

Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA
COORDINACIÓN DE POSGRADO



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA**

Trabajo de Titulación como requisito previo para la obtención del título de
Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de
TI

**PROPUESTA DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA
LA MIGRACIÓN DEL ESTÁNDAR GPON HACIA EL ESTÁNDAR
XGS-PON EN UN ISP DE LA CIUDAD DE CUENCA.
CASO DE ESTUDIO: OLT4-MONAY DE LA EMPRESA CITYCOM**

Autor: Hernán Damián Duy Romero

Director: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Quito, 29 de agosto de 2023.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, HERNÁN DAMIÁN DUY ROMERO, con CI. 0105871412, autor del trabajo de graduación intitulado: “PROPUESTA DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA MIGRACIÓN DEL ESTÁNDAR GPON HACIA EL ESTÁNDAR XGS-PON EN UN ISP DE LA CIUDAD DE CUENCA. CASO DE ESTUDIO: OLT4-MONAY DE LA EMPRESA CITYCOM”, previo a la obtención del título profesional de Magíster en Tecnologías de Información mención Gestión y Administración de TI, de la Facultad de Ingeniería.

1.- Declaro tener conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, en 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 graduación 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 Pontificia Universidad Católica del Ecuador a difundir a través de su sitio web de la biblioteca el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de la Universidad.

Quito, 2023



Firmado electrónicamente por:
HERNAN DAMIAN DUY
ROMERO

HERNÁN DAMIÁN DUY ROMERO
CI. 0105871412

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: “Propuesta de la factibilidad técnica y económica para la migración del estándar GPON hacia el estándar XGS-PON en un ISP de la ciudad de Cuenca. Caso de estudio: OLT4-MONAY de la empresa Citycom”, presentado por el maestrante HERNÁN DAMIÁN DUY ROMERO, titular de la Cédula de Identidad N° 0105871412 para optar al Grado de Magíster en Tecnologías de la Información mención Gestión y Administración de TI, considero que dicho Trabajo de Investigación reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la evaluación por parte de los Lectores – Evaluadores que se designen para tal fin por parte de las autoridades de la Facultad de Ingeniería.

En la ciudad de Quito, a los 29 días de agosto de 2023.



GERMÁN VICENTE ARÉVALO BERMEO

C.I. 0103152500

garevalo893@puce.edu.ec

NRO TELEFONO: 0991572515

NOTA:

Se comunica que en el servicio de análisis Turnitin, el referido trabajo de titulación alcanzó el siguiente resultado: 5 % índice de similitud con otras fuentes.

TURNITIN: INCLUIR HOJA DEL INFORME CON EL PORCENTAJE

PROPUESTA DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA
PARA LA MIGRACIÓN DEL ESTÁNDAR GPON HACIA EL
ESTÁNDAR XGS-PON EN UN ISP DE LA CIUDAD DE CUENCA.
CASO DE ESTUDIO: OLT4-MONAY DE LA EMPRESA CITYCOM

INFORME DE ORIGINALIDAD

5%

INDICE DE SIMILITUD

4%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

Submitted to Pontificia Universidad Catolica
del Ecuador - PUCE

Trabajo del estudiante

3%

2

repositorio.unicauca.edu.co:8080

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.utn.edu.ec

Fuente de Internet

1%

4

docplayer.es

Fuente de Internet

1%

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD

Yo, Hernán Damián Duy Romero, con cédula de ciudadanía 0105871412, declaro que todos los resultados obtenidos durante el desarrollo de este trabajo de titulación, previo a la obtención del grado de Magíster en Tecnologías de la Información mención Gestión y Administración de TI, son de mi autoría, auténticos y originales.

Por lo que declaro que el contenido, las conclusiones y los efectos legales y académicos que se desprendan de este trabajo son y serán de mi sola y exclusiva responsabilidad legal y académica.

Declaro que todo resultado académico que continúe con esta investigación y que se difunda tendrá como filiación la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, reconociendo al director de este trabajo de titulación en la autoría.



Hernán Damián Duy Romero
CI: 0105871412

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	15
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.1. Formulación del problema	19
1.2. Objetivos de la Investigación.....	21
Objetivo General	21
Objetivos Específicos	21
1.3. Justificación de la Investigación	21
CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	23
2.1. Antecedentes de la Investigación	23
2.2. Bases Teóricas	23
2.2.1. La fibra óptica	23
2.2.2. Tipos de fibras ópticas	24
2.2.3. Redes de acceso ópticas pasivas (PON)	25
2.2.4. Arquitectura de una red PON.....	25
2.2.5. Elementos que conforman la arquitectura de una red PON.....	27
2.2.6. Estándares para redes PON.....	29
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	34
3.1. Tipo de Investigación	34
3.2. Diseño de Investigación	34
3.3. Unidades de Estudio.....	35
Población.....	35
Muestra	35
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	35
3.5. Técnica de Análisis de Datos	37
3.6. Operacionalización de Variables	37
CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA RED GPON IMPLEMENTADA POR LA EMPRESA CITYCOM.....	39
4.1. Descripción de la empresa.	39
4.2. Descripción actual de la red GPON.....	39
4.2.1 Descripción de la red de distribución primaria.....	39
4.2.2 Descripción de la red de distribución secundaria	41
4.3. Análisis de los costos mínimos necesarios para un despliegue de la red GPON.....	41

CAPÍTULO V: FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN DE LA OLT BASADA EN

TECNOLOGÍA GPON HACIA EL ESTÁNDAR XGS-PON DE NUEVA GENERACIÓN	43
5.1. Factibilidad técnica	44
5.1.1. Escenario de coexistencia entre GPON y XGS-PON	44
5.2. Factibilidad económica	51
CAPÍTULO VI: SIMULACIÓN DE LOS ESTÁNDARES GPON Y XGS-PON	57
6.1. Simulación del estándar GPON	57
6.2. Simulación del estándar XGS-PON	69
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
REFERENCIAS.....	82
ANEXOS	83

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Operacionalización de Variables.	37
Tabla 2: Nomenclatura y etiquetado de las cajas de distribución primarias y secundarias correspondientes a la OLT4-MONAY	40
Tabla 3: Costo aproximado de los carretes de fibra óptica para desplegar una red de distribución óptica.....	42
Tabla 4: Costo aproximado de los componentes activos terminales para interconectar al proveedor de servicio con el usuario.....	42
Tabla 5: Costo aproximado de los componentes pasivos correspondientes a la red de distribución óptica.....	42
Tabla 6: Planes de internet con fibra óptica proporcionados por la empresa Citycom	43
Tabla 7: Costos referenciales de las tarjetas Huawei XGS-PON (no incluyen impuestos)	51
Tabla 8: Costos referenciales de las ONT Echolife marca Huawei (no incluyen impuestos).....	52
Tabla 9: Costos referenciales de los módulos WDM1r marca Huawei (no incluyen impuestos)	52
Tabla 10: Elementos seleccionados para realizar la migración hacia XGS-PON (no incluyen impuestos)	52
Tabla 11: Análisis del costo referencial para realizar la migración completa hacia el estándar XGS-PON	52
Tabla 12: Coexistencia de usuarios que recibirán servicio a través de GPON y XGS-PON	53
Tabla 13: Costo de migración de 600 clientes al estándar XGS-PON.....	54
Tabla 14: Costo de migración de 200 clientes al estándar XGS-PON.....	55
Tabla 15: Costos totales de cada escenario planteado	55
Tabla 16: Planteamiento de los nuevos planes con tecnología XGS-PON a ser ofertados con los respectivos costos.....	56
Tabla 17: Análisis de costos para la recuperación de la inversión.....	56
Tabla 18: Parámetros técnicos del puerto de transmisión de la OLT y del puerto de recepción de la ONT del cliente en estudio.....	57
Tabla 19: Caracterización de la fibra óptica correspondiente al feeder	61
Tabla 20: Caracterización de los splitters y la fibra óptica	61
Tabla 21: Parámetros para caracterizar la red FTTH	62
Tabla 22: Parámetros medidos tanto de potencia receptada como BER para diferentes valores de atenuación.	66
Tabla 23: Parámetros técnicos a simular en XGS-PON.....	69
Tabla 24: Parámetros medidos tanto de potencia receptada como BER para diferentes valores de atenuación	75

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 1: Estructura de la fibra óptica.	24
Figura 2: Tipos de fibras ópticas.	25
Figura 3: Arquitectura de una red PON.	25
Figura 4: Arquitecturas FTT-X.	26
Figura 5: Tipos de enlaces FTT-X.	27
Figura 6: Terminal de línea óptica OLT.	28
Figura 7: Splitter óptico 1:N.	28
Figura 8: ONT Huawei tipo Bridge.	29
Figura 9: ONT Huawei con sistema wireless incorporado.	29
Figura 10: Coexistencia entre los estándares GPON y XGS-PON.	30
Figura 11: <i>Coexistencia entre GPON y XGS-PON sobre la misma ODN.</i>	31
Figura 12: Cálculo online del tamaño de la muestra.	35
Figura 13: Encuesta realizada para conocer el interés del cliente en cuanto a mejorar o no su servicio de internet.	36
Figura 14: Distribución de cajas NAP primarias conectadas a la OLT4-MONAY.	40
Figura 15: Distribución de las cajas NAP secundarias correspondientes a la OLT4-MONAY.	41
Figura 16: Coexistencia entre GPON con XGS-PON.	44
Figura 17: Multiplexación de las longitudes de onda tanto de GPON como XGS-PON a través del módulo WDM1r.	45
Figura 18: Coexistencia en la red FTT-X entre GPON con estándares de nueva generación con la implementación del módulo WDM1r.	45
Figura 19: Módulo WDM1r y su implementación dentro de un subrack en el centro de datos junto con la OLT.	46
Figura 20: Módulo WDM1r con dos entradas compartidas entre GPON y estándares de nueva generación y dos salidas con coexistencia entre estándares.	46
Figura 21: Módulo WDM1r1801 y su implementación dentro de un subrack y su existencia junto con la OLT en el centro de datos.	47
Figura 22: Módulo WDM1r con 8 entradas compartidas entre GPON y estándares de nueva generación y cuatro salidas con coexistencia entre estándares.	47
Figura 23: Tarjeta óptica H902CSHF Board con 16 puertos XGS-PON.	48
Figura 24: Tarjeta óptica H902XSHF Board con 16 puertos XGS-PON.	49
Figura 25: Tarjeta óptica H902FLHF Board con 16 puertos XGS-PON.	49
Figura 26: ONT Echolife HN8010Ts tipo Bridge compatible con XGS-PON.	50
Figura 27: ONT Echolife HN8250Ts con WiFi incluido.	50
Figura 28: ONT Echolife HN8255Ws con wireless incluido.	51
Figura 29: Resultado obtenido en cuanto al porcentaje de clientes interesados en acceder a planes de mayor ancho de banda.	53
Figura 30: Resultado obtenido en cuanto al porcentaje de clientes interesados en acceder a un plan de mejores prestaciones a pesar de tener que cancelar un valor económico adicional.	53
Figura 31: Simulación del transmisor óptico GPON correspondiente a un puerto de la tarjeta de la OLT.	58
Figura 32: Transmisor óptico junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas transmitidas.	58
Figura 33: Espectro en frecuencia de la señal RF transmitida en banda base.	59
Figura 34: Visualización del espectro óptico modulado.	59
Figura 35: Tasa de bits aleatorios transmitidos.	60
Figura 36: Potencia óptica a la salida del transmisor.	60
Figura 37: Simulación de la red de fibra óptica junto con los niveles de división óptica necesarios.	61
Figura 38: Red de fibra óptica con los respectivos medidores de potencia para el análisis de pérdidas.	62
Figura 39: Visualización de las potencias recibidas en cada nivel de splitting.	62
Figura 40: Red FTTH.	63
Figura 41: Etapa de recepción junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las	

señales ópticas recibidas	63
Figura 42: Espectro RF recibido posterior a la aplicación del filtrado.	64
Figura 43: Tasa de bits aleatorios en el receptor.....	64
Figura 44: Tasa de bits aleatorios transmitidos vs recibidos.	65
Figura 45: Diagrama de ojo de la señal óptica recibida.....	65
Figura 46: Potencia receptada en la ONT.....	66
Figura 47: Gráfica de la potencia de recepción vs BER	67
Figura 48: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 1 dB en el receptor	67
Figura 49: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 2 dB en el receptor	68
Figura 50: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 3 dB en el receptor	68
Figura 51 Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 4 dB en el receptor	68
Figura 52: Topología de red GPON simulada.	69
Figura 53: Simulación del transmisor óptico XGS-PON correspondiente a un puerto de la tarjeta de la OLT.....	69
Figura 54: Transmisor óptico junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas transmitidas	70
Figura 55: Espectro en frecuencia de la señal RF transmitida en banda base.....	70
Figura 56: Visualización del espectro óptico modulado.....	71
Figura 57: Tasa de bits aleatorios transmitidos.....	71
Figura 58: Potencia óptica a la salida del transmisor.....	72
Figura 59: Red de distribución óptica heredada para la implementación del estándar XGS-PON.....	72
Figura 60: Visualización de las potencias recibidas en cada nivel de splitting.....	72
Figura 61: Red FTTH	73
Figura 62: Etapa de recepción junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas recibidas	73
Figura 63: Espectro RF recibido posterior a la aplicación del filtrado.	73
Figura 64: Tasa de bits aleatorios en el receptor.....	74
Figura 65: Tasa de bits aleatorios transmitidos vs recibidos.	74
Figura 66: Diagrama de ojo de la señal óptica recibida.....	74
Figura 67: Potencia receptada en la ONT.....	75
Figura 68: Gráfica de la potencia de recepción vs BER	76
Figura 69: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 4 dB en el receptor	76
Figura 70: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 6 dB en el receptor	76
Figura 71: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 8 dB en el receptor	77
Figura 72: Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 9 dB en el receptor	77
Figura 73: Gráfica correspondiente a la potencia recibida vs BER tanto para GPON como XGS-PON.	77
Figura 74: Gráfica comparativa de potencia recibida vs BER tanto para GPON como XGS-PON ...	78
Figura 75: Topología de red GPON simulada.	78

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

**PROPUESTA DE LA FACTIBILIDAD TÉCNICA Y ECONÓMICA PARA LA
MIGRACIÓN DEL ESTÁNDAR GPON HACIA EL ESTÁNDAR XGS-PON EN UN
ISP DE LA CIUDAD DE CUENCA.
CASO DE ESTUDIO: OLT4-MONAY DE LA EMPRESA CITYCOM**

Autor: Hernán Damián Duy Romero

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 29-08-2023

RESUMEN

El presente trabajo se basa en un estudio de la factibilidad técnica y económica, para que en un futuro se pueda ejecutar una migración progresiva hacia el estándar de nueva generación XGS-PON (10 Gigabit Capable Symmetric Passive Optical Network) a partir del estándar GPON (Gigabit Capable Passive Optical Network) desplegado por el proveedor de servicio de internet “Citycom” en la ciudad de Cuenca.

Se tomará en consideración a una cantidad aproximada de 2000 usuarios, entre residenciales y corporativos que se encuentran conectados en la OLT denominada OLT4-MONAY y que reciben el servicio de internet a través de fibra óptica bajo el estándar GPON. Además, se plantearán diferentes escenarios en donde se analizarán los costos económicos necesarios para realizar una migración completa o parcial aprovechando que los estándares GPON y XGS-PON pueden coexistir sobre la misma red de distribución óptica mediante el uso de dispositivos adicionales, los cuales pueden ser agregados en el centro de datos.

Adicionalmente, se realizará un estudio técnico en cuanto a los dispositivos activos necesarios para realizar la migración hacia el estándar de nueva generación. Se verificará la compatibilidad de la actual OLT instalada en el centro de datos de la empresa “Citycom” con el estándar XGS-PON, las tarjetas ópticas necesarias para migrar la OLT de forma completa o parcial y el módulo necesario para permitir la coexistencia de los estándares sobre la misma infraestructura pasiva que ya se encuentra instalada. Se analizará también los diferentes equipos ópticos terminales (ONT) que son compatibles con XGS-PON para ser instalados en el domicilio del cliente, permitiéndoles recibir su servicio de internet a través de este estándar de nueva generación.

Finalmente, se realizará una simulación a través del software Optisystem para analizar la respuesta del estándar GPON y XGS-PON en cuanto al cliente que más distante se encuentra de la OLT. Mediante la verificación de los parámetros de potencia óptica recibida en la ONT se obtendrán diferentes diagramas de ojo para verificar la calidad de recepción de los datos que se tendrá en el usuario final. Se insertarán diferentes valores de atenuaciones adicionales a la red, estableciendo un umbral de potencia óptica de recepción que asegure que los datos transmitidos desde la OLT sean recibidos en la ONT.

Palabras clave: GPON, XGS-PON, OLT, ONT, fibra óptica, splitter, NAP, WDM1r, factibilidad, Optisystem, migración, internet, diagrama de ojo, BER, longitud de onda, simulación, FTTH, coexistencia, costos.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRIA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN MENCIÓN GESTIÓN
Y ADMINISTRACIÓN DE TI

**TECHNICAL AND ECONOMICAL FACTIBILITY PROPOSAL TO MIGRATION
FROM GPON STANDARD TO XGS-PON STANDARD IN AN ISP OF CUENCA'S
CITY
CASE OF STUDY: OLT4-MONAY OF CITYCOM'S COMPANY**

Autor: Hernán Damián Duy Romero

Director -Tutor: Germán Vicente Arévalo Bermeo, PhD.

Fecha: 29-08-2023

ABSTRACT

This project is a study about the technical and economical factibility, so that in a future, the company can migrate to a new generation standard like XGS-PON (10 Gigabit Capable Symmetric Passive Optical Network) since GPON standard (Gigabit Capable Passive Optical Network) built by “Citycom”, an internet service provider of the Cuenca’s city.

We will examine about 2000 users, between residential and corporate clients that are linked in the OLT called OLT4-MONAY and received their service through GPON with optical fiber. Also, we will analyze different cases where we will study the prices to do a complete migration or partial migration, in the second case, taking advantage the coexistence between GPON and XGS-PON standards in the same optical distribution network through the use of additional devices, which can be installed in the data center.

Also, we will realize a technical study about the active devices that are necessary to do the migration to the new generation standard. We will study the compatibility of the OLT that is installed in the data center of Citycom’s company with XGS-PON standard, the optical cards that are necessary to migrate the OLT complete or partial and the necessary device to allow the coexistence between the standards over the same passive infrastructure installed. We will study the different optical network terminal devices that are compatible with XGS-PON to be installed in the client’s home, allowing have the internet service through this new generation standard.

Finally, we will realize a simulation with Optisystem to analyze the response of GPON and XGS-PON with the farthest client linked in the OLT. With the verification about optical power received in the ONT, we will obtain different eye’s diagrams to verify the quality of the data reception that arrive in the final user through the ONT. We will insert additional parameters of attenuations into the network, establishing a threshold of optical power reception that ensure that the transmitted data since the OLT be received in the ONT.

Keywords: GPON, XGS-PON, OLT, ONT, optical fiber, splitter, NAP, WDM1r, factibility, Optisystem, migration, internet, eye diagram, BER, wavelength, simulation, FTTH, coexistence, costs.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, agradezco a Jehová Dios por ser la base de mi hogar y darme la sabiduría y el aguante necesario en todo momento.

A mi esposa Ginna Aracely, por su apoyo incondicional.

A mis padres, Hernando y Meri, por enseñarme a trabajar duro para alcanzar mis metas.

A mi tutor de tesis, Ing. Germán Arévalo, PhD, por su asesoría e instrucción.

A quienes conforman la empresa CITYCOM, tanto a la parte gerencial como técnica, por haber permitido llevar a cabo este estudio.

A los docentes de la maestría virtual de Tecnologías de la Información mención Gestión y Administración de TI.

DEDICATORIA

Con mucho cariño y aprecio a quienes se merecen todo el honor:

*A mi esposa Ginna Aracely,
A mi hijita Emma Isabella,
A mis padres: Hernando y Meri,
A mi hermano Juan Sebastián.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es común que los hogares y empresas dispongan de un servicio de internet para acceder a diferentes servicios, ya sea de entretenimiento, educación, medios de comunicación, negocios, etc. Las telecomunicaciones han permitido que hoy en día las personas puedan comunicarse unas con otras ya sea dentro de la ciudad, del país o incluso hacia otro continente, y esto ha sido posible gracias al internet.

La llegada del COVID-19 tuvo su influencia en el ámbito tecnológico. Al estar cumpliendo un confinamiento obligatorio para prevenir la propagación del virus, llevó a las instituciones educativas a buscar medios para cumplir con sus obligaciones y continuar con la enseñanza de las personas. Las clases virtuales fueron la alternativa que todo el sector educativo adoptó para continuar con sus actividades, obligando a todo estudiante, ya sea a nivel de primaria, secundaria, pregrado y posgrado a adquirir una conexión a internet en sus domicilios. Aunque muchos hogares ya disponían de un servicio de internet, no lo recibían de manera adecuada en cuanto a velocidad de transmisión, ya que la tecnología ADSL aún era muy común en ese entonces, y la fibra óptica era algo nuevo para muchos o incluso desconocido. El mismo suceso ocurrió con las empresas, quienes tuvieron que adaptarse a esta nueva modalidad y crear espacios de trabajo de forma virtual o teletrabajo, para que las personas puedan trabajar desde sus hogares.

Con el paso del tiempo, la velocidad de navegación del servicio de internet que se tenía en la mayoría de los hogares no fue la adecuada, e incluso no abastecía las exigencias de los usuarios, ya que las comunicaciones a través del par de cobre no eran las adecuadas, existiendo demasiada latencias e intermitencias en las conexiones, influyendo de manera directa en la calidad de servicio.

Debido a la enorme demanda de usuarios que deseaban un servicio de internet con mejores prestaciones, que sea estable y que permita mejorar la experiencia en cuanto a navegación y entretenimiento, comenzaron a aparecer diferentes proveedores que ofertaron su servicio a través de la fibra óptica. Muchas empresas comenzaron a desplegar sus redes y ofertar su servicio con planes de internet de alta velocidad, captando la atención de múltiples usuarios que deseaban mejorar su servicio.

El estándar que al día de hoy se ha posicionado como el más desplegado en las redes de comunicaciones a través de fibra óptica es GPON. La mayoría de empresas que ofertan el servicio de internet se basan en este estándar, puesto que brinda mejores prestaciones en cuanto a calidad de servicio, ancho de banda, velocidad de transmisión tanto para carga como descarga

de datos.

Debido al incremento en la competencia entre las empresas proveedoras de servicio de internet, estas han optado por mejorar cada vez sus planes de ancho de banda. Mientras mayor sea la velocidad de navegación que ofrezcan, captan más rápido la atención de los clientes, quienes buscan mejorar su experiencia en navegación, como por ejemplo en plataformas de video, juegos en línea, clases virtuales, teletrabajo, etc. Además, el uso de la fibra óptica permite acceder a grandes velocidades sin mayor problema, permitiendo que dentro del hogar puedan conectarse a la red varios dispositivos, funcionando al mismo tiempo, permitiendo que los usuarios naveguen sin problema sobre diferentes aplicaciones.

Pero con el pasar del tiempo se prevé que los usuarios demanden mayores cantidades de ancho de banda, esto debido al avance tecnológico que atravesamos hoy en día. Cada vez más dispositivos se conectan al internet dentro del hogar, gracias a la domótica o el internet de las cosas, lo cual hace que la demanda de tasas de transmisión más altas sea necesaria. Ante este escenario se genera la duda si es que GPON seguirá siendo un estándar que haga frente a todas las necesidades de conexión que hoy en día buscan los usuarios.

Por este motivo ha surgido la necesidad de buscar alternativas que puedan mejorar el estándar GPON, porque a pesar que existan nuevos estándares con mayores tasas de transmisión, GPON sigue siendo la base para el desarrollo de estas tecnologías. Y, puesto que las empresas proveedoras han realizado enormes inversiones de dinero para desplegar sus redes, los nuevos estándares buscan adaptarse a estas redes físicas que ya se encuentran instaladas.

