaron otras configuraciones clave, como la fijación del número de muestras por bit a 8. Además, se realizaron ajustes precisos en el bitrate, expresado en Giga Baudios por segundo, necesario para alcanzar las velocidades propuestas. Asimismo, se definió un tiempo de ensayo o timespan para asegurar que al menos una muestra de 105,000 bits, previamente configurada en la etapa de generación, llegue de manera íntegra a la fase de recepción, garantizando así la robustez y confiabilidad del sistema.

CAPÍTULO 4

4.1 RESULTADOS

Los resultados obtenidos durante la simulación se estructurarán de manera sistemática en una tabla, y utilizando MATLAB, se generará un gráfico que represente el BER en función de la potencia. Es importante destacar que se llevarán a cabo variaciones en la atenuación con incrementos de 0.5dB para explorar la relación entre la atenuación y el rendimiento del sistema. Este enfoque permitirá analizar cómo cambios graduales en la atenuación afectan la tasa de errores, proporcionando así una comprensión detallada de la sensibilidad del sistema a diferentes niveles de atenuación.

4.2 Simulación PAM 2 con 25 Gbps

Los parámetros utilizados para la ejecución de la simulación son los siguientes:

- Se utilizó una fibra óptica con una longitud de 6 km.
- La atenuación fue ajustada de manera variable en dB.
- La pérdida asociada a la fibra fue establecida en 0.25 dB/km.
- Se incorporó una compensación por dispersión de -340 ps/km.
- La muestra consistió en la transmisión de 105,000 bits.
- Se tomaron 8 muestras por cada bit transmitido.
- El tiempo total de transmisión se fijó en 3500 ns.
- Ancho de banda 25 Ghz

4.3 Procedimiento

Se inicia el diseño de la red 100 G-PON utilizando los elementos mencionados y los valores especificados.

1. Definir el tiempo de simulación en nanosegundos (ns) (ej. para 25Gb/s NRZ, 105000 bit Tx = 3500 (ns))
2. Definir un punto de partida para medir el BER: un valor de atenuación.
 - a. Limitar el tiempo de simulación a 100 veces menos que el total y habilitar la visualización del diagrama del ojo.
 - b. viendo el diagrama del ojo definir el nivel de umbral del receptor, la muestra inicial y bits perdidos
 - c. comentar el diagrama de ojo y correr la simulación con el tiempo total de simulación rescrito
 - d. observar el BER y jugar con la nuestra inicial, apuntar a un valor del BER optimo y la potencia

en el receptor

3. A partir del punto de partida subir o bajar la atenuación en este caso con saltos de dB y repetir el punto dos

4.4 Resultados

Se ha definido un punto de partida para la simulación al establecer una atenuación inicial que ofrece el menor valor posible para el Rango del BER. A partir de este punto inicial, se procederá a aumentar gradualmente la atenuación, incrementando su valor de manera progresiva. Este proceso continuará hasta alcanzar un nivel de BER que ya no cumpla con los criterios aceptables para la transmisión eficiente de datos.

En este escenario, se ha seleccionado un punto de inicio específico para la atenuación, estableciéndolo en 38 dB. Este enfoque permitirá realizar un análisis detallado de cómo la variación en la atenuación afecta el rendimiento del sistema, proporcionando información valiosa sobre el rango de atenuación en el cual el sistema mantiene un nivel aceptable de rendimiento antes de que se observe un deterioro significativo en la calidad de la transmisión.