El estudio de XGS-PON como un posible sustituto del estándar GPON se acopla a la red de distribución óptica que ya se encuentra desplegada. Este estándar permite coexistir con GPON, es decir, sobre la misma red de distribución se puede tener clientes conectados con estos dos estándares, permitiendo a cada usuario elegir si mantiene su actual servicio basado en GPON o migrar hacia una tecnología de nueva generación como XGS-PON.

Este estudio busca analizar la factibilidad técnica y económica de migrar una red implementada basada en GPON hacia un estándar de nueva generación, el cual ofrece una velocidad de transmisión 4 veces mayor y que es simétrico, es decir, tiene la misma velocidad de transmisión tanto para carga como descarga, lo cual lo hace mayormente novedoso, y lo presenta como una alternativa a futuro con la finalidad de mejorar el servicio de los clientes residenciales o corporativos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del problema

En la actualidad, el constante crecimiento de las tecnologías de la información y comunicación, ha llevado a la sociedad a demandar mayores anchos de banda para sus conexiones a Internet, debido a la cantidad de dispositivos móviles y portátiles que se encuentran a disposición dentro de un hogar y que requieren del acceso a servicios del tipo educativo, laboral o de entretenimiento que se ofrecen en la nube.

Ante esto, muchos hogares que no disponían de una conexión a Internet o cuyo ancho de banda no era el suficiente para ejecutar aplicaciones web en tiempo real, como las videoconferencias destinadas a la educación o el teletrabajo, motivó a muchas personas a contratar un servicio de internet que permitiera a los miembros del hogar acceder, a través de sus dispositivos electrónicos móviles y portátiles, a esta nueva modalidad como es la virtualidad.

Debido a la gran cantidad de hogares que requerían contratar un servicio de internet que sea estable y de mejores prestaciones, muchas empresas de telecomunicaciones desplegaron redes de fibra óptica, considerando los anchos de banda que ofrece esta tecnología, en comparación con los medios de acceso a la red que de a poco van siendo reemplazados debido a su antigüedad o porque simplemente no cumplen con las exigencias de los usuarios en cuanto a calidad de servicio, como son: el par de cobre, el cable coaxial o la tecnología inalámbrica a través de enlaces punto-multipunto. Hoy en día es muy común encontrar redes de última milla que utilizan la fibra óptica como su principal medio de acceso a la red.

Se estima que, con el paso del tiempo, los usuarios comenzarán a demandar mayores anchos de banda de los que actualmente es muy común encontrar, considerando que en el Ecuador existe un promedio de demanda entre 50-100 Mbit/s para usuarios residenciales y de 100-500 Mbps para usuarios corporativos (Ulloa et al., 2020). Por esta razón se prevé la existencia de una saturación en los equipos terminales en la parte del proveedor del servicio de internet (ISP). Por este motivo, es necesario establecer un plan de migración de la red óptica terminal por parte del proveedor, hacia un estándar de nueva generación que se adapte a las necesidades de los usuarios en cuanto a la demanda de mayores anchos de banda en sus conexiones a Internet. Es en este instante cuando se plantea un estudio de factibilidad para una posible migración hacia un estándar de nueva generación, establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones UIT-T como la recomendación G.9807.1, que trata

acerca de redes ópticas pasivas simétricas con capacidad de 10 Gigabit XGS-PON. Este estándar se diferencia de la recomendación G.984.1 en que es un estándar simétrico, cuyas velocidades de transmisión tanto de subida como de bajada son 10 Gbit/s.

Por lo tanto, migrar hacia este estándar de nueva generación, permitirá a los ISP adaptarse a las nuevas exigencias de sus usuarios finales. Destacando además que, no se necesita intervenir en la red de distribución óptica ODN que ya se encuentra desplegada por el ISP, sino que el cambio a realizar es directamente en los equipos terminales que se encuentran en el centro de datos del proveedor y en las unidades ópticas terminales ONT disponibles en los domicilios de los usuarios.

1.2. Objetivos de la Investigación

Objetivo General

Proponer un estudio de factibilidad técnica y económica para la migración del estándar GPON hacia el estándar XGS-PON en un ISP de la ciudad de Cuenca.

Objetivos Específicos

- Desarrollar un estado del arte de las redes ópticas de acceso con fibra óptica a través de las tecnologías GPON y XGS-PON.
- Realizar el estudio de la factibilidad técnica y económica para la migración de la tecnología GPON hacia una tecnología de nueva generación XGS-PON de la OLT4-MONAY correspondiente a la empresa Citycom de la ciudad de Cuenca.
- Simular a través del software Optisystem la respuesta del estándar XGS-PON en la OLT4-MONAY correspondiente a la empresa Citycom de la ciudad de Cuenca.

1.3. Justificación de la Investigación

El actual desarrollo tecnológico en el ámbito de la información y la comunicación es parte del día a día en nuestra sociedad. Debido a los constantes cambios a los que se ha enfrentado en los últimos años con la llegada de la pandemia del COVID-19 a nivel mundial, ha llevado a la búsqueda de alternativas como el teletrabajo y las clases virtuales para evitar la presencialidad en las instituciones tanto laborales como educativas, con lo cual se ha buscado proteger la salud de las personas evitando principalmente la propagación del virus.

Hoy en día, disponer de un servicio de internet poco a poco se ha ido convirtiendo en una necesidad básica dentro de los hogares. El contar con un servicio de calidad en un domicilio implica la disposición de un buen ancho de banda, el cual debe adaptarse a las exigencias de cada uno de los usuarios cuando se trata de navegar por Internet. Principalmente se pueden destacar los siguientes requerimientos:

- Permitir que uno o más dispositivos electrónicos, ya sean móviles o portátiles puedan conectarse a Internet y navegar al mismo tiempo.
- No debe existir intermitencias en las conexiones en ninguno de los equipos al momento de ejecutar aplicaciones que funcionan en tiempo real, ya sean laborales, educativas o de entretenimiento.

- El ancho de banda tiene que ser un valor constante, igual o cercano al contratado, y que las atenciones en cuanto a soporte técnico sean atendidas, en lo posible, de forma inmediata.

Se conoce que, a nivel nacional, la red de distribución óptica mayormente desplegada es GPON (Santiana Calderón, 2019). Según la recomendación establecida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT-T, 2008), a través de su recomendación G.984.1 se establecen dos tipos de velocidades de transmisión asíncronas entre sí, las cuales son: 1.2 Gbit/s en subida y 2.4 Gbit/s en bajada. Por lo tanto, el estándar GPON, ya sea a mediano o largo plazo, deberá ser reemplazado por alguno de los estándares de nueva generación que sean capaces de adaptarse a las exigencias de los usuarios finales al momento que requieran contratar conexiones con anchos de banda superiores a los 100 Mbit/s, y las empresas proveedoras deben estar preparadas para satisfacer estas necesidades, puesto que el mercado de las telecomunicaciones es muy competitivo el día de hoy.

CAPÍTULO II: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

El avance tecnológico de la información y comunicación demandan altos anchos de banda para ejecutar aplicaciones que se encuentran disponibles en la web. La revolución tecnológica en la que nos encontramos hoy en día requiere de la migración hacia estándares de nueva generación, los cuales tienen la capacidad de gestionar elevadas cantidades de información tanto en enlaces de subida como de bajada.

Según la Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones (ARCOTEL, 2020), en el Ecuador, las conexiones fijas que utilizan a la fibra óptica como su red de acceso son aproximadamente del 45.39%. Esto quiere decir que, 5 de cada 10 hogares cuentan con un servicio de internet fijo, utilizando a las redes ópticas como su principal medio de conexión, debido a que sus características permiten la transmisión de datos a altas velocidades.

El medio de transmisión de datos que es capaz de soportar esta alta demanda de información es la fibra óptica, la cual presenta mejores características en cuanto a ancho de banda, robustez y confiabilidad. Actualmente, la red GPON es la tecnología PON mayormente desplegada en el mundo y en el Ecuador principalmente (Ulloa et al., 2020).

La actual demanda de conexiones a Internet residenciales, el incremento de las aplicaciones para videoconferencia, televisión en ultra alta definición, el almacenamiento en la nube, videojuegos en tiempo real, el internet de las cosas (IoT) implican un mayor consumo de tráfico. Es por este motivo que, a mediano plazo, la tecnología GPON no cumplirá adecuadamente con las demandas mencionadas anteriormente. Por este motivo, se han desarrollado en los últimos años, los estándares de nueva generación, tales como XGS-PON y NG-PON2, por mencionar algunos. Se pretende que estas tecnologías se adapten a las futuras exigencias de los usuarios del servicio de internet, por eso es importante conocer acerca de ellas y tener preparado un plan en caso de necesitar migrar de tecnología PON (Ulloa et al., 2020).

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. La fibra óptica

En las redes de telecomunicaciones actuales, el descubrimiento de la fibra óptica aportó un importante cambio con respecto a las tecnologías que predominaron durante varios años, ya que se trata de un medio por el cual viajan los datos a altas tasas de transmisión (Zapata, 2023).

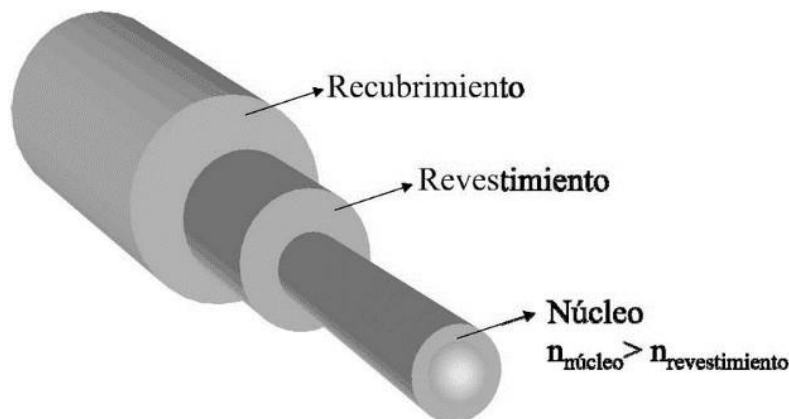
La capacidad de transmisión de datos, la velocidad con la que éstos se propagan en el medio y la seguridad con la que viaja la información, han hecho de la fibra óptica el medio de

transmisión más eficiente y confiable que existe en la actualidad (Fredy & Durango, 2020).

Se conoce como fibra óptica a un filamento muy delgado que es fabricado a partir de materiales como vidrio o plástico y que permite el transporte de energía en la banda del infrarrojo. La fibra óptica consta de dos elementos: núcleo y revestimiento. El núcleo es la parte central por donde viaja la mayor cantidad de luz. En cambio, el revestimiento se encuentra alrededor del núcleo, el cual permite que se produzca un fenómeno conocido como reflexión total interna. Adicionalmente, la fibra óptica está cubierta en su totalidad por un recubrimiento, el cual tiene la función de proteger a la fibra tanto de la humedad como del daño físico al cual se expone.

Figura 1:

Estructura de la fibra óptica.



Nota. Estudillo et al. (2010). *Instrumentación y diseño de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico* [Imagen]. ResearchGate. https://www.researchgate.net/figure/FIGURA-2-Estructura-de-una-fibra-optica-en-la-que-se-aprecia-en-la-parte-central-el_fig2_235754545

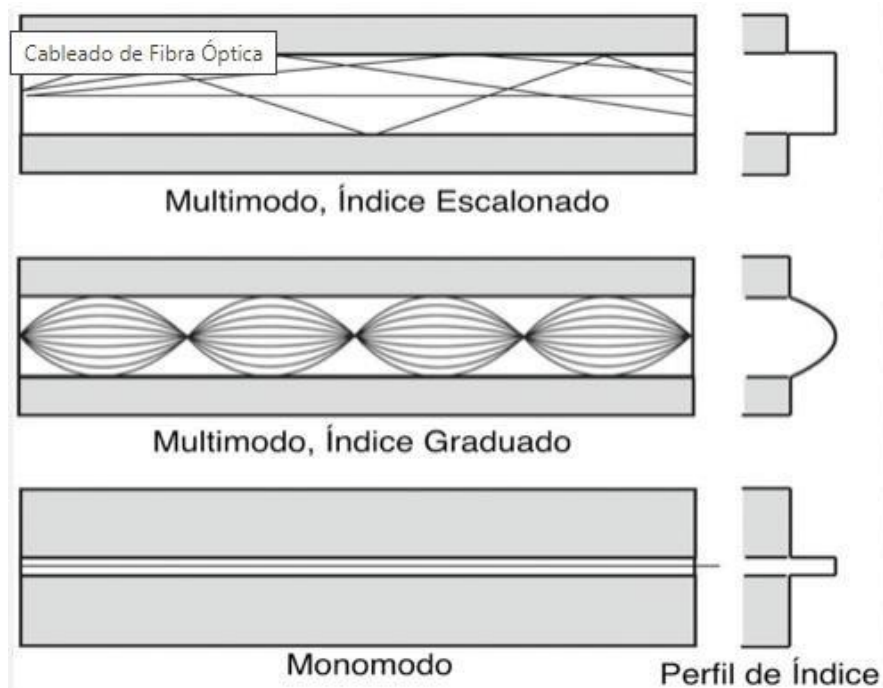
La fibra óptica posee características muy importantes, de las cuales se pueden destacar las siguientes:

- La fibra óptica tiende a ser inmune a las interferencias electromagnéticas puesto que la información se transmite sobre un haz de luz infrarroja.
- Dispone de elevados anchos de banda para transmitir y recibir información.

2.2.2. Tipos de fibras ópticas

Existen dos tipos de fibras ópticas que son muy comunes de encontrar en el mercado, las cuales son: monomodo y multimodo. Las fibras monomodo permiten la propagación de un único modo de luz a través de ella y, las fibras multimodo permiten la propagación de múltiples modos de luz en su núcleo. La diferencia entre estos dos tipos de fibra se da en que, la fibra monomodo permite transportar un mayor ancho de banda y el tendido del cable puede darse en mayores longitudes que las fibras multimodo (Fredy & Durango, 2020).

Figura 2:
Tipos de fibras ópticas.



Nota. The Fiber Optic Association, Inc. (2022). *La Referencia de Cableado para Predios de la FOA. Guía de certificación para la FOA* [Imagen]. FOA. <https://www.thefoa.org/ESP-Premises/5%20Cableado%20de%20Fibra%20Optica.html>

2.2.3. Redes de acceso ópticas pasivas (PON)

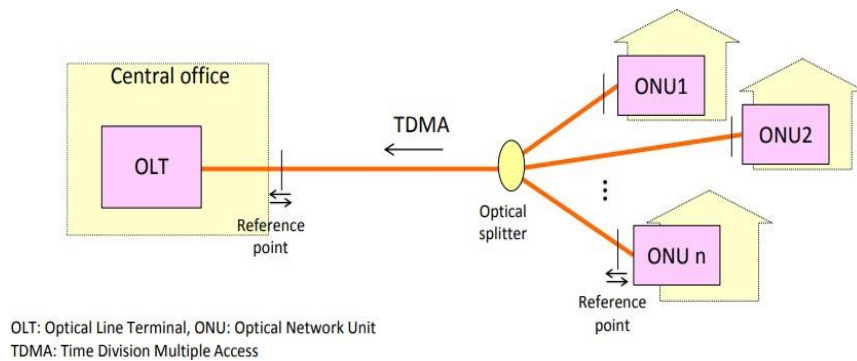
Las redes ópticas pasivas PON (Passive Optical Network) son redes que están compuestas por elementos ópticos pasivos, es decir, elementos que no requieren de energía eléctrica ni otra fuente de alimentación para su funcionamiento. Se caracterizan por su alta capacidad para brindar conexiones con anchos de banda capaces de adaptarse a las exigencias actuales (Adolfo Gómez-Agredo & Giovanni López-Perafán, 2019). Comparado con la red de acceso a través de cobre, las redes PON tienen la ventaja de transmitir o recibir datos en largas distancias que pueden ir desde los 20 km hasta los 60 km desde la oficina central (Macas, 2022).

2.2.4. Arquitectura de una red PON

Una red óptica pasiva está compuesta de tres elementos: OLT, splitter y ONU/ONT. Su arquitectura puede ser: punto a punto (P2P) y punto a multipunto (P2MP) (Costales, 2020). Estas arquitecturas tienen como origen la OLT que se encuentra en la oficina central y como destino las ONU/ONT en la parte del cliente o usuario final. A continuación, la Figura 3 presenta la arquitectura de una red PON.

Figura 3:

Arquitectura de una red PON.

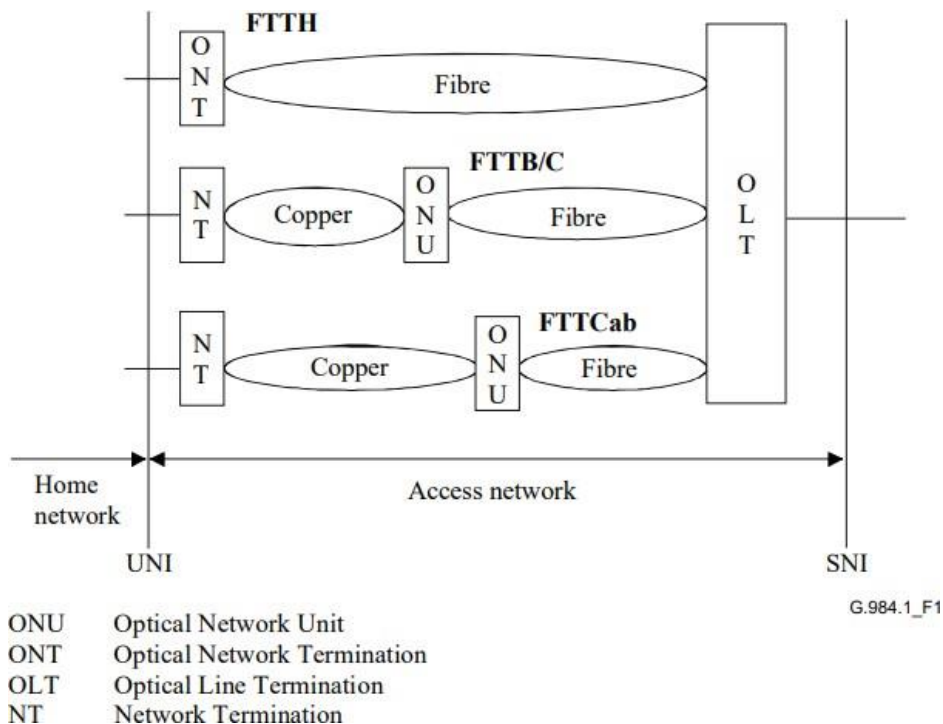


Nota. Adaptado de *ITU-T PON standards – progress and recent activities* [Imagen]. (2017 – 2020) ITU-T. https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/2017-2020/15/Documents/OFC2018-2-Q2_v5.pdf

En la Figura 4 se presentan las diferentes arquitecturas de las redes de fibra óptica que llegan hasta el usuario final en un determinado punto, donde la red óptica de acceso es común para cada una de ellas. A estos sistemas de distribución se los denomina fibra hasta la X, FTT-X (Fiber To The X). Entre los más importantes se tiene: fibra hasta el hogar, FTTH (Fiber To The Home), fibra hasta el edificio o hasta la curva, FTTB/C (Fiber To The Building/Curb) y fibra hasta el gabinete, FTTCab (Fiber To The Cabinet).

Figura 4:

Arquitecturas FTT-X.



Nota. Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2008). *G.984.1 Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics* [Imagen]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>

2.2.4.1. Fibra hasta el hogar, FTTH (Fiber To The Home)

Se trata de un enlace de fibra óptica en su totalidad, el cual comienza en la OLT ubicada en la oficina central del proveedor de servicio, hasta las diferentes unidades o terminales ópticas

de red (ONT/ONU) que se encuentran ubicadas en el hogar del usuario o en la oficina del cliente corporativo.

2.2.4.2. Fibra hasta el edificio, FTTB (Fibert To The Building)

Se denomina fibra hasta el edificio o FTTB a un enlace de fibra óptica que llega únicamente hasta el centro de datos de un edificio, condominio o campus en donde se encuentran los usuarios finales. Y, desde este lugar se utiliza el cobre como medio de transmisión y distribución para que los usuarios accedan al servicio prestado por el proveedor. Es decir, la señal óptica se convierte en señal eléctrica.

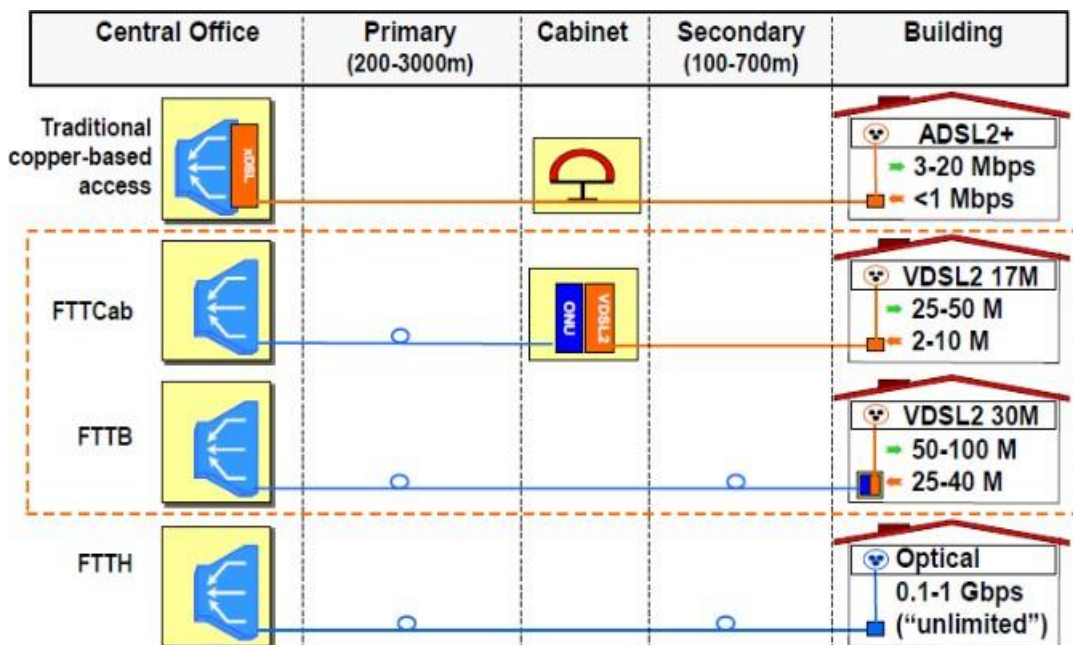
2.2.4.3. Fibra hasta la curva, FTTC (Fiber To The Curve)

Este tipo de red utiliza la fibra óptica hasta un gabinete que se encuentra ubicado en la calle, el cual está cercano a los hogares u oficinas de los usuarios finales. La ONT/ONU se encuentra ubicada en el interior de este gabinete.

2.2.4.4. Fibra hasta el gabinete, FTTCab (Fiber To The Cabinet)

Se trata de una red muy similar a la FTTC con la diferencia que el gabinete no se encuentra cercano a los usuarios finales. La red de última milla desde el gabinete hacia el usuario, emplea cobre para brindar el servicio.

Figura 5:
Tipos de enlaces FTT-X.



Nota. Gaudino, R. (2015). *Redes ópticas de acceso* [Imagen]. Material de estudio proporcionado en la materia de Redes de Fibra óptica de la maestría virtual de Tecnologías de la Información de la PUCE.

2.2.5. Elementos que conforman la arquitectura de una red PON

2.2.5.1. Línea óptica terminal, OLT (Optical Line Terminal)

Se trata de un dispositivo óptico activo que se encuentra ubicado en la oficina central del proveedor de servicio. Su función es: gestionar la información transmitida sobre una red de distribución óptica ODN (Optical Distribution Network) a través de una fibra óptica, la cual interconecta las unidades de red ópticas ONT/ONU con la OLT (Torres, 2022).

Figura 6:
Terminal de línea óptica OLT.

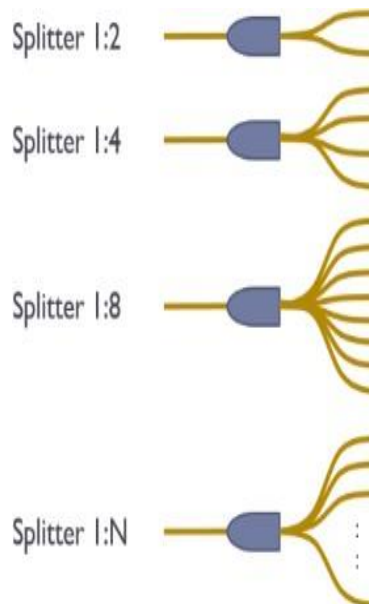


Nota. Huawei. (2023). *OLT* [Imagen]. Carrier.huawei.com. <https://carrier.huawei.com/en/products/fixed-network/access/OLT>

2.2.5.2. Splitter óptico

Es un elemento pasivo divisor de potencia conformado por una entrada y N salidas. Se encarga de la división de la potencia óptica que ingresa por su entrada, hacia sus correspondientes puertos de salida.

Figura 7:
Splitter óptico 1:N.



Nota. Arévalo, G. (2022). *Curso de Redes de fibra óptica - Material de estudio de la Unidad 5*. Maestría Virtual de Tecnologías de la Información de la PUCE.

2.2.5.3. Unidad óptica terminal / Unidad de red óptica, ONT / ONU (Optical Network Terminal / Optical Network Unit)

Se trata de un elemento óptico activo ubicado en la parte final de la red de distribución, es decir donde el cliente. Las ONT/ONU pueden ser conectadas en modo puente con un router (Figura 8) o también existen dispositivos que en su estructura integran tanto la parte óptica como la parte inalámbrica (Figura 9) para que a través de un único dispositivo se pueda acceder al servicio prestado por el proveedor (Torres, 2022).

Figura 8:

ONT Huawei tipo Bridge.



Nota. Soporte Huawei. (2023). EchoLife HG8310M [Imagen]. <https://support.huawei.com/enterprise/en/optical-access/echolife-hg8310m-pid-9028636>

Figura 9:

ONT Huawei con sistema wireless incorporado.



Nota. Soporte Huawei. (2023). EchoLife HG8245Q2 [Imagen]. [EchoLife HG8245Q2- Asistencia de servicio empresarial \(huawei.com\)](https://support.huawei.com/enterprise/en/optical-access/echolife-hg8245q2-pid-9028636)

2.2.6. Estándares para redes PON

En el área de las telecomunicaciones es importante la existencia de estándares internacionales. La Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T (International

Telecommunication Union) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) son las principales organizaciones de estandarización en esta área, los cuales han definido los siguientes estándares para redes PON:

- **ITU-T:** BPON, GPON, XGSPON y NGPON2.
- **IEEE:** EPON, 10GEAPON, NG-EPON

2.2.6.1. Red óptica pasiva con capacidad de Gigabit, GPON (Gigabit – capable Optical Passive Network)

Se trata de una tecnología basada en una serie de recomendaciones de la ITU-T definidas en la G.984.X., que van desde la G.984.1 hasta la G.984.7.

2.2.6.1.1. Arquitectura y funcionamiento de una red GPON

La red óptica pasiva con capacidad de gigabit, GPON (Gigabit-capable Optical Passive Network) es una red compuesta por una OLT, la cual conecta varias unidades ópticas terminales (ONT/ONU) mediante una red óptica pasiva PON. Su funcionamiento depende de la multiplexación por división de longitud onda WDM (Wavelength Division Multiplexing), la cual se utiliza para transportar tráfico tanto de subida como de bajada en diferentes longitudes de onda a través de un único hilo de fibra óptica.

El rango de longitudes de onda para un enlace de bajada es de 1480-1500 nm. En cambio, para un enlace de subida se utiliza el rango de 1260-1360 nm (Celi, 2022).

GPON permite las siguientes velocidades de transmisión, tanto en los enlaces de subida como de bajada, las cuales son:

- 1.2 Gbps de subida, 2.4 Gbps de bajada.
- 2.4 Gbps de subida, 2.4 Gbps de bajada.

La tasa de bits (bitrate) más común que constituye casi todo el despliegue de las redes GPON es de 1.2 Gbps de subida y 2.4 Gbps de bajada.

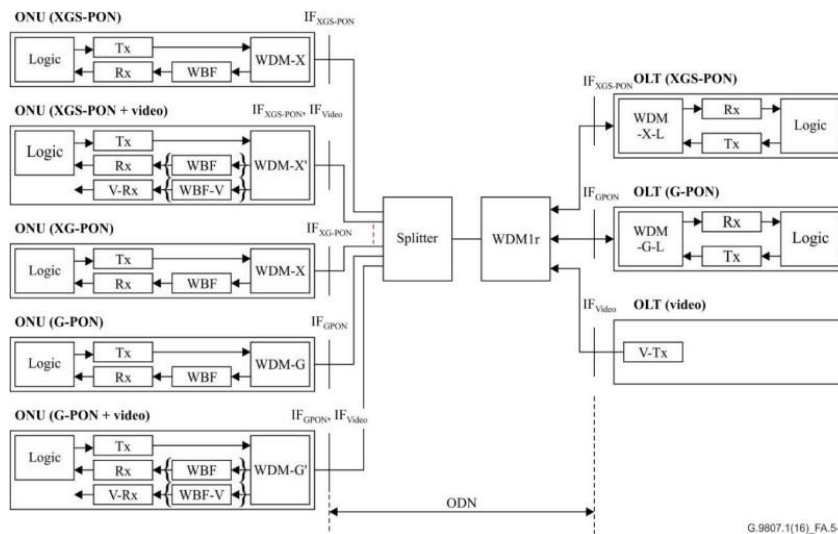
2.2.6.2. Red óptica pasiva simétrica con capacidad 10 Gigabit, XGS-PON (10 Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network)

La red óptica pasiva simétrica con capacidad de 10 Gigabit XGS-PON (10-Gigabit-capable Symmetric Passive Optical Network) es un estándar basado en la recomendación UIT-T G.9807.1 que puede ser empleada tanto en aplicaciones residenciales, empresariales u otras.

Los sistemas basados en el estándar XGS-PON son compatibles y pueden operar en la misma red de distribución óptica utilizando las mismas longitudes de onda de una red óptica pasiva con capacidad de gigabit GPON, que la mayoría de los proveedores de servicio de internet ISP (Internet Service Provider) en el Ecuador ya las tienen desplegadas, lo cual se convierte en la principal ventaja que proporciona este estándar de nueva generación. La siguiente figura indica un escenario de coexistencia entre los dos estándares en estudio: GPON con XGS-PON.

Figura 10:

Coexistencia entre los estándares GPON y XGS-PON.

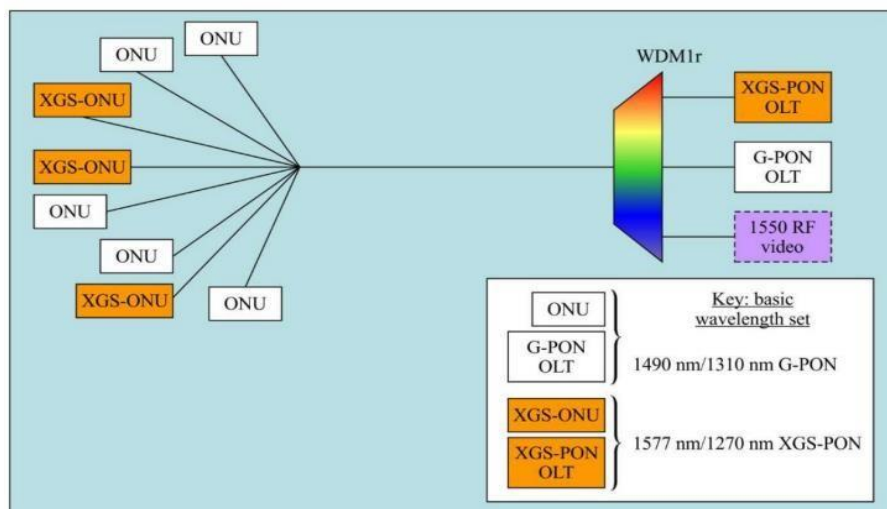


Nota. Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2016). *G.9807.1 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)* [Imagen]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1-201606-S/es>

Debido a la enorme demanda de ancho de banda por parte de los usuarios para la ejecución de diferentes aplicaciones que requieren conectarse a internet ha permitido el desarrollo de tecnologías PON de nueva generación cuyo objetivo es proporcionar mayores anchos de banda que su estándar predecesor como lo es GPON.

Por otro lado, debido a que las redes GPON han sido mayormente desplegadas a nivel mundial y con la finalidad de proteger las inversiones realizadas en el despliegue de estas redes, se ha realizado el siguiente escenario de coexistencia entre el estándar GPON con XGSPON a través de un WDM1r, el cual es un filtro WDM para combinar o aislar las longitudes de onda de las señales GPON para utilizarlas en XGSPON. Comúnmente este filtro se encuentra instalado en la oficina central del proveedor de servicio.

Figura 11:
Coexistencia entre GPON y XGS-PON sobre la misma ODN



Nota. Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2016). *G.9807.1 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)* [Imagen]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1-201606-S/es>

2.2.6.2.1. Requisitos de la capa física

2.2.6.2.1.1. Longitudes de onda ópticas

En XGS-PON se tiene dos opciones de longitudes de onda para su operación:

- **Conjunto básico de longitudes de onda:** Para un enlace ascendente, se utiliza la banda O, cuyo rango de operación va de los 1260 nm hasta los 1280 nm, estableciéndose como longitud de onda central en los 1270 nm. Y, para un enlace descendente, se utiliza el rango desde 1575 nm hasta 1580 nm, con longitud de onda central en 1577 nm (Macas, 2022).
- **Conjunto opcional de longitudes de onda:** En este conjunto de longitudes de onda se reutiliza las longitudes de onda basadas en GPON, donde se tiene que, para un enlace ascendente se utilizan desde los 1300 nm hasta los 1320 nm, con longitud de onda central en 1310. Y, para el enlace descendente, se utiliza el rango desde 1480 nm hasta 1500 nm, con longitud de onda central en 1490 nm (Macas, 2022).

2.2.6.2.1.2. Tasa de bits, bitrate

En el estándar XGS-PON se establece el conjunto de velocidades de transmisión simétricos, los cuales son:

- XGS-PON: 10 Gbps para enlace de bajada y 10 Gbps para enlaces de subida.

2.2.6.2.1.3. Distancia de fibra óptica

El estándar XGS-PON debe admitir en su arquitectura de red pasiva un requisito de distancia de al menos 20 km y como máxima distancia hasta los 100 km (Celi, 2022).

2.2.6.3. Escenarios de migración posibles para redes PON

Existen dos posibles escenarios de migración los cuales permiten satisfacer las diferentes necesidades de los proveedores de servicios. Los cuales son: Brownfield PON y Greenfield PON (Torres, 2022).

2.2.6.3.1. Escenario de migración brown field PON

Se trata de un escenario en el cual ya se encuentra implementado un sistema PON por lo que los operadores deciden aprovechar esta infraestructura desplegada para ofrecer un servicio con mayor ancho de banda utilizando el estándar XGS-PON. Existe la posibilidad de que una parte de los suscriptores que mantienen sus servicios de internet a través del estándar GPON, requieran actualizar a un servicio de mejores prestaciones en cuanto a velocidad de navegación. El operador de la red puede decidir por trasladar esta cantidad de suscriptores al sistema XGS-PON mientras que a los demás clientes mantenerlos con un servicio a través del estándar GPON (Torres, 2022).

Los requerimientos generales para el escenario brown field son los siguientes:

- Debe admitirse la coexistencia de GPON y XGS-PON sobre la misma fibra.
- Se debe minimizar las interrupciones del servicio para los usuarios que no requieren la actualización.
- XGS-PON debe emular los servicios heredados de su predecesor en caso de existir una migración completa.

2.2.6.3.2. Escenario de migración green field PON

Este escenario puede ser implementado en áreas donde no ha sido desplegada una red GPON. XGS-PON puede reemplazar una red de cobre existente para implementar una red con mejores prestaciones en cuanto a mayor ancho de banda. Por lo tanto, bajo esta descripción, no es necesario una coexistencia con GPON (Torres, 2022).

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo de Investigación

El presente trabajo tiene un enfoque de investigación de tipo tecnológico. A partir del conocimiento de las redes basadas en el estándar GPON, pretende analizar la factibilidad técnica y económica para una posible migración hacia un estándar de nueva generación como es XGS-PON. Se desarrollará una investigación con enfoque cualitativo, basándose en las cualidades tecnológicas ofrecidas por el estándar XGS-PON, que a futuro, lo convertirán en un estándar para un posible reemplazo de la red GPON desplegada por el ISP en estudio. Adicionalmente, se efectuará un análisis de la factibilidad económica en cuanto al costo de los componentes necesarios para realizar una migración total o parcial de la terminal de línea óptica y de los terminales ópticos de red con tecnología GPON existentes hacia elementos que operarían con tecnología XGS-PON.

3.2. Diseño de Investigación

Para el desarrollo del estado del arte de las tecnologías basadas en GPON y XGS-PON, se aplicará el método descriptivo donde se revisarán sus características principales, realizando una comparación entre las recomendaciones establecidas por la ITU-T en cuanto a los estándares G.984.X y G.9870.1 correspondientes a GPON y XGS-PON respectivamente. De esta manera se establece la parte teórica del presente proyecto de titulación. Esto servirá como una base para proceder al estudio de factibilidad técnica y económica para la migración al estándar XGS-PON a partir de una red con tecnología GPON.

Con la información teórica adquirida y con el conocimiento de las características que brinda la tecnología XGS-PON, se escoge uno de los centros de datos de la empresa CITYCOM de la ciudad de Cuenca sobre la cual se va a estudiar la factibilidad de migrar a esta tecnología de nueva generación, partiendo de una red GPON que ya se encuentra desplegada. El proceso para determinar cuál de los centros de datos se escogerá será basándose en la mayor concentración de clientes enlazados a una de las OLT disponibles. Este documento se centra en el estudio de la “OLT4-MONAY” que actualmente dispone de una cantidad aproximada de 2000 clientes conectados y que cuentan con el servicio de internet.

Luego, se procederá a un análisis tecnológico donde se analizará la factibilidad del cambio de transceivers, tarjetas ópticas o adición de componentes necesarios para convertir una OLT con tecnología GPON a una OLT con tecnología XGS-PON. También se analizará el estudio económico implicado al realizar este cambio. Se examinará también la rentabilidad económica de adquirir una nueva OLT basada en XGS-PON, en caso de que los costos se asemejen.

Además de esto, se debe realizar un análisis económico en cuanto a la migración de equipos ópticos terminales ONT, los cuales utilizan tecnología GPON a equipos ópticos terminales con tecnología XGS-PON del usuario final, de los cuales se tiene que investigar de su existencia en el Ecuador o si tendrían que ser importados, además de su costo en el mercado. Se debe recordar que la red de distribución se mantendrá tal cual se encuentra desplegada, ya que el cambio se plantea realizar en la parte del proveedor, en el centro de datos, y del cliente, en el domicilio u oficina.

Después, se realizará un análisis por escenarios, en donde se supondrá que los clientes demanden velocidades desde 200 hasta 500 Mbit/s y se analizará la capacidad en cuanto a la cantidad de clientes que pueda soportar la OLT con tecnología XGS-PON hasta llegar a su límite de saturación.

Finalmente, se realizará una simulación utilizando el software Optisystem para analizar

el estado más crítico de conexión, en cuanto a la distancia a la que se encuentra el cliente más lejano desde un puerto de la OLT4-MONAY y verificar la respuesta del estándar XGS-PON cuando se somete a una larga distancia, en un enlace punto a punto y analizar la diferencia con el estándar GPON.

3.3. Unidades de Estudio

Población

Para desarrollar el estudio de la factibilidad técnica y económica para migrar una de las OLT pertenecientes a la empresa Citycom basada en el estándar GPON hacia el estándar de nueva generación XGS-PON, se tomará como referencia la cantidad aproximada de 2000 usuarios que se encuentran actualmente conectados en esta OLT, entre clientes residenciales y corporativos.

Muestra

Para determinar el tamaño de la muestra necesaria de la cantidad de clientes que muestren interés en mejorar el actual servicio de internet que reciben a través de la tecnología GPON, se aplica un cálculo de la cantidad mínima de clientes a quienes se podría encuestar para conocer si requieren un mayor ancho de banda del que actualmente disponen o si están conformes con el servicio que reciben.

Entonces, para determinar la cantidad de encuestas que deben ser realizadas se aplica la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de la muestra} = \frac{\frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 \times p(1-p)}{e^2 N}}$$

Donde:

$$\begin{aligned} z &= 1.65 \\ p &= 0.90 \\ N &= 2000 \\ e &= 10\% \end{aligned}$$

Existen diferentes herramientas web que permiten el cálculo del tamaño de la muestra para realizar encuestas, una de ellas es es.surveymonkey.com. Con los datos anteriores, procedemos a calcular el número de encuestas, obteniendo como resultado un valor de 66.

Figura 12:

Cálculo online del tamaño de la muestra.

Nota. SurveyMonkey. *Calculadora del tamaño de muestra* [Imagen]. <https://es.surveymonkey.com/mp/sample-size-calculator/>

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Para realizar la recolección de datos, se realizará una encuesta a 66 clientes de la empresa Citycom, con la finalidad de conocer su deseo de mantener la velocidad de internet que reciben


actualmente o si es necesario mejorarla.


Figura 13:

Encuesta realizada para conocer el interés del cliente en cuanto a mejorar o no su servicio de internet.

Sondeo del interés de migración de GPON hacia XGS-PON

Esta encuesta tiene como finalidad el conocer el interés que tienen los clientes de la empresa Citycom en mejorar su servicio de internet en cuanto a velocidad.

hernan01058714@tsachila.edu.ec [Cambiar cuenta](#) 

 No compartido

** Indica que la pregunta es obligatoria*

¿Es usted un cliente residencial o corporativo? *

Cliente residencial

Cliente corporativo

En caso de ser un cliente residencial, ¿Cuál es el plan de internet que recibe en su domicilio o lugar de trabajo? *

GPON1 - 140 Mbps

GPON2 - 200 Mbps

GPON3 - 240 Mbps

GPON4 - 280 Mbps

GPON5 - 350 Mbps

Soy cliente corporativo

En caso de ser un cliente corporativo, ¿Cuál es el plan de internet que recibe en su domicilio o lugar de trabajo? *

PYMES1 - 100 Mbps

PYMES2 - 160 Mbps

PYMES3 - 180 Mbps

PYMES4 - 200 Mbps

Soy cliente residencial.

¿Considera usted que el plan de velocidad actual que recibe en su domicilio, satisface sus necesidades de conectividad? *

SI

NO

¿Estaría usted interesado en acceder a un plan de mayor ancho de banda que el que recibe actualmente? *

Sí, totalmente.

No, estoy conforme con el servicio que actualmente recibo.

¿Estaría usted dispuesto a cancelar un valor adicional al que cancela actualmente, por un plan de mayor ancho de banda y mejores prestaciones? *

SI

NO

Enviar
Borrar formulario

3.5. Técnica de Análisis de Datos

Para realizar el análisis de los datos, es necesario distribuir de forma aleatoria a 66 clientes para conocer su opinión al respecto de su servicio actual. Posteriormente, las preguntas 4 – 6 servirán de ayuda para establecer una cantidad de clientes que estarían dispuestos a mejorar su servicio bajo el escenario de XGS-PON. De esta manera, los clientes que estén de acuerdo con el servicio que están recibiendo, continuarán conectados a través del estándar GPON, aplicando así la coexistencia de los dos estándares sobre la misma ODN.

3.6. Operacionalización de Variables

Tabla 1: Operacionalización de Variables.

Variable	Tipo	Operacionalización	Intervalo	Unidad
Potencia óptica de recepción	Dependiente <ul style="list-style-type: none"> Distancia del enlace de fibra óptica desde la OLT hasta la red de última milla. Pérdidas por atenuaciones, ya sea por distancia de la fibra óptica, niveles de división óptica, 	Parámetro numérico que indica la cantidad de potencia óptica que llega al receptor luego de que los datos han atravesado la red de fibra óptica y han sido afectados por diferentes tipos de atenuación.	Depende de la sensibilidad del equipo receptor, en este caso la ONT.	dBm

	<p>fusiones, conectorizaciones y por pérdidas de inserción.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel de potencia óptica transmitida. 			
Tasa de error de bit BER (Bit Error Rate)	<p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia óptica de recepción. 	Cantidad de bits errados versus la cantidad de bits transmitidos.	$BER \leq 1 \times 10^{-3}$	Adimensional
Potencia óptica de transmisión	<p>Dependiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Potencia del láser. • Longitud de onda. • Frecuencia. 	Potencia a la salida del puerto óptico de la OLT.	<p>GPON: 2 – 3 dBm</p> <p>XGS-PON: 5 – 10 dBm</p>	dBm

CAPÍTULO IV: DESCRIPCIÓN ACTUAL DE LA RED GPON IMPLEMENTADA POR LA EMPRESA CITYCOM

4.1. Descripción de la empresa.

Citycom es una empresa tecnológica que brinda su servicio de internet en la ciudad de Cuenca desde el año 2015 a través de una red híbrida, mediante el uso de redes de fibra óptica basadas en el estándar GPON y mediante radioenlaces, con conexiones punto a punto o punto a multipunto en los dos casos (Juma & Chacón, 2021). Aproximadamente el 90% de los usuarios de la empresa se encuentran conectados a través de fibra óptica. El 10% restante lo hace a través de medios inalámbricos, debido a que, en ciertos sectores, especialmente en zonas rurales, es difícil llegar con un cable de fibra óptica hasta el cliente, ya sea por motivos de falta de postiería o por dificultad en el acceso. Cabe mencionar que poco a poco se está migrando a estos clientes hacia la red de fibra óptica incrementando la infraestructura de la red de distribución. Pero existen clientes a los cuales no se les puede migrar, debido a que, en ciertas urbanizaciones o condominios, el tendido de cable se lo hace a través de ductos, generalmente pertenecientes a otras empresas con las cuales se tienen convenios, priorizando que un único proveedor proporcione la conectividad a internet en estos lugares.

Citycom está ubicada en la zona urbana del cantón Cuenca, específicamente en la parroquia de Monay. Al día de hoy, la empresa posee diferentes centros de datos que se encuentran repartidos en puntos estratégicos de la ciudad, con lo cual se pretende brindar el servicio de acceso a internet tanto en la parte urbana como rural. Citycom dispone actualmente de una cantidad de ocho OLTs.

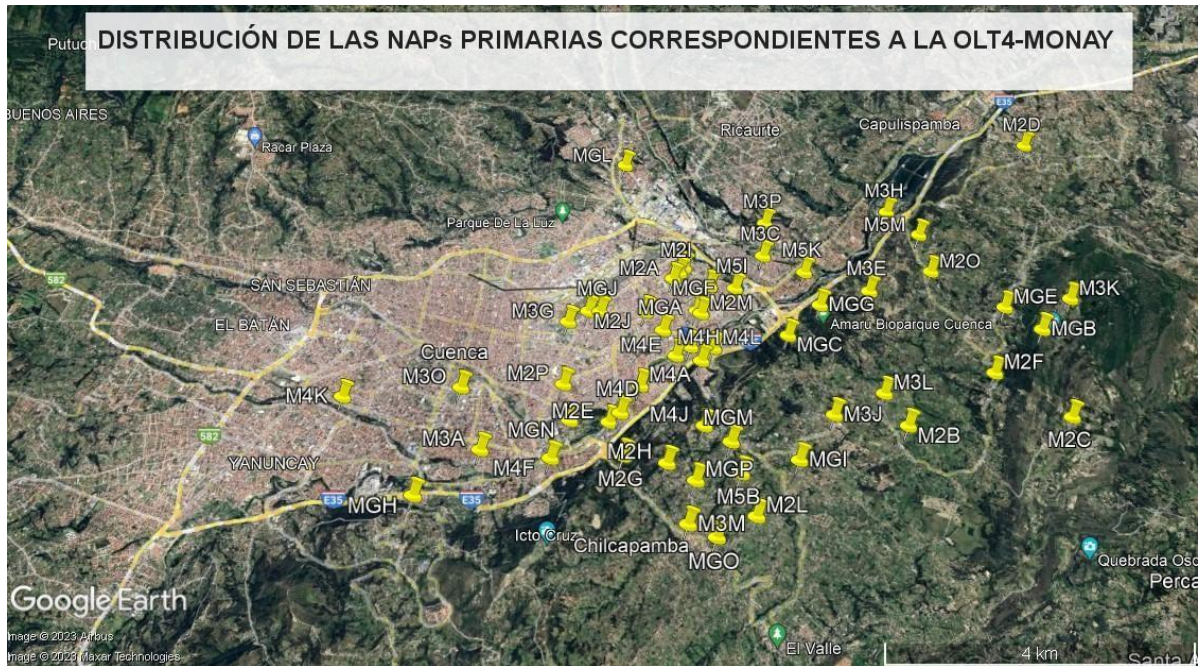
4.2. Descripción actual de la red GPON

Este proyecto se centra en la OLT principal de la empresa y la que mayor cantidad de clientes concentra denominada OLT4-MONAY, en la cual aproximadamente se encuentran 2000 clientes conectados al día de hoy, entre residenciales y corporativos. Este centro de datos se encuentra localizado en la parroquia de Monay, y brinda su servicio en los sectores urbanos aledaños correspondientes a: Totoracocha, Machángara, Sucre, Huayna Capac, San Blas y Cañaribamda. Además, el servicio se extiende hacia parroquias rurales cercanas como: Turi, Ricaurte, Paccha y Nulti.