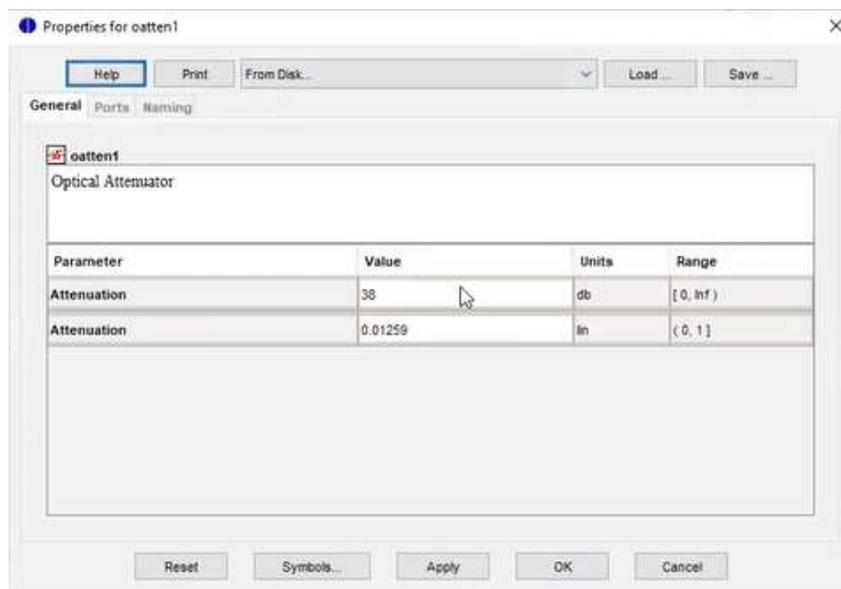


Gráfico 12. Configuración de la atenuación inicial. Fuente: Generado en OptSim.

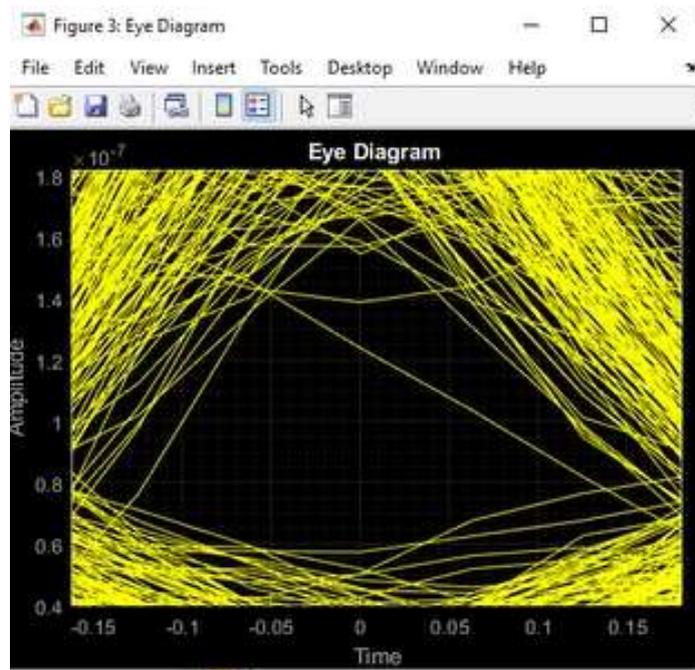


Gráfico 13. Diagrama de ojo simulado con PAM 2 a 25 Gbps. Fuente: Generado en Matlab.

Es necesario realizar una evaluación visual entre la gráfica de los bits transmitidos como de los bits recibidos, observando así que no existen pérdida de bits llegando así la señal con todos sus niveles.