4.2.1 Descripción de la red de distribución primaria

La red GPON de este centro de datos parte desde la OLT que se encuentra ubicada en la oficina principal de la empresa CITYCOM. La marca de esta OLT está basada en tecnología HUAWEI con número de serie MA5800. Este dispositivo es el encargado de brindar el servicio de internet a los casi 2000 usuarios que se concentran en esta OLT. Desde la OLT se conectan las diferentes cajas de distribución primarias NAP, con un nivel de división óptica de 1/8. En cada una de estas cajas NAP se despliegan 8 cajas de distribución secundarias, cada una con un nivel de división óptica de 1/16. Es decir que en cada caja NAP secundaria se pueden conectar hasta 16 clientes. Por lo tanto, el nivel de división óptica que emplea CITYCOM en su red es de 1/128 por puerto (Juma & Chacón, 2021). Esto quiere decir que, cada uno de los puertos de la OLT soportará como máximo una cantidad de 128 clientes. A continuación, la figura indica la distribución de las cajas de distribución primarias.

Figura 14:
Distribución de cajas NAP primarias conectadas a la OLT4-MONAY.



En la siguiente tabla se presenta de forma general las nomenclaturas de las cajas de distribución primarias y secundarias. La nomenclatura de las cajas primarias es MXY donde M es constante puesto que indica la OLT de la cual proviene, para este caso Monay. X representa el slot de la OLT e Y representa el puerto del cual se está conectando. Esto se ve resumido en la siguiente tabla:

Tabla 2: Nomenclatura y etiquetado de las cajas de distribución primarias y secundarias correspondientes a la OLT4-MONAY.

OLT	PRIMARIA	SECUNDARIA	NÚMERO DE CLIENTES
OLT4-MONAY	MGA	MGA8	16
		MGA7	16
		MGA6	16
		MGA5	16
		MGA4	16
		MGA3	16
		MGA2	16
		MGA1	16
	⋮	⋮	⋮
	M5P	M5P8	16
		M5P7	16
		M5P6	16
		M5P5	16
		M5P4	16
		M5P3	16
M5P2		16	
M5P1	16		

Nota. Autor

Tabla 3: Costo aproximado de los carretes de fibra óptica para desplegar una red de distribución óptica.

COMPONENTE	COSTO
Carrete de fibra óptica ADSS de 6 hilos (4 km)	\$1.400,00
Carrete de fibra óptica ADSS de 12 hilos (4 km)	\$1.600,00
Carrete de fibra óptica ADSS de 24 hilos	\$2.400,00
Carrete de fibra óptica DROP de 2 hilos (2 km)	\$140,00
Carrete de fibra óptica DROP de 4 hilos	\$239,95

Nota. Autor

Tabla 4: Costo aproximado de los componentes activos terminales para interconectar al proveedor de servicio con el usuario.

COMPONENTE	COSTO
Chasis OLT Huawei MA5800-X17	\$1300,00
Tarjeta de 16 puertos GPON para OLT Huawei MA5800-X17	\$886,08
ONT Huawei Echolife HG8310M GPON	\$19,95
Router TPLINK Archer C64 GIGABIT	\$35,00

Nota. Autor

Tabla 5: Costo aproximado de los componentes pasivos correspondientes a la red de distribución óptica.

COMPONENTE	COSTO
Splitter 1/8	\$7,00
Splitter 1/16 APC	\$11,00
Cajas de distribución NAP	\$37,00

Nota. Autor

CAPÍTULO V: FACTIBILIDAD DE LA MIGRACIÓN DE LA OLT BASADA EN TECNOLOGÍA GPON HACIA EL ESTÁNDAR XGS-PON DE NUEVA GENERACIÓN

El uso del internet a nivel residencial y corporativo ha crecido en los últimos años, al punto en que los usuarios exigen mayores anchos de banda a sus empresas proveedoras con el objetivo de mejorar su experiencia en múltiples aplicaciones o plataformas que requieren de un acceso a internet estable y adaptable a los requerimientos de las personas.

Del mismo modo, en la actualidad existen diferentes empresas que ofrecen el servicio de internet, con diferentes velocidades y a distintos costos, lo que ha llevado a una fuerte competencia para atraer clientes y así establecerse en el mercado de las telecomunicaciones. A continuación, se presentan los planes actuales que ofrece Citycom a sus clientes:

Tabla 6: *Planes de internet con fibra óptica proporcionados por la empresa Citycom.*

Clientes residenciales		
Plan	Velocidad en Mbps	Costo
GPON1	140 Mbps	\$26,00
GPON2	200 Mbps	\$30,00
GPON3	240 Mbps	\$34,00
GPON4	280 Mbps	\$39,00
GPON5	350 Mbps	\$49,00
Clientes corporativos		
PYMES1	100 Mbps	\$59,00
PYMES2	160 Mbps	\$69,00
PYMES3	180 Mbps	\$89,00
PYMES4	200 Mbps	\$99,00

Nota. Autor

En la ciudad de Cuenca, la empresa Citycom se ha establecido como un fuerte competidor en lo que se refiere a proveedores de servicio. Al tener una red que se extiende por toda la ciudad, le permite captar la atención de clientes que buscan adquirir un servicio o mejorar lo que su antiguo proveedor les ofrecía. Entre las empresas con las que actualmente compite Citycom tenemos: ETAPA, Netlife, Celerity, GoNet, CNT, Astronet, Servicable, HALLO, entre otras.

GPON es la tecnología que lidera las redes de acceso a través de fibra óptica a nivel mundial, pero con el pasar del tiempo puede llegar a ser un estándar obsoleto debido a lo mencionado en un principio, los clientes exigen mayores anchos de banda para mejorar sus experiencias en internet. Por este motivo, XGS-PON aparece como un estándar que irá tomando protagonismo con el tiempo debido a sus características y capacidades.

Para analizar la migración al estándar XGS-PON de la OLT en estudio, se debe tomar en consideración diferentes aspectos, tanto en el ámbito técnico como económico con la finalidad de verificar la factibilidad o trazar el camino que se debe seguir para convertir a los aproximadamente 2000 usuarios o parte de ellos, conectados en la OLT4-MONAY que ahora cuentan con servicio a través del estándar GPON hacia un estándar de nueva generación.

5.1. Factibilidad técnica

Partimos desde el hecho que la empresa Citycom tiene implementada una red de distribución óptica basada en tecnología GPON, y debido a que la implementación del estándar XGS-PON puede realizarse sobre la misma red de distribución óptica desplegada, se puede aprovechar esta infraestructura. Por lo tanto, las modificaciones para realizar la migración se realizarán en el centro de datos, específicamente en la OLT y, en la ONT/ONU ubicada en el domicilio del usuario final, con el objetivo de mejorar el servicio prestado a los clientes y poner a disposición del cliente nuevos planes de internet con mejores prestaciones en cuanto a ancho de banda, captando también la atención de los clientes que tienen contrato con otras empresas y que tengan a Citycom como su alternativa inmediata.

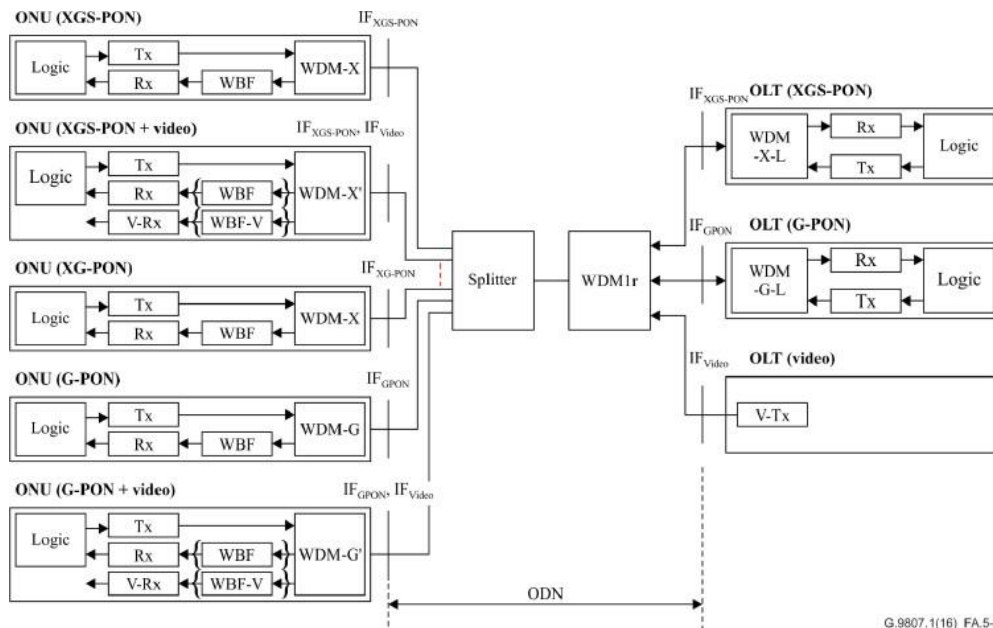
5.1.1. Escenario de coexistencia entre GPON y XGS-PON

Para la coexistencia entre los estándares GPON y XGS-PON, es necesario realizar modificaciones en la OLT ubicada en el centro de datos. Adicional, nos basaremos en un escenario de migración brownfield por el hecho que ya disponemos de una red ODN implementada.

Para lograr la migración de clientes cuyo servicio está basado en el estándar GPON, es necesario trabajar sobre las longitudes de onda de operación de estos dos estándares. Para ello, el uso de un dispositivo denominado WDM1r es importante, por el hecho que este equipo se encargará de combinar o aislar longitudes de onda entre GPON y XGS-PON. La UIT-T G9807.1 muestra a través de un diagrama la coexistencia entre los dos estándares a través de la implementación del WDM1r.

Figura 16:

Coexistencia entre GPON con XGS-PON.



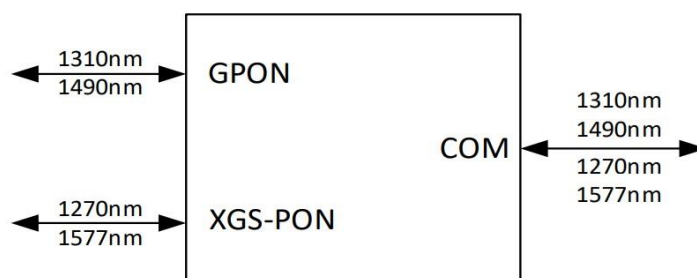
Nota. Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2016). *G.9807.1 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)* [Imagen]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1-201606-S/es>

El elemento o multiplexor WDM1r permite la coexistencia de los estándares GPON y XGS-PON sobre una misma red de distribución óptica ODN. Se recomienda que este equipo se encuentre ubicado en la oficina central, en el mismo rack junto con la OLT. Este dispositivo es capaz de combinar o aislar las diferentes longitudes de onda tanto para subida como bajada de las señales GPON y XGS-PON.

Este elemento ha sido diseñado para sistemas de nueva generación (NGA), el cual permite la coexistencia entre GPON y XGS-PON sobre una misma red de distribución óptica. En los estándares GPON y XG(S)-PON las longitudes de onda centrales tanto para subida de datos como para descarga se sitúan en 1310/1490 nm y 1270/1577 nm respectivamente. Estas longitudes de onda no pueden ser superpuestas. Entonces, para lograr una coexistencia entre los dos estándares se puede utilizar una multiplexación por división de longitudes de onda (WDM). Y, sin alterar la red de distribución óptica, se puede agregar un multiplexor WDM1r en el centro de datos de la oficina central. Entonces, este dispositivo transmite señales GPON y XGS-PON sobre la misma ODN. Además, se puede reemplazar de forma gradual las ONT/ONU en el lado del usuario por dispositivos activos con tecnología XG(S)-PON, esto dependiendo del servicio requerido.

Figura 17:

Multiplexación de las longitudes de onda tanto de GPON como XGS-PON a través del módulo WDM1r.

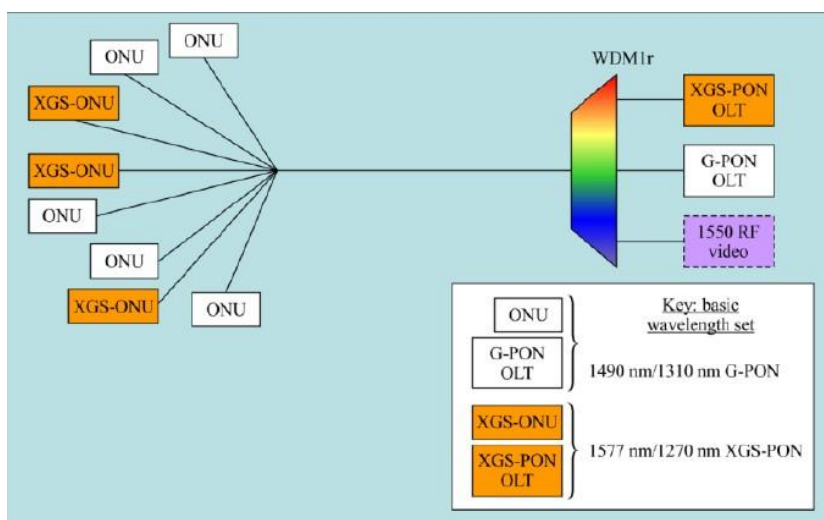


Nota. HyOptic Technology. *WDM1r for Evolution to 10G GPON Through Co-existence* [Imagen]. https://hyoptic.com/web/userfiles/download/WDM1r_module.pdf

La Figura 15 indica el modo de operación del dispositivo WDM1r, en el cual, al ingreso, tenemos las longitudes de onda basadas tanto en el estándar GPON como XGS-PON. Y a la salida, en el puerto COM, se tiene una multiplexación de estas longitudes de onda, las cuales serán transmitidas directamente sobre la ODN, hasta llegar a la red FTTH. En este último punto, la ONT tiene que ser capaz de diferenciar las longitudes de onda de llegada, para ello en su interior disponen de unos filtros, los cuales permiten el ingreso de las longitudes de onda, ya sea de GPON o XGS-PON, dependiendo del servicio que el usuario final esté recibiendo.

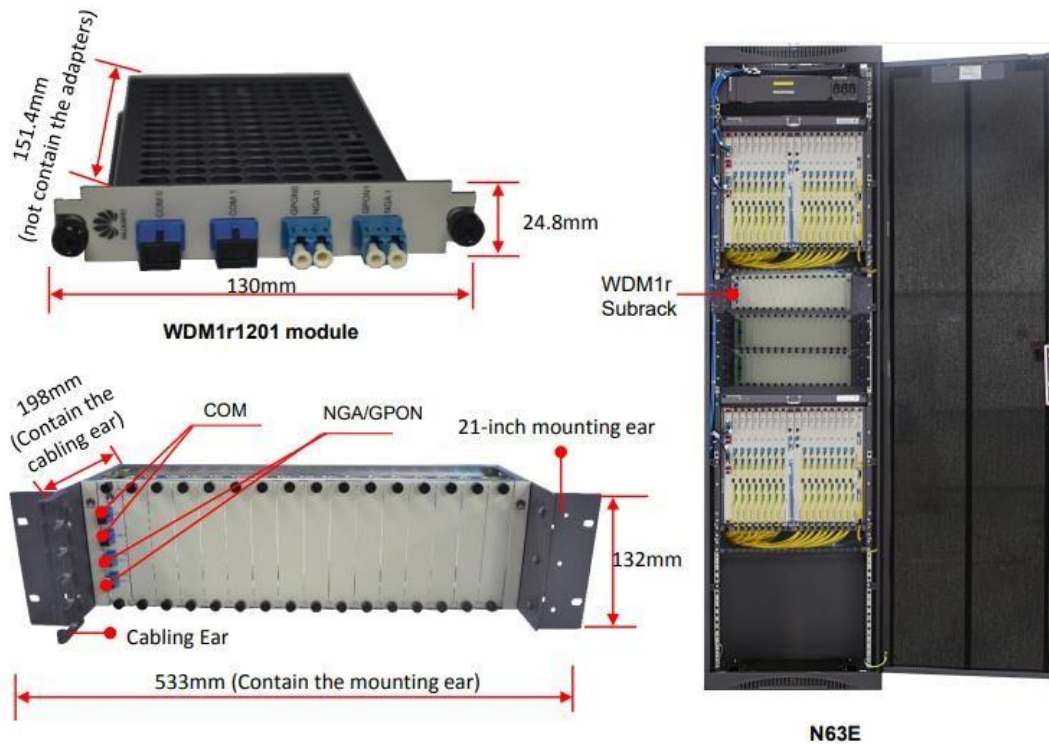
Figura 18:

Coexistencia en la red FTTH entre GPON con estándares de nueva generación con la implementación del módulo WDM1r.



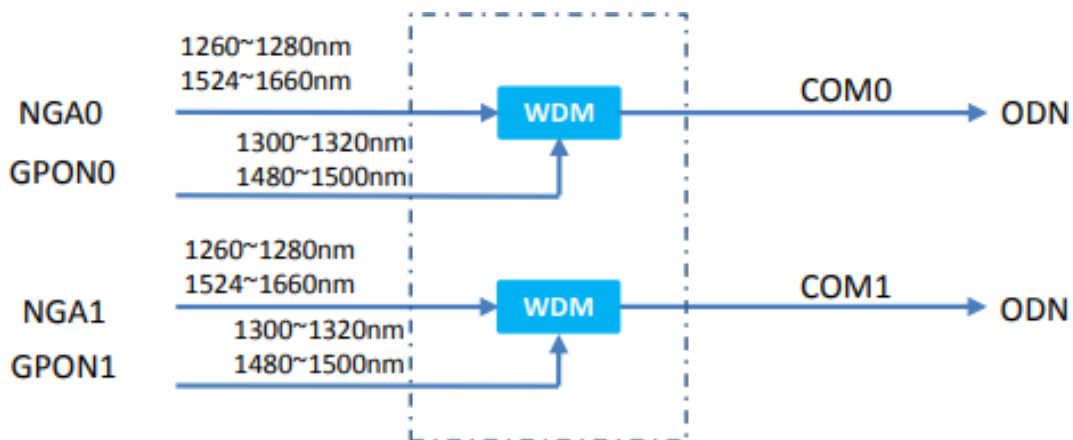
Nota. Telecommunication Standardization Sector of ITU. (2016). *G.9807.1 10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON)* [Imagen]. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.9807.1-201606-S/es>

Figura 19:
Módulo WDM1r y su implementación dentro de un subrack en el centro de datos junto con la OLT.



Nota. Huawei. (2015). *WDM1r1201 Module iODNCP V100R001C16 Datasheet 01* [Imagen]. <https://actformet.com/ueditor/php/upload/file/20201030/1604019658216728.pdf>

Figura 20:
Módulo WDM1r con dos entradas compartidas entre GPON y estándares de nueva generación y dos salidas con coexistencia entre estándares.

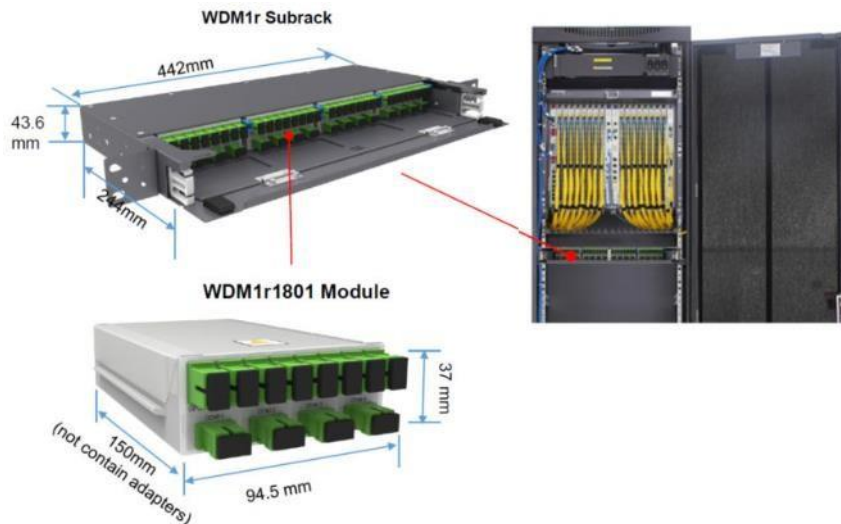


Nota. Huawei. (2015). *WDM1r1201 Module iODNCP V100R001C16 Datasheet 01* [Imagen]. <https://actformet.com/ueditor/php/upload/file/20201030/1604019658216728.pdf>

En la Figura 18, el WDM1r posee 2 entradas, en donde se puede conectar a través de pigtaills de fibra óptica los puertos de la tarjeta GPON como los de la tarjeta XGS-PON. Y en la salida, en los puertos COM, encontramos la multiplexación de estas longitudes de onda, las cuales viajarán por la red ODN hasta llegar a la red FTTH en el lado del usuario. De esta manera se logra la coexistencia de los dos estándares.

Figura 21:

Módulo WDM1r1801 y su implementación dentro de un subrack y su existencia junto con la OLT en el centro de datos.

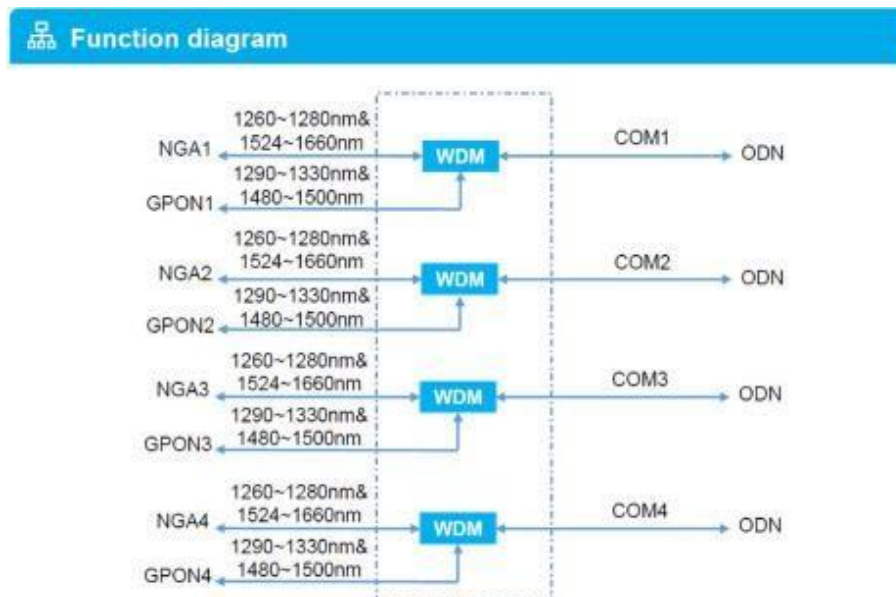


Nota. Aleashop. (2020). WDM1r coexistencia XGS PON y los sistemas GPON [Figura]. <https://www.aleashop.es/blog/2020/09/20/wdm1r/>

En cambio, en el caso de la Figura 19, el WDM1r posee 8 entradas, de las cuales 4 corresponden a GPON y las demás a XGS-PON. Además, posee 4 salidas que se encuentran combinadas a las que se denomina COMx. En un subrack pueden instalarse hasta 4 unidades de este módulo WDM1r, tal cual se aprecia en la imagen. Por lo tanto, al disponer de un subrack con 4 módulos, se puede combinar los 16 puertos de salida de una tarjeta XGS-PON con los 16 puertos de otra tarjeta GPON, cada una instalada en la OLT MA5800. A continuación, en la Figura 6 se ilustra esta combinación.