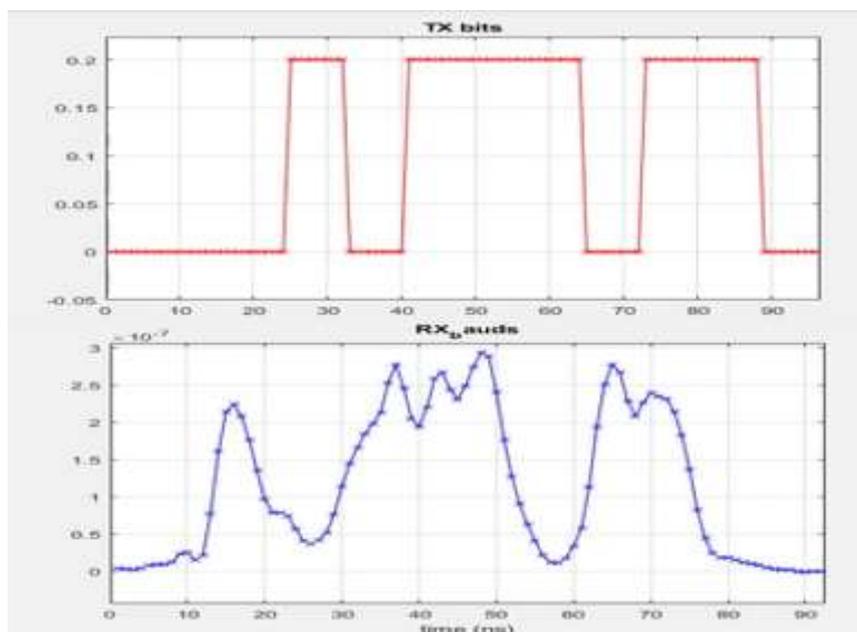


Gráfico 14. Diagramas de los bits transmitidos como recibidos con PAM 2 a 25 Gbps. Fuente: Generado en Matlab.

A partir de los resultados obtenidos en diversas simulaciones, donde se ha ajustado la atenuación de manera incremental, se ha construido una gráfica que visualiza la relación entre el BER y la potencia. En esta representación gráfica, se aprecia que a medida que la atenuación aumenta, especialmente a

velocidades de transmisión de 25 Gbps, se produce un aumento significativo en el BER. Este comportamiento señala una mayor pérdida de datos, indicando que la red se vuelve menos confiable bajo condiciones de atenuación elevada.

La interpretación de estos resultados sugiere que la confiabilidad de la red está comprometida a medida que la atenuación aumenta, especialmente a velocidades de transmisión más altas. Este análisis contribuye a comprender la sensibilidad del sistema ante las variaciones en la atenuación y destaca la necesidad de mantener niveles óptimos para preservar la integridad de la transmisión de datos en la red.

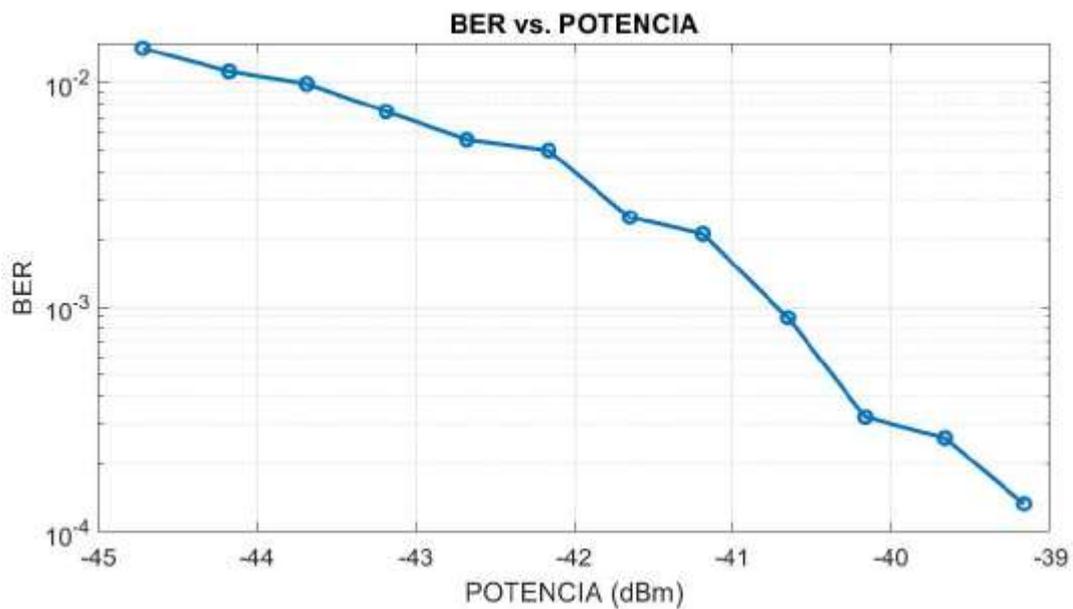


Gráfico 15. BER vs Potencia. Fuente: Generado en Matlab.

La interpretación de estos resultados sugiere que la confiabilidad de la red está comprometida a medida que la atenuación aumenta, especialmente a velocidades de transmisión más altas. Este análisis contribuye a comprender la sensibilidad del sistema ante las variaciones en la atenuación y destaca la necesidad de mantener niveles óptimos para preservar la integridad de la transmisión de datos en la red.

CAPÍTULO 5

5.1. CONCLUSIONES

- La recopilación de información sobre las nuevas tecnologías PON fue fundamental para estar al tanto de las últimas tendencias en infraestructuras de redes de fibra óptica, esto proporciono una visión clave para tomar decisiones informadas en la implementación de servicios de banda ancha.
- En el presente proyecto de tesis se demostró la factibilidad técnica de diseñar una red 100G PON en base a la multiplexación de 4 señales PAM 2 - NRZ cada una operando a 25Gbps.
- El diseño y la simulación de un modelo de red 100 GPON en la ciudad de Pelileo para brindar servicios triple play en ultra ancho de banda representa un paso significativo hacia la mejora de la conectividad y la oferta de servicios para los habitantes.
- Mientras más atenuaciones tenga la red PON y a velocidades de transmisión de datos, como por ejemplo los 25Gbps que se utilizaron en la simulación, el BER crece provocando más bits errados de igual manera la dispersión cromática aumenta exponencialmente.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para futuros temas de investigación se recomienda utilizar una modulación PAM 4 empleando 2 láseres que operen a 50Gbps y realizar un análisis del diagrama de ojo, así como también de sus respectiva grafica del BER vs la potencia.
- Realizar un estudio y determinar la posibilidad de transmitir con un solo laser con PAM 8 a 100 Gbps.

Bibliografía

aire.ec. (2023). Quito.

Calderón, P. (2022). *Las redes de datos nos permiten implementar diferentes aplicaciones como telefonía, televisión, transferencia de datos y archivos, internet o por medio de la convergencia relacionar sistemas informáticos mediante la tecnología de Rede Óptica Pasiva con Ca.* Guayaquil.

Cale, I. (2007). *Gigabit Passive Optical Network - GPON*. Cavtat.

Ciena. (2024). *¿Qué es WDM o DWDM?* Mexico.

Electric, F. (2021). *GPON y FTTx: ¿cómo funcionan y cuál es su relación?* Brasil.

Group, R. D. (2011). *OptiSystem: Component Library Guide*.

Inc., E. E.-O. (2012). *La Guía FTTH PON*. Canadá.

Información, M. d. (2023). *CON RESULTADOS POSITIVOS EN ECUADOR CONMEMORAMOS EL DÍA NACIONAL DE LAS TELECOMUNICACIONES*. Quito.

Iptel. (2016). *¿Que es FTTH o Fibra Óptica al Hogar?* Arentina.

ITU-T. (2010). *G.989.3, Recomendación ITU-T*.

Ivica, C. (2007). *Gigabit Passive Optical Network - GPON. Proceedings of the ITI 2007 29th Int. Conf. on Information Technology Interfaces*. Cavtat, Croatia .

Lacnic. (2015). *Redes Masivas de Ultima Milla*.

Marchukov, Y. (2011). *“Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH”*. GANDIA.

Millán, R. (2012). *NG-PON (Next Generation Passive Optical Network)*.

Narayanan, R. (2018). *Next generation PON evolution: 10G PON deployment status and experience*.

Zapardiel, J. P. (2014). *DISEÑO DE UNA RED DE ACCESO MEDIANTE FIBRA OPTICA* . Madrid.

Zone, R. (2023). *Qué es y cómo funciona la tecnología GPON: secretos técnicos*. Madrid.