Figura 22:

Módulo WDM1r con 8 entradas compartidas entre GPON y estándares de nueva generación y cuatro salidas con coexistencia entre estándares.



Nota. Aleashop. (2020). WDM1r coexistencia XGS PON y los sistemas GPON [Figura]. <https://www.aleashop.es/blog/2020/09/20/wdm1r/>

Haciendo un análisis de la Figura 20, se puede observar que existen 4 elementos WDM1r dentro del rack. A cada uno de estos elementos activos se conectan 4 puertos de la

tarjeta GPON y 4 puertos de la tarjeta XGS-PON. Debido a que, en la empresa Citycom se maneja un nivel de spliteo de 1/128, es decir que por cada puerto de la tarjeta se puede conectar hasta 128 clientes, en la salida COM1 existe una coexistencia de 128*4 clientes que pueden recibir el servicio a través del estándar GPON y 128*4 clientes que pueden recibir el servicio basándose en el estándar XGS-PON. De esta manera se permite que los usuarios escojan el estándar que desean recibir en su domicilio de acuerdo al uso que realicen del servicio de internet.

Existirán clientes que utilicen su servicio de forma básica, esto significa para navegar por internet, usar redes sociales y usar plataformas de streaming de video. Para este caso de clientes, el servicio a través de GPON sigue siendo suficiente, por lo cual el servicio se mantendría en su forma normal. Pero en el caso de clientes que buscan más allá de un servicio elemental como el que hemos detallado, buscarán que su servicio les permita desarrollar actividades en línea como juegos, clases virtuales, etc., o clientes corporativos que necesitan mayores anchos de banda, pueden utilizar su servicio a través del estándar XGS-PON. De esta manera se aprovecha la coexistencia de estándares, permitiendo migrar hacia XGS-PON a clientes que realmente requieren un servicio con mayor ancho de banda porque las aplicaciones que utilizan lo exigen.

En el mercado actual, la marca Huawei posee diferentes opciones de tarjetas con tecnología basada en XGS-PON. Nos centraremos únicamente en este proveedor porque dentro de la empresa Citycom se maneja una OLT MA5800 de Huawei, por lo que es necesario que todos sus componentes pertenezcan al mismo fabricante.

Huawei pone a disposición de los proveedores de servicio las tarjetas compatibles con tecnología XGS-PON como es el caso de la H902CSHF, la cual posee 16 puertos y puede ser conectada en la OLT en estudio. Permite la coexistencia de los estándares GPON, XGPON y XGS-PON de manera simultánea sobre la misma fibra óptica, adicional de que en un mismo puerto de la tarjeta se pueden conectar ONTs basadas en GPON, XG-PON y XGS-PON.

Figura 23:

Tarjeta óptica H902CSHF Board con 16 puertos XGS-PON.

H902CSHF Board

The H902CSHF board is an 16-port XGS-PON and GPON Combo OLT interface board. It works together with the optical network unit (ONU) to provide XG(S)-PON and GPON access services.

Benefits

- **High density and energy saving**
 - High density and low power consumption, supporting 2048 access users
- **High reliability**
 - Chip-level type B protection (single-homing and dual-homing) and type C protection (single-homing and dual-homing) switching
 - Real-time rogue ONT detection and isolation, ensuring stable service running
- **High-value services**
 - 4-level HQoS, improving user experience
 - 9216 jumbo frames, greatly improving transmission efficiency
- **Intelligent management channel**
 - Smart processing of XG(S)-PON and GPON services, meeting hybrid service requirements and reducing board and spare part types
- **Efficient OAM**
 - Variable-length of OMCI, improving upgrade efficiency and reducing break off time
 - A maximum distance difference of 40 km between two ONUs under the same PON port (board capability), simplifying network planning
 - VMOS, improving video troubleshooting efficiency

External Interfaces

16* XGS-PON&GPON ports (SFP+)

- Max. split ratio: 1: 256

Specifications

Function	
Forwarding capability	200 Gbit/s
Rate mode	Asymmetric rate Symmetric rate
T-CONTs per PON port	GPON: 1024 XG(S)-PON: 2048
Service flows per PON board	16352
Maximum frame size	2052 bytes 9216 bytes (jumbo frame enabled)
Maximum number of MAC addresses	131072
Maximum distance difference between two ONUs under the same PON port (board capability)	40 km
FEC	Bidirection
CAR group	Supported
HQoS	Supported
Variable-length OMCI	Supported
ONU-based shaping or queue-based shaping	Supported
Type B protection (single-homing)	Supported
Type B protection (dual-homing)	Supported
Type C protection (single-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
Type C protection (dual-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
1588v2	Supported
Rogue ONT detection and isolation	Supported
Automatic shutdown at high temperature	Supported
Energy saving for service boards	Supported
D-CCAP	Not supported
Environment	
Operating temperature	-40° C to +55° C
Power consumption	Static: 51 W Maximum: 99 W

Nota. Netcon. *H902CSHF Board* [Figura]. https://netcon.store/media/pdf/30/3d/7e/H902CSHF_Board_Datasheet.pdf

Otra tarjeta que se encuentra disponible dentro de los productos que la marca Huawei ofrece está la serie H902XSHF, la cual también posee 16 puertos XGS-PON que permiten la

conexión de hasta 256 clientes por puerto óptico, si se aplica un nivel de split de 1/256. Recordando que en nuestro caso manejamos un nivel de split de 1/128.

Figura 24:

Tarjeta óptica H902XSHF Board con 16 puertos XGS-PON.

H902XSHF Board
The H902XSHF board is an 16-port XGS-PON OLT interface board. It works together with the optical network unit (ONU) to provide XGS-PON access services.

Benefits

- **High density and energy saving**
 - High density and low power consumption, supporting 2048 access users
- **High reliability**
 - Chip-level type B protection (single-homing and dual-homing) switching
 - Real-time rogue ONT detection and isolation, ensuring stable service running
- **High-value services**
 - 4-level HQoS, improving user experience
 - 9216 jumbo frames, greatly improving transmission efficiency
- **Efficient OAM**
 - Variable-length of OMCI, improving upgrade efficiency and reducing break off time
 - A maximum distance difference of 40 km between two ONUs under the same PON port (board capability), simplifying network planning

External Interfaces

16* XGS-PON ports (SFP+)

- Max. split ratio: 1: 256

Specifications

Function	
Forwarding capability	160 Gbit/s
Rate mode	Asymmetric rate Symmetric rate
T-CONTs per PON port	2048
Service flows per PON board	16368
Maximum frame size	2052 bytes 9216 bytes (jumbo frame enabled)
Maximum number of MAC addresses	131072
Maximum distance difference between two ONUs under the same PON port (board capability)	40 km
FEC	Bidirection
CAR group	Supported
HQoS	Supported
Variable-length OMCI	Supported
ONU-based shaping or queue-based shaping	Supported
Type B protection (single-homing)	Supported
Type B protection (dual-homing)	Supported
Type C protection (single-homing)	Supported
Type C protection (dual-homing)	Supported
1588v2	Supported
Rogue ONT detection and isolation	Supported
Automatic shutdown at high temperature	Supported
Energy saving for service boards	Supported
D-CCAP	Supported
Environment	
Operating temperature	-40° C to +55° C
Power consumption	Static: 51 W Maximum: 96 W

Nota. Comunidad Huawei Enterprise. (2022). *Foro: Habilitar PON como XGS-PON.* Huawei. <https://forum.huawei.com/enterprise/es/habilitar-pon-como-xgspon/thread/667228399950774272-667212890693840896>

Adicional a estas dos tarjetas, Huawei también ofrece la serie H902FLHF Board, la cual igual a las anteriores permite la coexistencia de los estándares GPON, XG-PON, XGS-PON, permitiendo que sobre la misma fibra óptica de la red de distribución óptica. Y, de igual manera, permite la conexión de las ONT bajo los mismos estándares por cada puerto óptico.

Figura 25:

Tarjeta óptica H902FLHF Board con 16 puertos XGS-PON.

H902FLHF Board
The H902FLHF board is an 16-port Flex-PON OLT interface board. It can support GPON, XG(S)-PON, and XG(S)-PON&GPON Combo access now. It works together with the optical network unit (ONU) to provide XG(S)-PON and GPON access services. Hardware is ready for TWDM-PON in future.

Benefits

- **High density and energy saving**
 - High density and low power consumption, supporting 2048 access users
- **High reliability**
 - Chip-level type B protection (single-homing and dual-homing) and type C protection (single-homing and dual-homing) switching
 - Real-time rogue ONT detection and isolation, ensuring stable service running
- **High-value services**
 - 4-level HQoS, improving user experience
 - 9216 jumbo frames, greatly improving transmission efficiency
- **Intelligent management channel**
 - Smart processing of XG(S)-PON and GPON services, meeting hybrid service requirements and reducing board and spare part types
- **Efficient OAM**
 - Variable-length of OMCI, improving upgrade efficiency and reducing break off time
 - A maximum distance difference of 40 km between two ONUs under the same PON port (board capability), simplifying network planning
 - VMOS, improving video troubleshooting efficiency

External Interfaces

16* XG(S)-PON&GPON ports (SFP/SFP+)

- Max. split ratio: 1: 256

Specifications

Function	
Forwarding capability	200 Gbit/s
Rate mode	Asymmetric rate Symmetric rate
T-CONTs per PON port	GPON: 1024 XG(S)-PON: 2048
Service flows per PON board	16352
Maximum frame size	2052 bytes 9216 bytes (jumbo frame enabled)
Maximum number of MAC addresses	131072
Maximum distance difference between two ONUs under the same PON port (board capability)	40 km
FEC	Bidirection
CAR group	Supported
HQoS	Supported
Variable-length OMCI	Supported
ONU-based shaping or queue-based shaping	Supported
Type B protection (single-homing)	Supported
Type B protection (dual-homing)	Supported
Type C protection (single-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
Type C protection (dual-homing)	Supported (applicable to GPON channels)
1588v2	Supported
Rogue ONT detection and isolation	Supported
Automatic shutdown at high temperature	Supported
Energy saving for service boards	Supported
D-CCAP	Not supported
Environment	
Operating temperature	-40° C to +55° C
Power consumption	Static: 51 W Maximum: 107 W

Nota. Alea. (2020). *XG PON Nuevas tarjetas OLT XSHF, CSHF y FLHF* [Figura] Aleashop. <https://www.aleashop.es/blog/2020/10/06/xg-pon-3/>

Una vez realizadas las modificaciones dentro del centro de datos, específicamente en la OLT, se tiene que realizar una migración en los equipos terminales ONT en el extremo del cliente. Para ello, se tiene que igualmente utilizar dispositivos propios pertenecientes a la marca Huawei para lograr la compatibilidad y coexistencia.

Uno de los dispositivos que puede utilizarse y que funcionan bajo el estándar XGS-PON es la ONT Echolife HN8010Ts tipo Bridge. Este dispositivo permite la coexistencia de estándares GPON y XGS-PON. Adicional a ello, posee un puerto Ethernet de 10Gbps. Admite una sensibilidad de recepción máxima de -28 dBm, opera bajo las longitudes de onda en el rango de 1260-1280 nm para upstream y 1575-1580 para downstream. Posee un filtro de bloqueo de longitud de onda WBF (Wavelegth blocking Filter), el cual permite diferenciar el estándar sobre el cual estará operando la ONT, ya sea GPON o XGS-PON. Al ser una ONT tipo Bridge, necesita conectarse junto con un router que sea capaz de transmitir y recibir tasas de bits en el orden de los 10Gbps.

Figura 26:
ONT Echolife HN8010Ts tipo Bridge compatible con XGS-PON.



Nota. CDR. (2023). *ONT Echolife HN8010Ts* [Figura]. https://en.cdr.pl/galerie/h/huawei-hn8010ts-terminal-onu_22795.png

Otro producto disponible de la marca Huawei que permite la coexistencia con XGS-PON es la ONT Echolife HN8250Ts. Esta ONT trabaja en tasas de bits tanto de subida como bajada de 10GE. Admite una sensibilidad de recepción de hasta -28 dBm, también trabaja con tasas de upstream y downstream de 10 Gbps. Admite longitudes de onda para upstream en el rango de 1260 – 1280 nm y para downstream de 1575 – 1580 nm. A diferencia del modelo anterior, esta ONT incluye WLAN con estándar WiFi6.

Figura 27:
ONT Echolife HN8250Ts con WiFi incluido.



Nota. CDR. (2023). *ONT Echolife HN8250Ts* [Figura]. https://en.cdr.pl/galerie/h/huawei-hn8010ts-terminal-onu_22795.png

La serie de la ONT Echolife HN8255Ws de Huawei es un dispositivo que también es compatible con el estándar XGS-PON. Posee puertos GE y 10GE, además que está incorporado con el estándar WiFi para la transmisión de tasas de bits de 10Gbps tanto para enlaces de subida como de bajada.

Figura 28:

ONT Echolife HN8255Ws con wireless incluido.



Nota. Huawei Enterprise. (2023). *EchoLife HN8255Ws* [Figura]. <https://support.huawei.com/enterprise/en/optical-access/echolife-hn8255ws-pid-22280247>

5.2. Factibilidad económica

Una vez realizado el estudio de factibilidad técnica, donde se presentaron los diferentes elementos activos necesarios para realizar la migración hacia el estándar XGS-PON, se procede a analizar los costos de cada uno de los dispositivos requeridos para la toma de decisiones en cuanto al procedimiento a realizar para migrar hacia el estándar de nueva generación. Es importante mencionar que este estudio de factibilidad económica permitirá analizar el costo necesario para migrar la OLT ya sea de forma completa o parcial, recordando que se puede generar una coexistencia entre los estándares para que ciertos clientes se migren a XGS-PON y otros no, manteniendo su servicio a través de GPON, suponiendo que ciertos hogares necesitan mejores prestaciones de ancho de banda que otros.

El escenario que se plantea implementar es un brownfield, porque la empresa Citycom posee su propia infraestructura que ya está implementada en cuanto a la red de distribución óptica y del centro de datos, bajo el uso de una OLT Huawei MA5800. En esta OLT se encuentran conectados alrededor de 2000 clientes, entre residenciales y corporativos. Como se había previsto, se realizará un planteamiento en cuanto a la migración total o parcial de la OLT. En primer lugar, se presenta una tabla que detalla los costos referenciales de los dispositivos necesarios para realizar la migración.

Tabla 7: *Costos referenciales de las tarjetas Huawei XGS-PON (no incluyen impuestos).*

Tarjeta XGS-PON	Precio
H902CSHF Board	\$3.000,00
H902XSXF Board	\$1.700,00
H902FLHF Board	\$2.000,00

Tabla 8: Costos referenciales de las ONT Echolife marca Huawei (no incluyen impuestos).

ONT Echolife	Precio
HN8010Ts Bridge	\$115,00
HN8250Ts	\$389,00
HN8255Ws	\$138,00

Tabla 9: Costos referenciales de los módulos WDM1r marca Huawei (no incluyen impuestos).

WDM1r	Precio
WDM1r1201 2*SC/APC inputs, 2*SC/APC outputs	\$286,00
WDM1r1801 8*SC/APC inputs, 4*SC/APC outputs	\$1.000,00

Una vez que se han analizado los costos de los diferentes componentes necesarios para una migración en cuanto a la parte técnica hacia XGS-PON, se escoge un dispositivo que sea el más conveniente para proponer su implementación a la empresa Citycom para analizar la parte económica de la posible migración y tomar la decisión correcta en cuanto a una posible migración total o parcial.

Tabla 10: Elementos seleccionados para realizar la migración hacia XGS-PON (no incluyen impuestos).

Elemento XGS-PON	Precio
Tarjeta XGS-PON H902CSHF Board	\$3.000,00
ONT EchoLife HN8255Ws	\$138,00
WDM1r1801 8*SC/APC inputs, 4*SC/APC outputs	\$1.000,00

A continuación, se plantea realizar tres análisis. El primero es verificar la factibilidad de realizar una migración completa de la OLT4-MONAY. Es decir, convertir a los aproximadamente 2000 clientes que poseen servicio a través de GPON al estándar de nueva generación XGS-PON. En segundo lugar, se realiza el planteamiento de la migración parcial de la OLT, es decir, permitir la coexistencia de los estándares GPON y XGS-PON sobre la misma red de distribución óptica, para ello será necesario basarse en los resultados obtenidos de la encuesta planteada. Un último escenario trata sobre la migración de los clientes residenciales que poseen planes superiores a los 200 Mbps junto con los usuarios corporativos. El primer caso de análisis requiere la sustitución completa de las tarjetas GPON que ya se encuentran instaladas en la OLT Huawei MA5800. En el caso de la empresa Citycom, se tienen instaladas actualmente 5 tarjetas GPON. Como en este caso se va a analizar la migración completa de los 2000 clientes hacia el estándar XGS-PON, es necesario también realizar el cambio de todas las ONT que funcionan a través del estándar GPON, instaladas en los domicilios de los clientes. Cabe mencionar que, para este caso, como no se necesita coexistencia de estándares, no es necesario la implementación del módulo WDM1r.

Tabla 11: Análisis del costo referencial para realizar la migración completa hacia el estándar XGS-PON.

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
Tarjeta XGS-PON H902CSHF Board	5	\$3.000,00	\$15.000,00
ONT EchoLife HN8255Ws	2.000	\$138,00	\$276.000,00
Inversión total			\$291.000,00

Como se detalla en la Tabla 10, el costo total que tiene que ser invertido para lograr una migración completa de la OLT4-MONAY hacia el estándar XGS-PON equivale a un valor de \$291.000,00 dólares, destacando que este es un valor referencial que se puede tomar en cuenta

como un costo aproximado en cuanto a la toma de decisiones.

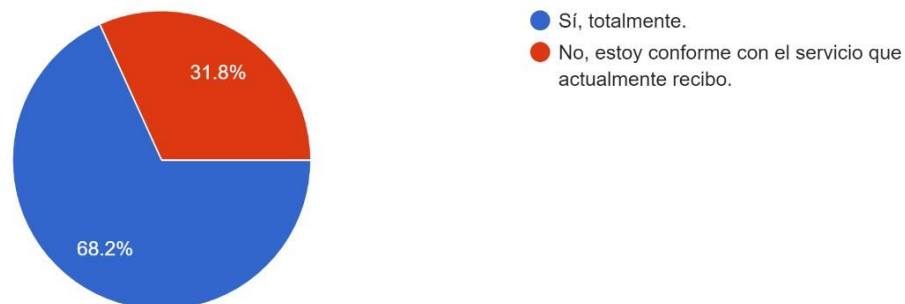
El segundo escenario es la aplicación de los resultados obtenidos en la encuesta. De un muestreo a 66 personas se observó que un 68% de los encuestados estarían interesados en acceder a planes de mayores anchos de banda que los que reciben actualmente.

Figura 29:

Resultado obtenido en cuanto al porcentaje de clientes interesados en acceder a planes de mayor ancho de banda.

¿Estaría usted interesado en acceder a un plan de mayor ancho de banda que el que recibe actualmente?

66 respuestas



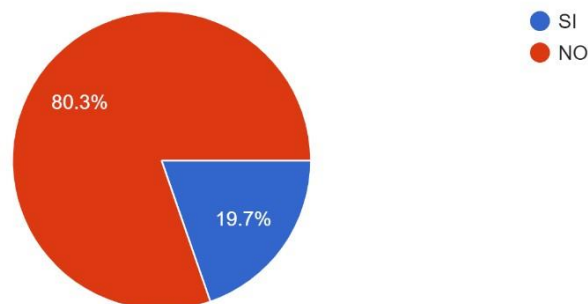
Pero, un 20% de los encuestados estarían dispuestos a cancelar un valor adicional a su plan para acceder a los beneficios de un servicio a través de la tecnología XGS-PON. Lo que nos permite reducir el porcentaje de clientes que se podría migrar al estándar de nueva generación adquiriendo un servicio de un mayor costo económico.

Figura 30:

Resultado obtenido en cuanto al porcentaje de clientes interesados en acceder a un plan de mejores prestaciones a pesar de tener que cancelar un valor económico adicional.

¿Estaría usted dispuesto a cancelar un valor adicional al que cancela actualmente, por un plan de mayor ancho de banda y mejores prestaciones?

66 respuestas



Por lo tanto, se podría imponer un valor de aproximadamente el 30% de los usuarios de la OLT que podrían ser migrados al estándar XGS-PON. El 70% restante continuaría percibiendo su servicio a través de GPON, aprovechando la coexistencia que nos permite entre estos dos estándares.

Tabla 12: *Coexistencia de usuarios que recibirán servicio a través de GPON y XGS-PON.*

Estándar	Porcentaje de usuarios	Cantidad de usuarios
GPON	70%	1400
XGS-PON	30%	600

Para migrar una cantidad de 600 usuarios hacia el estándar XGS-PON, aprovechando la red de

distribución óptica instalada, y, sabiendo que la empresa en estudio utiliza un nivel de splitteo de 1/128, necesitaríamos realizar el cálculo de la cantidad de módulos WDM1r que se deben adquirir para lograr la coexistencia entre ambos estándares. Entonces, optaremos por la implementación del módulo WDM1r1801, el cual dispone de 8 entradas, las cuales están distribuidas en 4 entradas GPON y 4 entradas NG-PON.

$$\begin{aligned} \text{Número de puertos WDM1r} &= \frac{\text{Número de clientes}}{\text{Nivel de splitteo}} \\ \text{Número de puertos WDM1r} &= \frac{600}{128} \\ \text{Número de puertos WDM1r} &= 4.68 \approx 5 \text{ puertos} \end{aligned}$$

Como cada módulo posee un total de 4 puertos GPON, sería necesario adquirir 2 módulos WDM1r1801, quedando puertos disponibles para futuros clientes a quienes se les ofrecería el servicio a través de XGS-PON.

En cuanto al número de tarjetas XGS-PON H902CSHF Board necesarias, se las calcula en base al nivel de splitteo y al número de puertos. Como estas tarjetas poseen 16 puertos y en cada puerto se pueden conectar hasta 128 clientes, una única tarjeta sería necesaria para migrar a los teóricos 600 clientes hacia el estándar XGS-PON, quedando así puertos disponibles para próximos clientes.

$$\begin{aligned} \text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} &= \frac{\text{Número de clientes}}{\text{Nivel de splitteo}} \\ \text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} &= \frac{600}{128} \\ \text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} &= 5 \text{ puertos} \end{aligned}$$

A continuación, se presenta una tabla resumen de los componentes necesarios para realizar la migración de los clientes analizados anteriormente.

Tabla 13: Costo de migración de 600 clientes al estándar XGS-PON

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
WDM1r1801	2	\$1000,00	\$2000,00
Tarjeta XGS-PON H902CSHF Board	1	\$3000,00	\$3000,00
ONT EchoLife HN8255Ws	600	\$138,00	\$82.800,00
Total a invertir			\$87.800,00

Adicionalmente, se realiza el planteamiento de un tercer escenario, en el cual se propone la migración de los clientes que poseen planes de internet superiores a los 200 Mbps junto con los clientes corporativos. Se tomarán en cuenta los clientes que actualmente pagan un servicio de \$34,00 dólares o superior, es decir los clientes residenciales correspondientes a los planes GPON3, GPON4 y GPON5 (Véase Tabla 5). También se plantea migrar a todos los clientes corporativos, sin tomar en cuenta el tipo de plan. Aproximadamente, existe una cantidad de 200 clientes conectados que cumplen con estas características. Por lo tanto, se analiza el costo económico de migrar esta cantidad de clientes hacia el estándar XGS-PON. Para ello, procedemos a realizar el mismo cálculo propuesto en el escenario anterior.

Se plantea continuar trabajando con el módulo WDM1r1801 porque la cantidad de puertos de entrada permite seguir creciendo en capacidad de usuarios para que, a futuro, se siga ofertando a nuevos clientes los planes correspondientes basados en estándar XGS-PON.

$$\text{Número de puertos WDM1r} = \frac{\text{Número de clientes}}{\text{Nivel de splitteo}}$$

$$\text{Número de puertos WDM1r} = \frac{200}{128}$$

$$\text{Número de puertos WDM1r} = 1.56 \approx 2 \text{ puertos}$$

Es necesario también mantener la cantidad de una tarjeta XGS-PON H902CSHF Board ya que, por la cantidad de usuarios a migrar, solamente con una será necesario, e incluso dejará abierta la posibilidad de seguir conectando a nuevos usuarios con el estándar XGS-PON.

$$\text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} = \frac{\text{Número de abonados}}{\text{Nivel de splitteo}}$$

$$\text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} = \frac{200}{128}$$

$$\text{Número de puertos de tarjeta XGS - PON} = 2 \text{ puertos}$$

A continuación, se presenta una tabla resumen de los componentes necesarios para realizar la migración de los clientes analizados en este escenario, en cuanto a los residenciales que poseen planes GPON3, GPON4 y GPON 5, además de los clientes corporativos.

Tabla 14: Costo de migración de 200 clientes al estándar XGS-PON

Componente	Cantidad	Costo unitario	Costo total
WDM1r1801	1	\$1.000,00	\$1.000,00
Tarjeta XGS-PON H902CSHF Board	1	\$3.000,00	\$3.000,00
ONT EchoLife HN8255Ws	200	\$138,00	\$27.600,00
Inversión total			\$31.600,00

A continuación, se presenta una tabla final de resumen de los diferentes escenarios planteados.

Tabla 15: Costos totales de cada escenario planteado

Escenario	Costo
1. Migración completa hacia XGS-PON de los 2000 usuarios conectados a la OLT MA5800 basada en GPON.	\$291.000,00
2. Coexistencia entre GPON y XGS-PON a través de la migración de 600 usuarios en base a la encuesta aplicada.	\$87.800,00
3. Coexistencia entre GPON y XGS-PON a través de la migración de 200 usuarios, entre residenciales que contrataron planes superiores a 250 Mbps y los corporativos sin excepción.	\$31.600,00

Una vez analizados los tres escenarios propuestos, se puede determinar que el más viable es el escenario número 3 por el menor costo que tiene para ser implementado y por el menor tiempo que implicaría realizarlo. Si se incrementa el valor económico en cada uno de los planes, pero se ofrece una velocidad que sea el doble de la que actualmente se ofrece con tecnología GPON, se podría generar expectativa en los clientes actuales y futuros para acceder a esta tecnología de nueva generación.

A continuación, se presenta una tabla en la cual se propone las nuevas velocidades a poner en consideración de los clientes residenciales GPON3, GPON4 y GPON5, junto con los nuevos planes corporativos con tecnología XGS-PON.

Tabla 16: Planteamiento de los nuevos planes con tecnología XGS-PON a ser ofertados con los respectivos costos.

Clientes residenciales		
Plan	Velocidad en Mbps	Costo
XGS-PON3	500 Mbps	\$39,00
XGS-PON4	600 Mbps	\$49,00
XGS-PON5	700 Mbps	\$59,00
Clientes corporativos		
XGS-PON PYMES1	400 Mbps	\$69,00
XGS-PON PYMES2	500 Mbps	\$79,00
XGS-PON PYMES3	600 Mbps	\$99,00
XGS-PON PYMES4	700 Mbps	\$109,00

Al poner a disposición planes de internet con un mayor ancho de banda y una tecnología diferente, y también por la inversión que implica migrar a esta tecnología de nueva generación, exige que el costo económico de los planes aumente. Hay que tener en cuenta que se trabajó en base a los planes de internet actuales que oferta la empresa (véase la Tabla 5) reemplazando los planes de ancho de banda GPON3, GPON4, GPON5 por su correspondiente XGS-PON3, XGS-PON4 y XGS-PON5. Tomando como referencia también los costos económicos incluidos en la Tabla 5, lo que se hizo fue establecer el costo del XGS-PON3 con el costo del GPON4, del XGS-PON4 con el GPON5 y el XGS-PON5 con el PYMES1. El mismo procedimiento se genera para establecer los costos de los planes XGS-PON PYMES, destinados para clientes corporativos (véase la Tabla 12).

Entonces, para conocer el tiempo necesario para el retorno de la inversión realizada, se establece la cantidad de clientes que se tiene por cada uno de los planes residenciales y corporativos XGS-PON, junto con el valor adicional que se cobrará a cada uno de ellos por el servicio entregado.

Tabla 17: Análisis de costos para la recuperación de la inversión

Planes residenciales	Número de usuarios	Costo adicional	Total/mes
XGS-PON3	80	\$5,00	\$400,00
XGS-PON4	60	\$10,00	\$600,00
XGS-PON5	20	\$10,00	\$200,00
Planes corporativos	Número de usuarios	Costo adicional	Total/mes
XGS-PON PYMES1	10	\$10,00	\$100,00
XGS-PON PYMES2	10	\$10,00	\$100,00
XGS-PON PYMES3	10	\$10,00	\$100,00
XGS-PON PYMES4	10	\$10,00	\$100,00
COSTO ADICIONAL POR MES			\$1.600,00
COSTO ADICIONAL EN 20 MESES			\$32.000,00

Como se puede observar en la Tabla 16, con los valores económicos planteados para los nuevos planes con tecnología XGS-PON se prevé que en el transcurso de 20 meses se pueda recuperar la inversión realizada para migrar a 200 clientes hacia el estándar de nueva generación XGS-PON, tomando en cuenta que el escenario planteado es el número 3 de la Tabla 14.

CAPÍTULO VI: SIMULACIÓN DE LOS ESTÁNDARES GPON Y XGS-PON

En el presente apartado se realizará una simulación del actual estado de la red de la empresa en estudio basado en el estándar GPON y su correspondiente análisis a través del estándar XGS-PON. Se toma en consideración el enlace de fibra óptica de mayor distancia, es decir el cliente que más lejos se encuentra con respecto a la OLT. Para esto realizamos un análisis de la red de distribución presentada en la Figura 5, en la cual se muestran las cajas de distribución ópticas secundarias. Además, con la ayuda del software Google Earth verificamos la distancia en kilómetros existente entre la OLT y la caja más lejana.

Entonces, se encuentra que la caja secundaria más lejana es la M4G5, la cual está aproximadamente a 13 kilómetros de distancia desde el puerto de la OLT. Se escoge uno de los usuarios de dicha caja de distribución y se procede a analizar los datos necesarios para realizar la simulación en el software Optisystem. Adicionalmente, se ingresa a la configuración de la OLT4-MONAY, donde se puede obtener los distintos parámetros necesarios del cliente tanto en la parte de la transmisión como de la recepción. Para el caso de la recepción, el software de la OLT permite analizar los parámetros de la ONT como la potencia de recepción, distancia del enlace y potencia óptica transmitida desde el puerto de la OLT.

6.1. Simulación del estándar GPON

Tabla 18: *Parámetros técnicos del puerto de transmisión de la OLT y del puerto de recepción de la ONT del cliente en estudio*

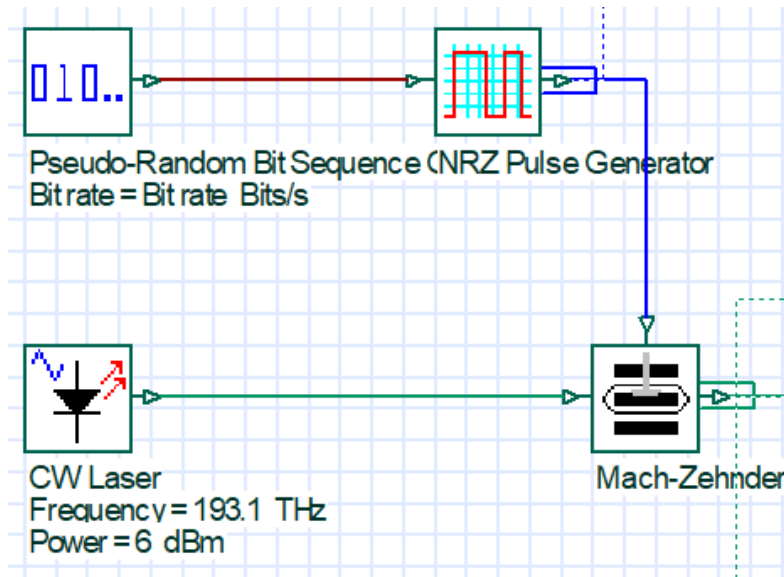
Parámetros técnicos	Dato
Slot/puerto/ID-ONT	4/6/2
Distancia de la ONT [m]	13125
Número de serie de la ONT	485754431428A59A
Potencia óptica recibida [dBm]	-23.01
Potencia óptica transmitida [dBm]	2.35
Longitud del feeder [m]	11125
Longitud del tramo de red secundaria [m]	1500
Longitud de la red FTTH [m]	500

Con los datos propuestos en la Tabla 17, se procede a realizar la simulación del estándar GPON a través del uso del software Optisystem, para verificar la respuesta del estándar GPON en cuanto al cliente más apartado de la OLT. Se analizará la potencia de recepción, el parámetro BER y el diagrama de ojo en cuanto a la recepción de los bits en la ONT. Se insertará además diferentes valores de atenuación a la red para verificar la potencia máxima de recepción necesaria antes de que exista pérdida de la señal óptica transmitida.

Partimos desde la simulación del puerto óptico GPON correspondiente a la tarjeta instalada en la OLT4-MONAY. La potencia de transmisión del puerto óptico según la Tabla 17 es de 2.35dBm, y para obtener dicho valor, se tiene que establecer una potencia aproximada de 6 dBm al láser óptico de transmisión el cual ya viene instalado en el interior de la OLT. Adicionalmente, los bits a ser transmitidos son introducidos a través de un generador de secuencia de bits aleatorios con una tasa de transmisión o bitrate de 2.5 Gbps, que es la velocidad de transmisión de descarga para GPON.

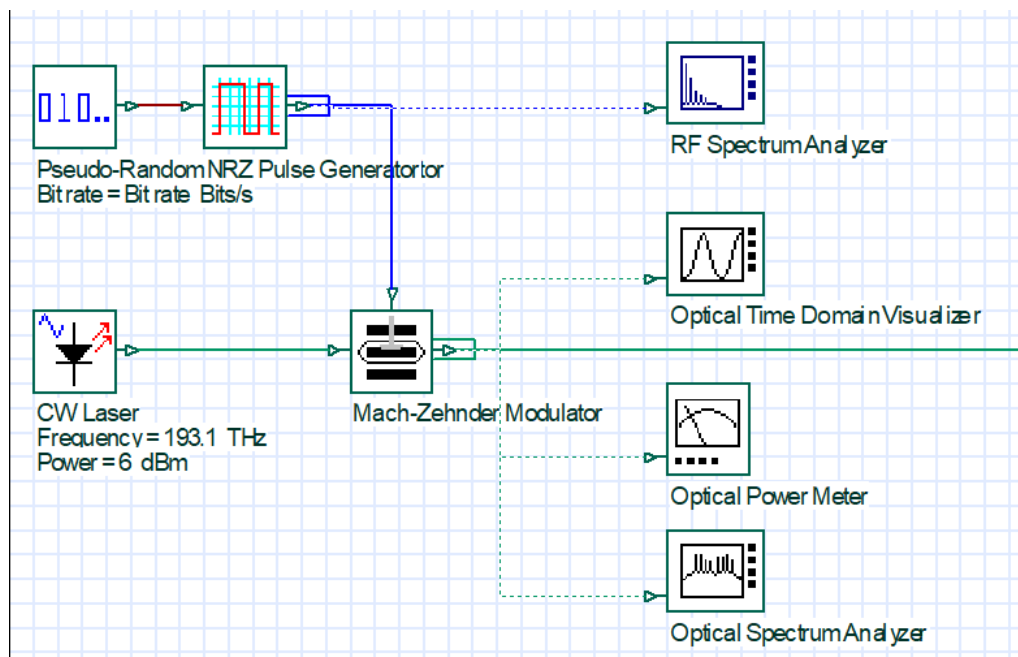
Debido también a que una red GPON transmite datos o tasas de bits rectangulares NRZ, es necesario implementar un generador de pulso NRZ que permite la conversión de los impulsos ópticos en eléctricos. Y, mediante la aplicación de un modulador Mach-Zender, convertimos la señal eléctrica a una señal óptica que será transmitida sobre la fibra óptica.

Figura 31:
 Simulación del transmisor óptico GPON correspondiente a un puerto de la tarjeta de la OLT.



En la salida del modulador se agregan dispositivos de medición para analizar la señal óptica entregada que va a ser transmitida por la fibra óptica. Entre estos dispositivos de medición están: un visualizador óptico en el dominio del tiempo mediante el cual se presentará los bits rectangulares transmitidos posterior a su paso por el proceso de modulación, también se tiene que agregar un analizador de espectros óptico para verificar la señal óptica modulada y finalmente se usará un medidor de potencia para verificar este parámetro a la salida del transmisor. Adicionalmente, para verificar el valor del ancho de banda transmitido, se hará uso de un analizador de espectros RF, el cual nos entregará el valor del ancho de banda fundamental de la señal a ser transmitida.

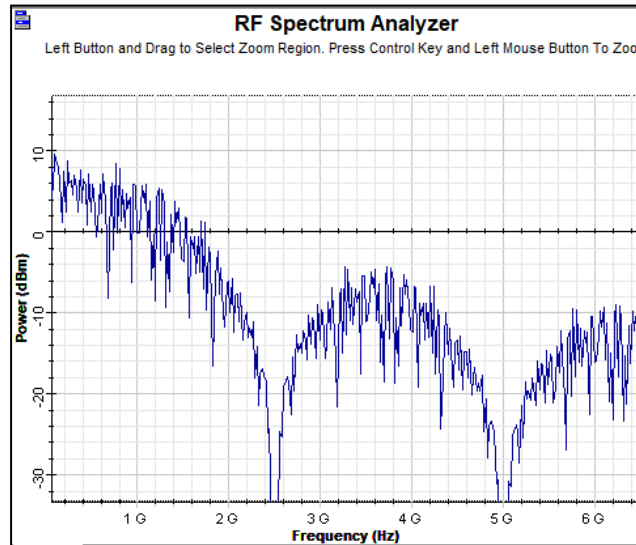
Figura 32:
 Transmisor óptico junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas transmitidas.



En la gráfica entregada por el analizador de espectros RF se puede observar el ancho

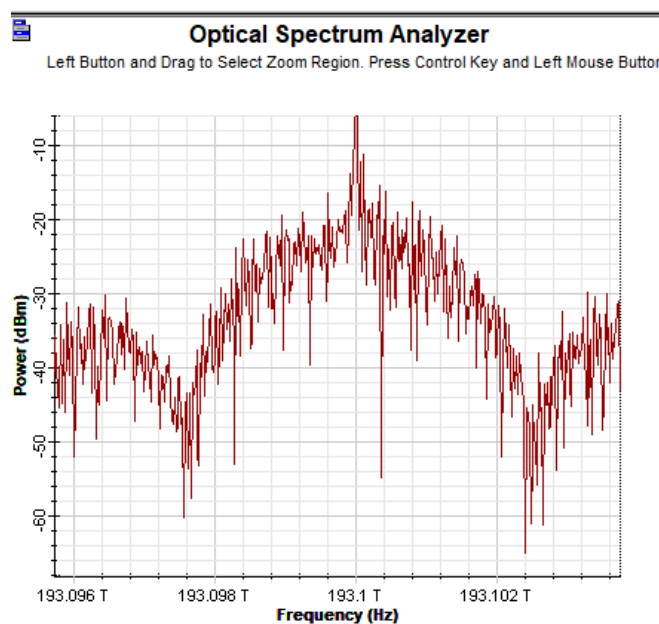
de banda de la señal transmitida en banda base. El primer lóbulo indica el ancho de banda fundamental de la señal óptica (véase la Figura 33). El primer lóbulo corta al eje de la frecuencia aproximadamente en 2.5 GHz , la cual es la frecuencia a la que trabaja el estándar GPON.

Figura 33:
Espectro en frecuencia de la señal RF transmitida en banda base.



A través del uso del analizador de espectros ópticos, se procede a la visualización del espectro óptico modulado en la parte del transmisor. Esta gráfica que se observa en la Figura 34 indica que el ancho del lóbulo fundamental aumenta al doble de la frecuencia fundamental. Recordando el teorema del muestreo, la frecuencia de una señal modulada es el doble de la frecuencia de la señal en banda base. Por lo tanto, si el ancho de banda de la señal transmitida en banda base es de 2.5 GHz , el ancho de banda del lóbulo fundamental en banda modulada será de 5 GHz .

Figura 34:
Visualización del espectro óptico modulado.



Si analizamos la Figura 34, el ancho del lóbulo se encuentra entre los 193.103 THz y

193.098 THz. La diferencia entre estos dos valores equivale al ancho de banda fundamental de 5 GHz del espectro óptico modulado.

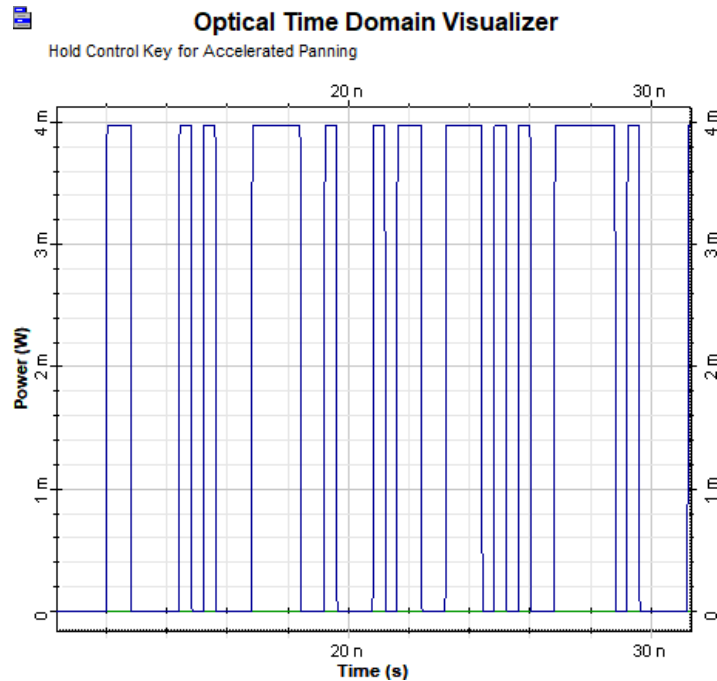
$$BW_{\text{modulado}} = 193.103\text{THz} - 193.098\text{THz}$$

$$BW_{\text{modulado}} = 5\text{GHz}$$

Se realiza también el análisis de la tasa de bits aleatorios transmitidos a una velocidad de transmisión de 2.5 Gbps. Estos bits al encontrarse en el lado del transmisor no presentan ruido y tampoco interferencias.

Figura 35:

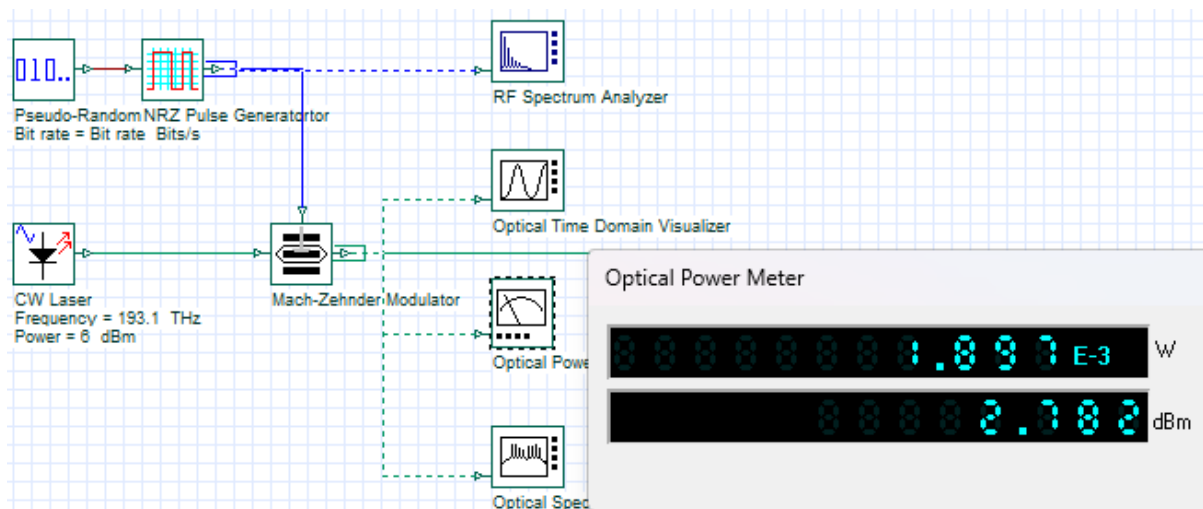
Tasa de bits aleatorios transmitidos.



Otro parámetro que es importante visualizar es la potencia óptica de transmisión a la salida del modulador. Este valor de potencia comúnmente varía entre 2 y 3 dBm, e incluso es cercana al valor transmitido por la OLT según los datos de la Tabla 17. Como se puede observar en la simulación, se tiene un valor de potencia óptica a la salida del transmisor de 2.782 dBm.

Figura 36:

Potencia óptica a la salida del transmisor.



Una vez que los parámetros en el extremo del transmisor han sido creados, es necesario crear la red de fibra óptica sobre la cual serán transmitidos los bits desde la salida del modulador. Para ello es necesario colocar una fibra óptica, la cual simulará el feeder implementado por la empresa, caracterizada bajo los siguientes parámetros:

Tabla 19: Caracterización de la fibra óptica correspondiente al feeder.

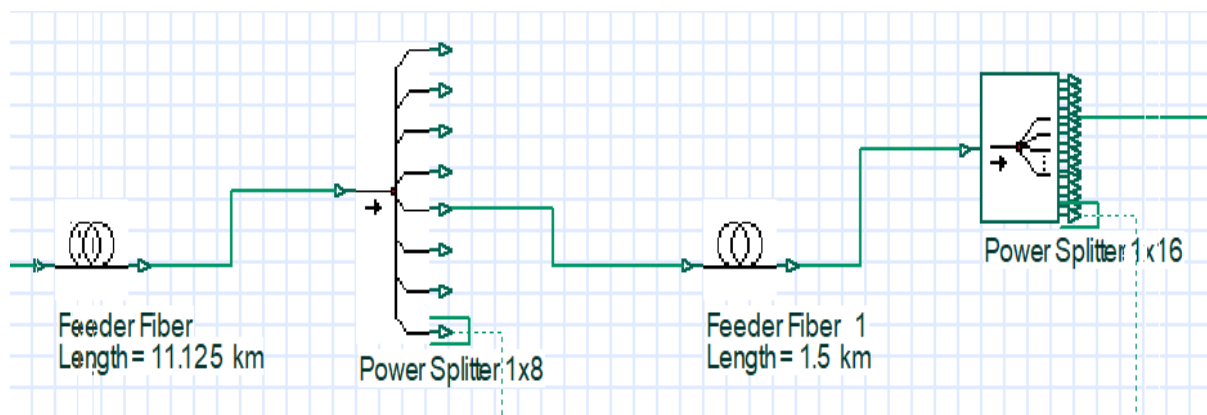
Parámetro	Dato
Tipo de fibra óptica	ADSS G.652D
Dispersión [ps/(nm*km)]	17
Distancia [km]	11.125
Atenuación [dB/km]	0.2

A continuación del feeder de la red primaria, es necesario implementar un divisor óptico primario. Como se está manejando un nivel de división óptica de 1/128, nuestro primer nivel de división será de 1/8 y el segundo nivel será de 1/16. Adicional, en cada uno de los divisores se coloca un nivel adicional de pérdidas con un valor de 1 dB para el divisor de 1/8 y 2 dB de pérdida para el divisor 1/16. Estas pérdidas son extras a las que agrega el simulador. Además, existe una fibra óptica adicional que interconecta estos dos divisores ópticos, la cual se simula con los mismos parámetros de la Tabla 18.

Tabla 20: Caracterización de los splitters y la fibra óptica.

Parámetro	Dato
Primer nivel de splitting	1/8
Segundo nivel de splitting	1/16
Pérdida en el primer nivel de splitting [dB]	1
Pérdida en el segundo nivel de splitting [dB]	2
Tipo de fibra óptica	ADSS G.652D
Dispersión [ps/(nm*km)]	17
Distancia [km]	1.5
Atenuación [dB/km]	0.2

Figura 37: Simulación de la red de fibra óptica junto con los niveles de división óptica necesarios.



También debe analizarse los parámetros de potencia óptica a la salida de cada uno de los divisores ópticos, para ello, con la ayuda de los medidores de potencia colocados a la salida de cada uno de los divisores, se verifica la pérdida de potencia existente después de que los datos transmitidos son afectados por las diferentes atenuaciones ocasionadas por los elementos

pasivos de la red y la distancia del enlace de fibra óptica.

Figura 38:
Red de fibra óptica con los respectivos medidores de potencia para el análisis de pérdidas.

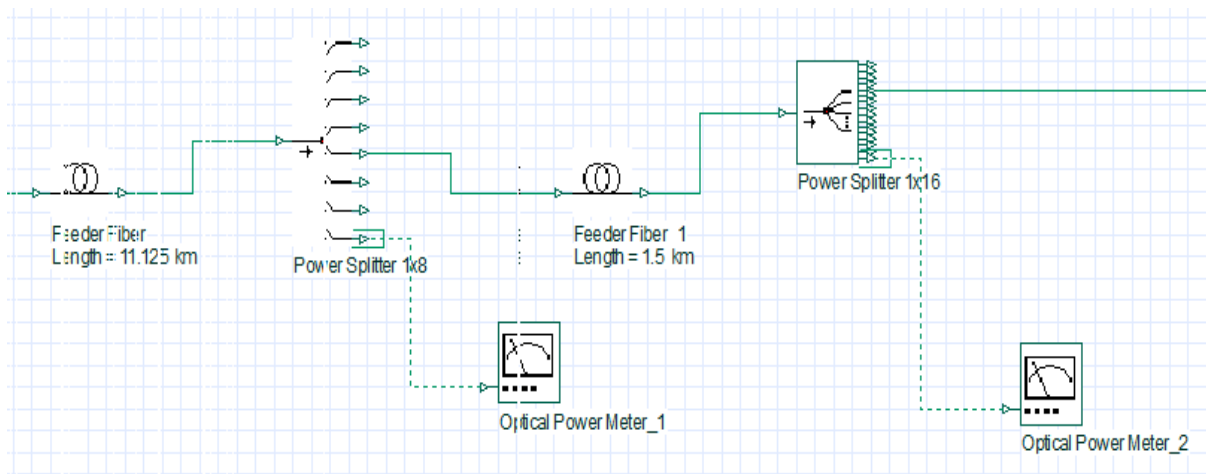
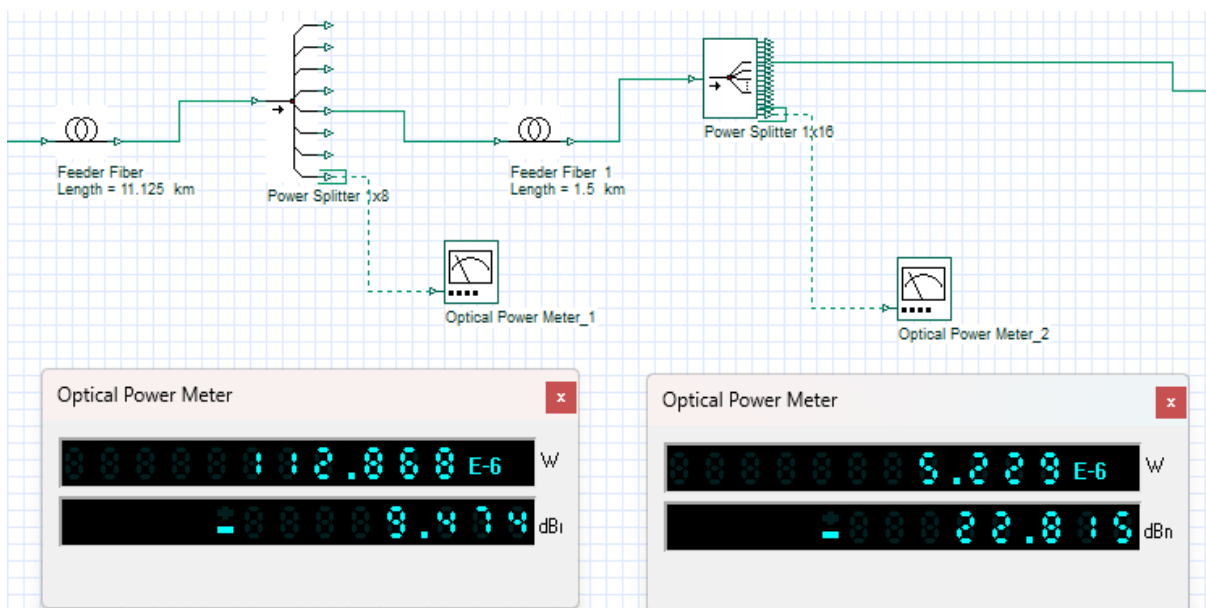


Figura 39:
Visualización de las potencias recibidas en cada nivel de splitting.

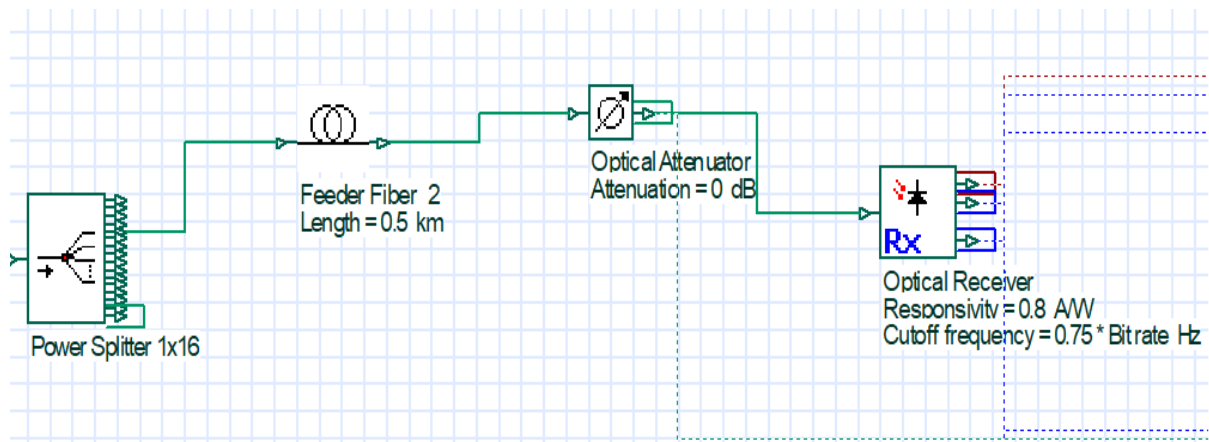


A continuación, se realiza la simulación de la red FTTH y, para ello es necesario agregar una fibra óptica del tipo drop después del segundo nivel de división óptica. Y es aquí donde se realizará un análisis comparativo de las señales recibidas con respecto a las transmitidas. Se colocará también un atenuador óptico con la finalidad de introducir atenuaciones adicionales a la red, permitiendo verificar la potencia de recepción máxima que debe llegar a la ONT antes de que los bits transmitidos se atenúen o pierdan completamente.

Tabla 21: Parámetros para caracterizar la red FTTH

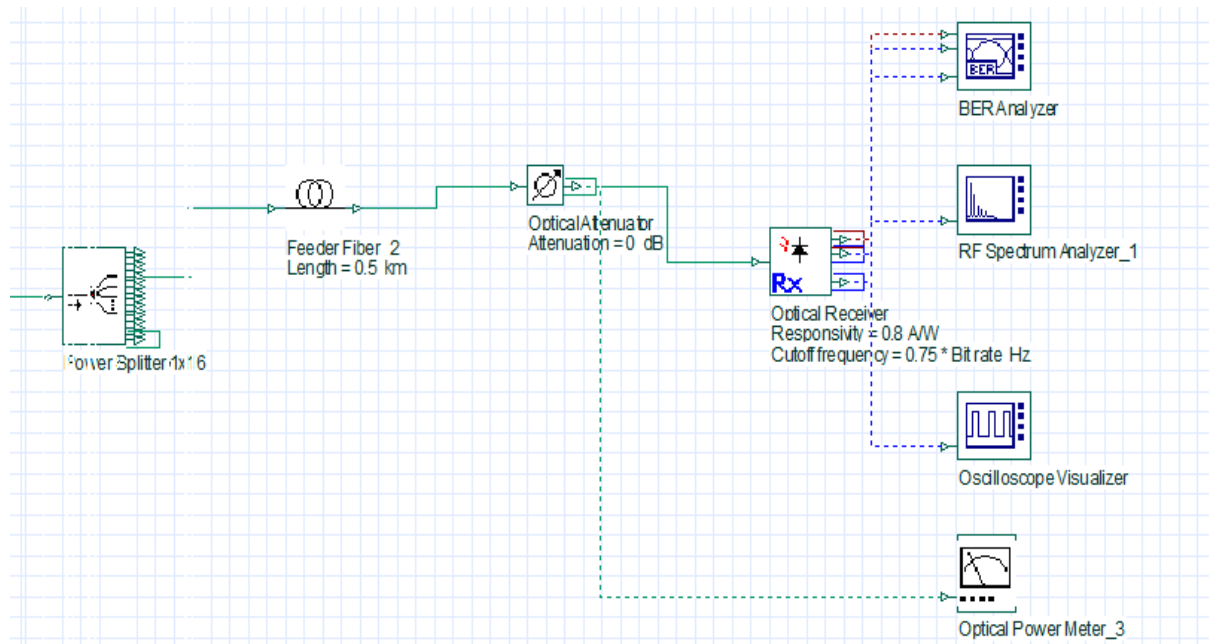
Parámetro	Dato
Tipo de fibra óptica	Drop
Dispersión [ps/(nm*km)]	17
Distancia [km]	0.5
Atenuación [dB/km]	0.2

Figura 40:
Red FTTH.



Para verificar los parámetros recibidos en la red FTTH, es necesario la aplicación de diferentes dispositivos de medición para realizar un análisis de la potencia de recepción y la visualización de los diferentes espectros en frecuencia receptados, luego de que los bits transmitidos han sido sometidos a diferentes atenuaciones.

Figura 41:
Etapa de recepción junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas recibidas.



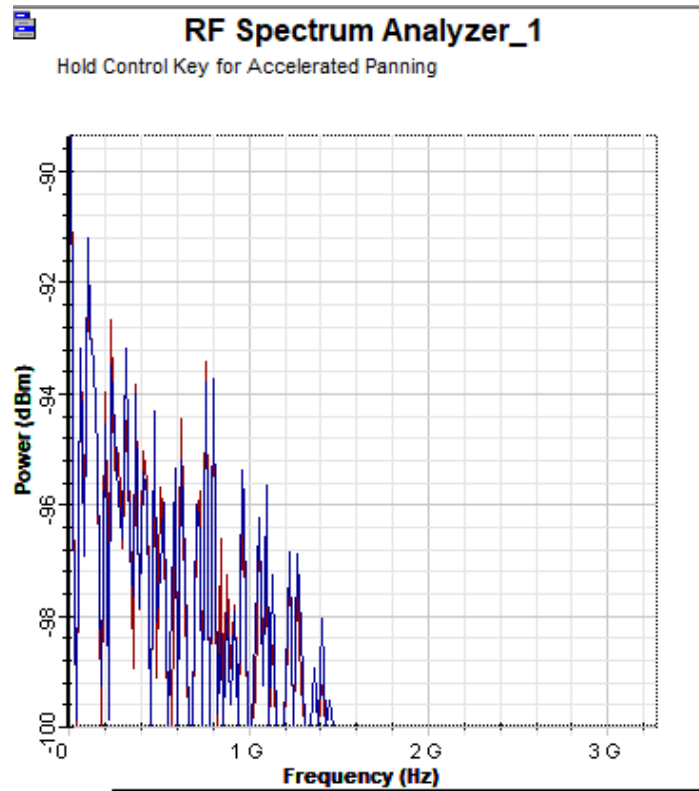
En la parte de recepción es importante mencionar que el elemento óptico de recepción está compuesto por un filtro pasabajo con una frecuencia de corte equivalente al 75% de la velocidad de transmisión. Este filtro servirá para eliminar los lóbulos secundarios del espectro de la Figura 33, quedando únicamente el lóbulo fundamental de la señal transmitida. Por lo tanto, la frecuencia de corte será de:

$$f_c = 0.75 \cdot \text{bit rate}$$

$$f_c = 0.75 \cdot 2.5 \text{ GHz}$$

$$f_c = 1.875 \text{ GHz}$$

Figura 42:
Espectro RF recibido posterior a la aplicación del filtrado.



Se realiza también el análisis de los bits recibidos cuando han sido sometidos a diferentes variaciones y atenuaciones por los elementos pasivos. Esta trama de bits receptados será distinta a los bits transmitidos y se presentan a continuación.

Figura 43:
Tasa de bits aleatorios en el receptor.

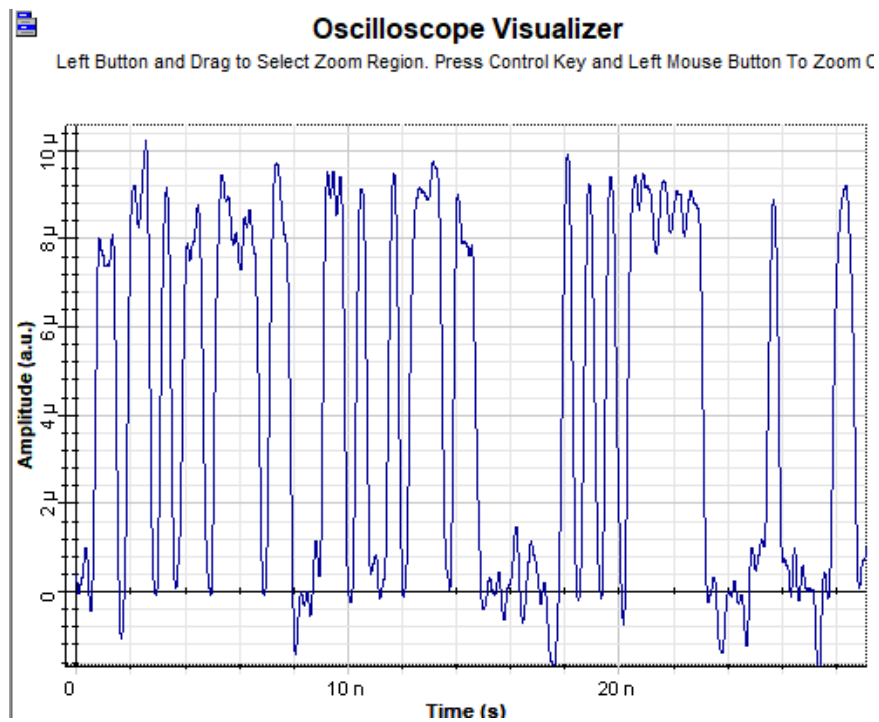
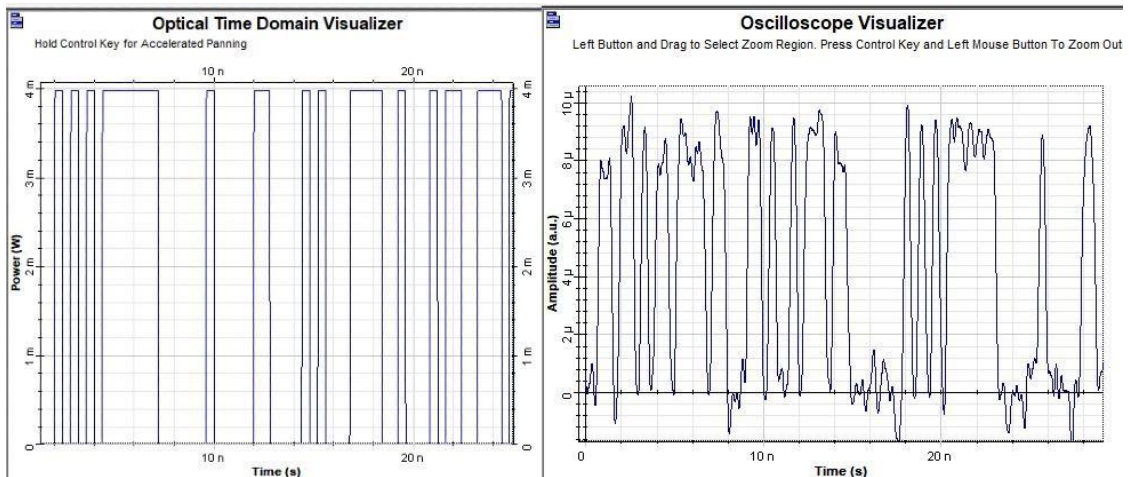
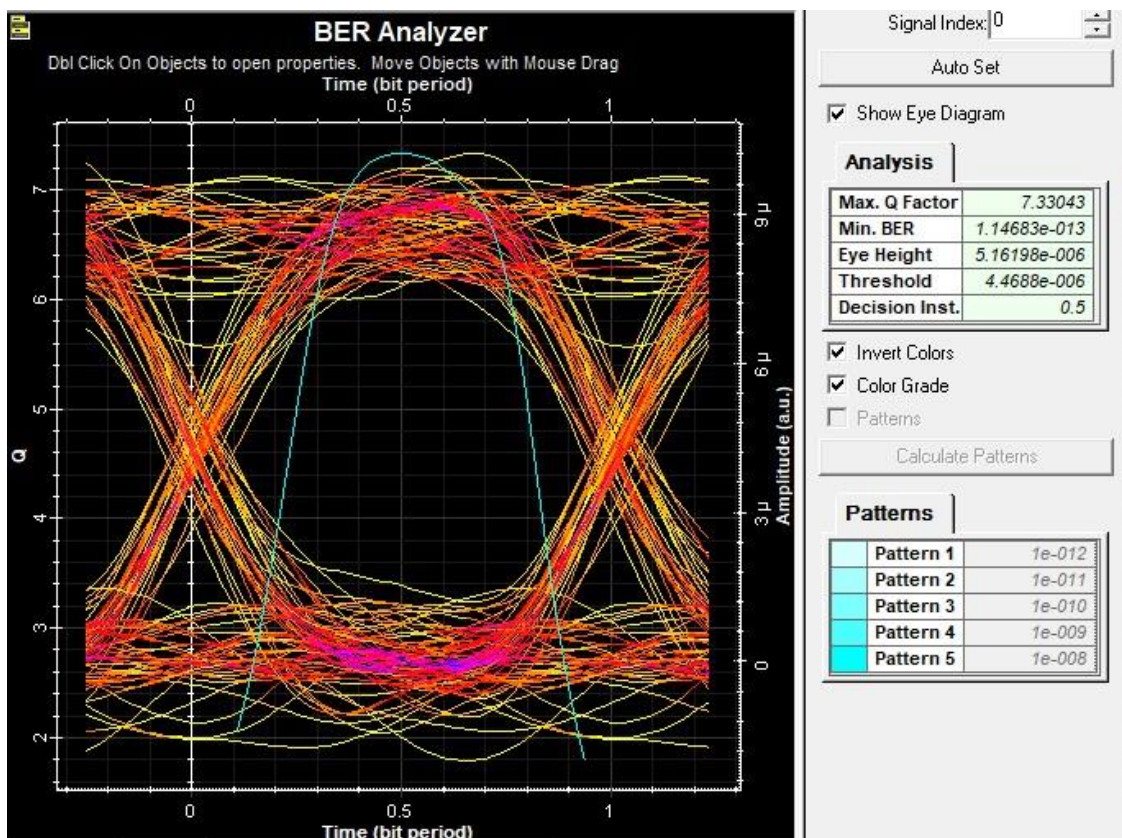


Figura 44:
Tasa de bits aleatorios transmitidos vs recibidos.



Se realiza el análisis del BER en el lado de recepción y del correspondiente diagrama del ojo. Al incrementar los valores de atenuación en el atenuador óptico, se observará la disminución, tanto de la tasa de error de bit, la apertura del diagrama del ojo y la potencia de recepción. Mientras más alejado esté el parámetro BER del valor de 1, mejor será la recepción de la señal óptica y el diagrama de ojo no se ensanchará en su amplitud. Pero mientras más nos acercamos al valor de 1, el diagrama de ojo estará más cerrado y distorsionado, perdiendo así los bits transmitidos en el receptor.

Figura 45:
Diagrama de ojo de la señal óptica recibida.

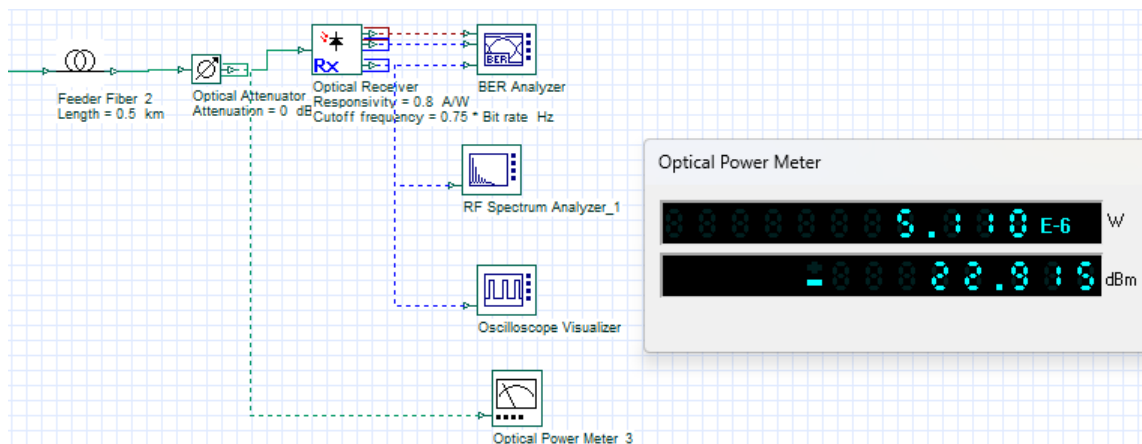


En la Figura 45 se visualiza un diagrama de ojo lo suficientemente abierto para garantizar la recepción de la señal. El valor del parámetro BER es muy pequeño y cercano a cero, con lo cual se puede asegurar que la señal transmitida será receptada.

Sin realizar modificaciones en ninguno de los parámetros, se procede a revisar el valor de la potencia óptica recibida. Para ello se hace uso de un medidor de potencia, el cual nos indica el valor de potencia que recibirá la ONT. Este valor de potencia de -22.915 dBm es muy próximo al valor real receptado por el cliente en estudio (Véase la Tabla 17).

Figura 46:

Potencia receptada en la ONT.



A continuación, se aplicarán diferentes valores de atenuación a la red de fibra óptica mediante la variación de los parámetros del atenuador óptico de la Figura 46, para simular las pérdidas adicionales que pueden existir en la red. Se tomarán diferentes muestras tanto de la potencia de recepción como del parámetro BER, hasta que la señal en el receptor esté lo suficientemente distorsionada, estableciéndose así la pérdida completa de los bits transmitidos.

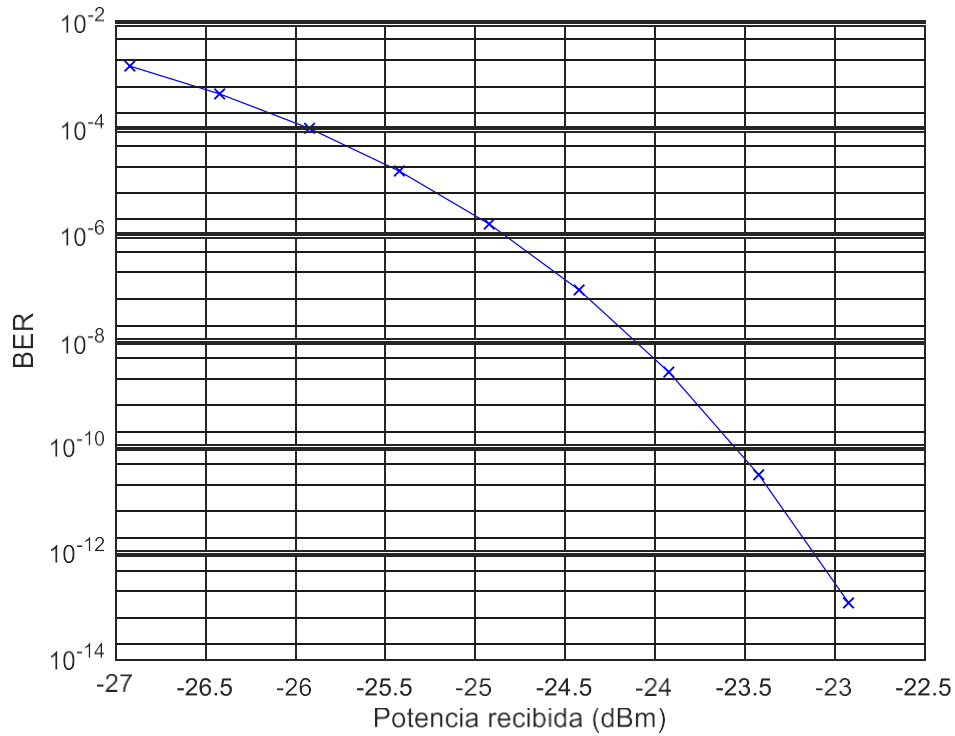
Tabla 22: *Parámetros medidos tanto de potencia receptada como BER para diferentes valores de atenuación.*

Atenuación [dB]	Potencia Rx [dBm]	BER
0	-22.92	$1.1468e - 13$
0.5	-23.42	$2.9254e - 11$
1	-23.92	$2.4707e - 9$
1.5	-24.42	$8.6439e - 8$
2	-24.92	$1.4952e - 6$
2.5	-25.42	$1.4792e - 5$
3	-25.92	$9.3706e - 5$
3.5	-26.42	$4.159e - 4$
4	-26.92	$1.389e - 3$

Una vez obtenidos los datos recopilados en la Tabla 21, se procede a realizar la gráfica de Potencia Rx vs BER mediante el uso del software Matlab. Se pretende hacer un análisis de la variación entre el parámetro BER y la variación de potencia de recepción.

Mientras más pequeño es el valor del BER, mejor es la recepción de los bits en el receptor. Pero, al existir atenuaciones adicionales en la red de fibra óptica, la potencia de recepción disminuirá, haciendo que el parámetro BER también disminuya. Esto se refleja en el diagrama de ojo. Mientras menores son estos dos parámetros en la recepción, la apertura del diagrama de ojo será menor, incluso hasta nulo en ciertos casos, reflejando así la pérdida completa de los bits transmitidos.

Figura 47:
Gráfica de la potencia de recepción vs BER.



Otra forma de observar la variación que existe entre la potencia de recepción y el BER, es mediante la visualización del diagrama de ojo. Para ello se presentarán diferentes muestras en las cuales se puede observar la variación existente en el receptor.

Figura 48:
Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 1 dB en el receptor.

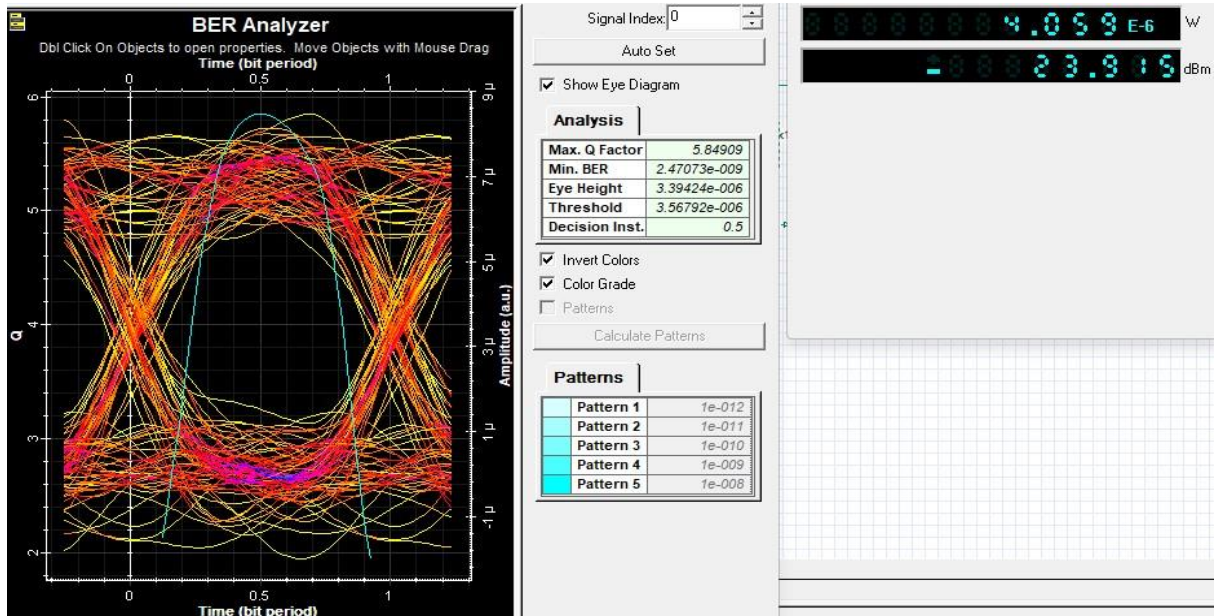


Figura 49:

Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 2 dB en el receptor.

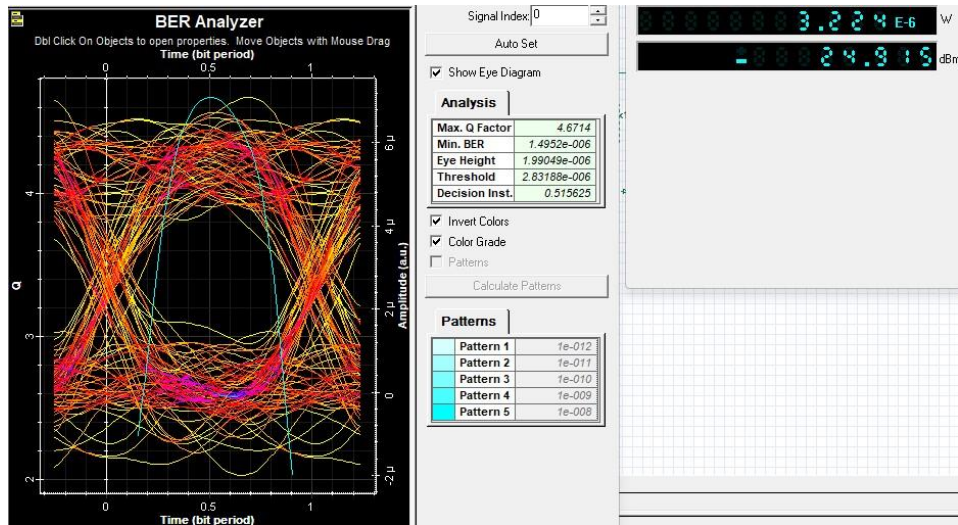


Figura 50:

Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 3 dB en el receptor.

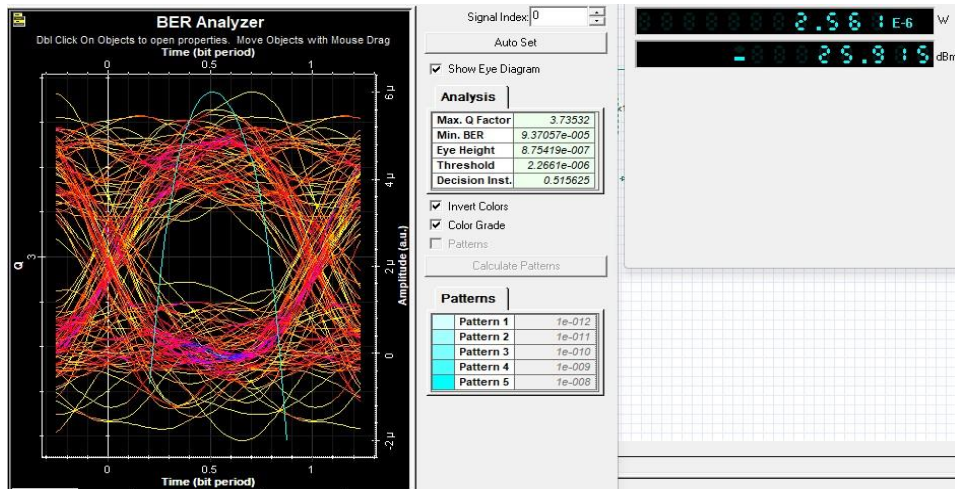
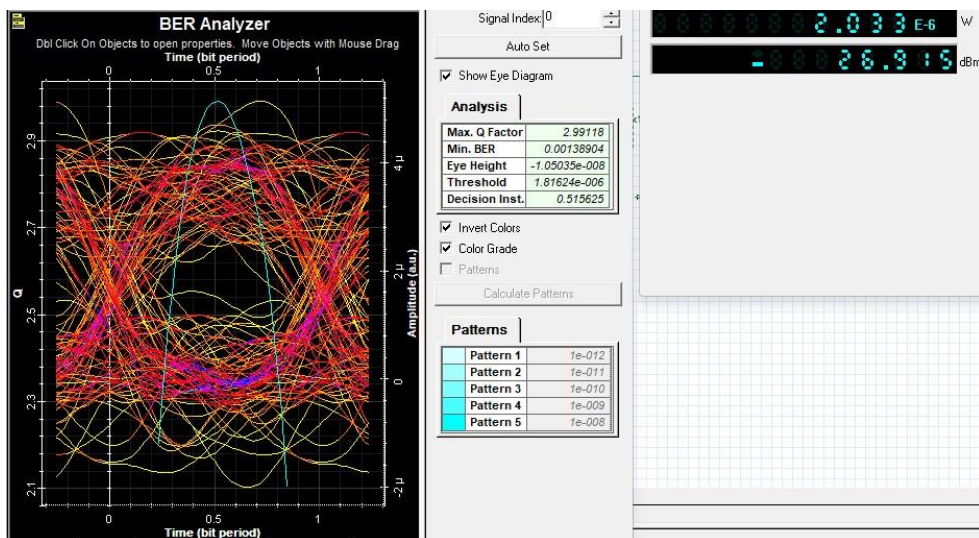


Figura 51

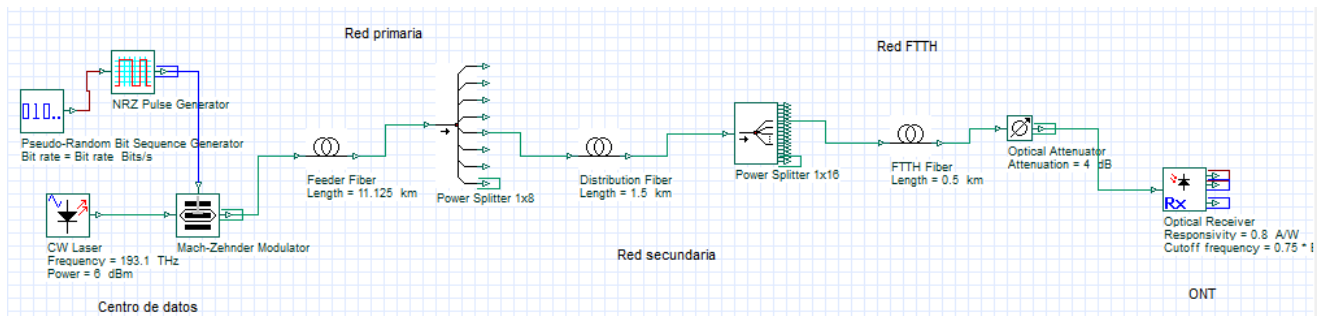
Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 4 dB en el receptor.



Como se puede observar en las Figuras 48 – 51 el diagrama de ojo muestra variaciones en su apertura. Mientras mayores son las atenuaciones presentes sobre la red, menor será la potencia de recepción junto con el parámetro BER.

Es importante tener en cuenta esto, porque los bits transmitidos se perderán mientras existan mayores atenuaciones presentes en la red. Por lo tanto, es importante mantener las atenuaciones en lo menor posible para no afectar la recepción de los bits por parte de la ONT, mejorando así la calidad del servicio prestado.

Figura 52:
Topología de red GPON simulada.



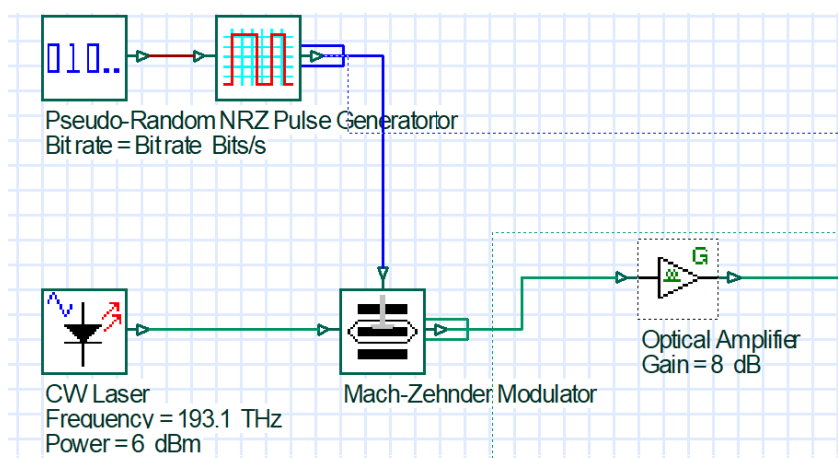
6.2. Simulación del estándar XGS-PON

Para realizar la simulación correspondiente a XGS-PON, partimos desde la base que es GPON, con la misma topología presentada en la Figura 52, pero con ciertas modificaciones. Debido a que XGS-PON trabaja sobre una tasa de transmisión que es 4 veces mayor a GPON, es necesario adicionar un amplificador de potencia óptica de disparo en el transmisor. Por lo general este amplificador está incorporado en el chip del SFP que va colocado en el puerto óptico de la tarjeta XGS-PON.

Tabla 23: Parámetros técnicos a simular en XGS-PON

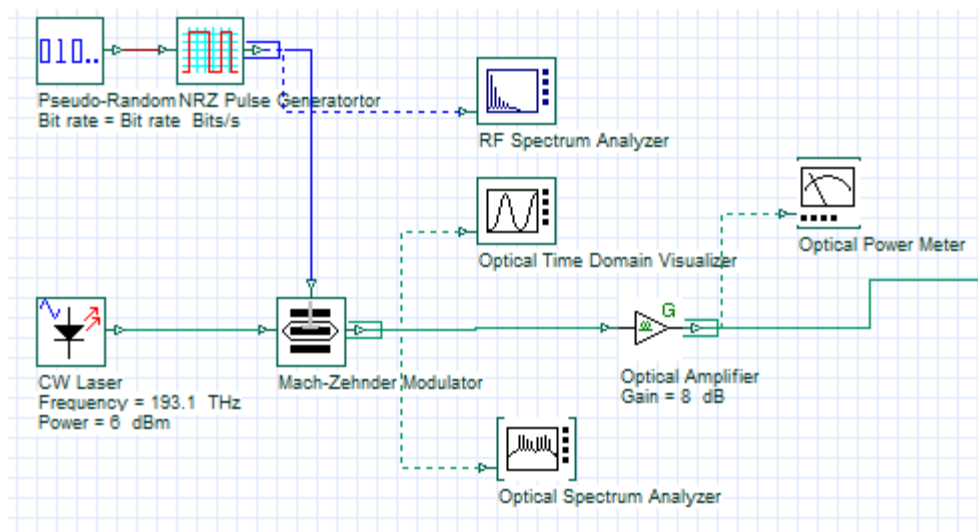
Parámetros técnicos	Dato
Distancia de la ONT [m]	1325
Número de serie de la ONT	485754431428A59A
Potencia óptica transmitida sin amplificar [dBm]	2.35
Ganancia del amplificador de disparo [dB]	8
Longitud del feeder [m]	11125

Figura 53:
Simulación del transmisor óptico XGS-PON correspondiente a un puerto de la tarjeta de la OLT.



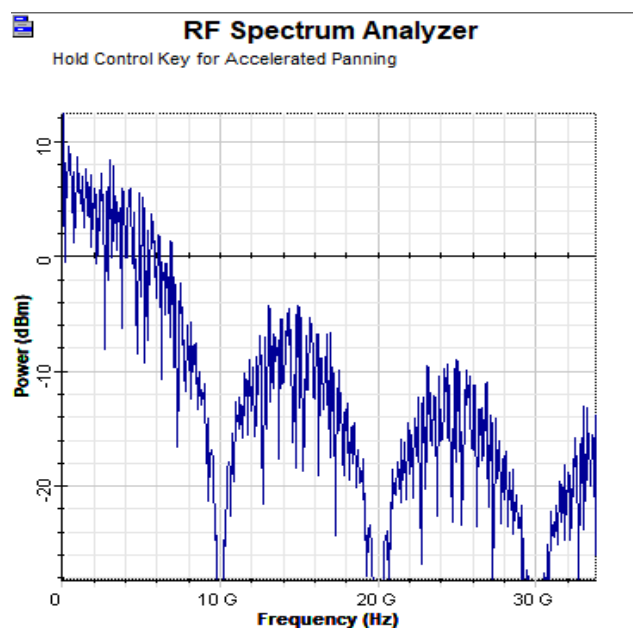
A la salida del modulador se agregan dispositivos de medición y visualización para analizar la señal óptica entregada y que va a ser transmitida por la fibra óptica. Entre estos dispositivos de medición están: un visualizador óptico en el dominio del tiempo mediante el cual se presentará los bits rectangulares transmitidos y modulados. También se tiene un analizador de espectros óptico para verificar la señal modulada y además utilizaremos un medidor de potencia para verificar este parámetro a la salida del amplificador de disparo. Para verificar el valor del ancho de banda transmitido, se hará uso de un analizador de espectros RF, el cual nos entregará el valor del ancho de banda fundamental que tiene la señal a ser transmitida.

Figura 54:
Transmisor óptico junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas transmitidas.



En el analizador de espectros RF se puede observar el ancho de banda de la señal transmitida. El primer lóbulo indica el ancho de banda fundamental de la señal óptica, el cual corta al eje de la frecuencia aproximadamente en 10 GHz que es la frecuencia a la que trabaja el estándar XGS-PON.

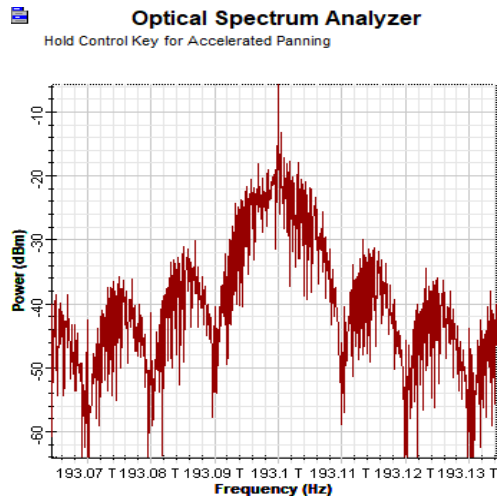
Figura 55:
Espectro en frecuencia de la señal RF transmitida en banda base.



A través del uso del analizador de espectros ópticos, se procede a la visualización del

espectro óptico modulado en la parte del transmisor. Esta gráfica que se observa en la Figura 56 indica que el ancho del lóbulo fundamental aumenta al doble de la frecuencia fundamental. Recordando el teorema del muestreo, la frecuencia de una señal modulada es el doble de la frecuencia de la señal en banda base. Por lo tanto, si el ancho de banda de la señal transmitida en banda base es de 10 GHz , el ancho de banda del lóbulo fundamental en banda modulada será de 20 GHz .

Figura 56:
Visualización del espectro óptico modulado.



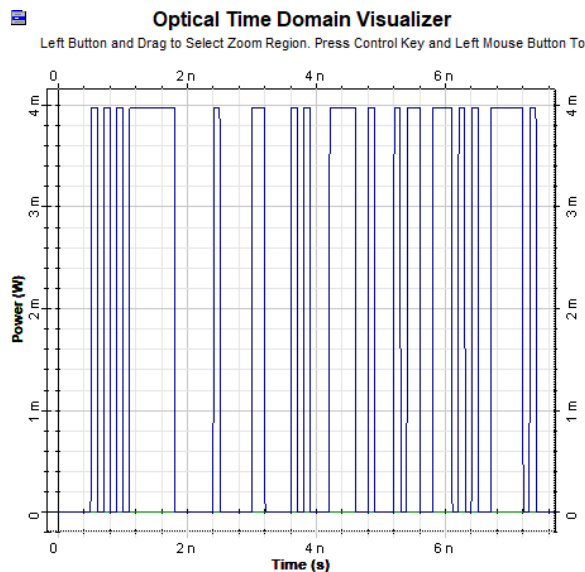
Analizando la Figura 56, el ancho del lóbulo fundamental se encuentra entre los 193.09 THz y 193.11 THz . Realizando la diferencia entre estos dos valores, se encontrará el ancho de banda fundamental esperado de 20 GHz del espectro óptico modulado.

$$BW_{\text{modulado}} = 193.11\text{THz} - 193.09\text{THz}$$

$$BW_{\text{modulado}} = 20\text{ GHz}$$

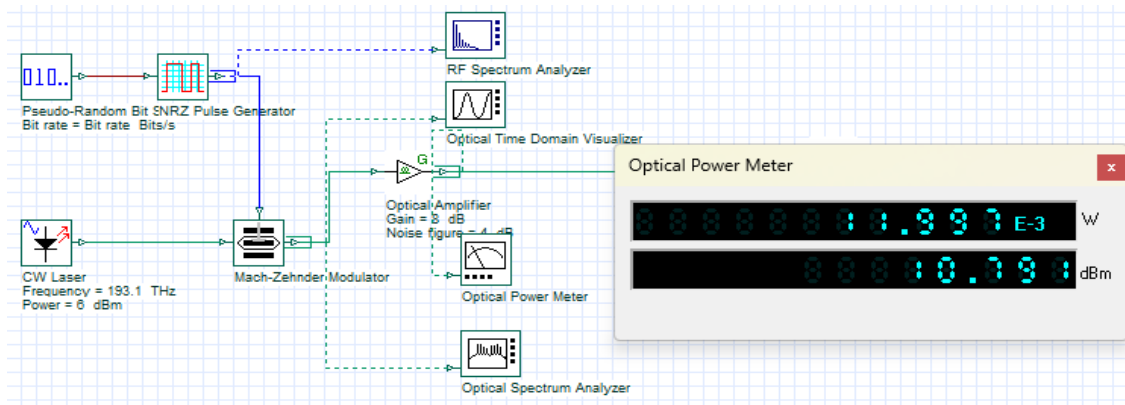
También es posible analizar la tasa de bits aleatorios transmitidos a una velocidad de transmisión de 10 Gbps . Estos bits al encontrarse en el lado del transmisor no presentan ruido y tampoco interferencias.

Figura 57:
Tasa de bits aleatorios transmitidos.



Otro parámetro que es importante visualizar es la potencia óptica de transmisión a la salida del amplificador de disparo. Este valor de potencia comúnmente varía entre 6 y 10 dB, dependiendo del adaptador SFP utilizado. Como se puede observar en la simulación, se tiene un valor de potencia óptica a la salida del transmisor de 10.79 dBm.

Figura 58:
Potencia óptica a la salida del transmisor.



Una vez que ya se tiene una potencia de transmisión óptima a la salida del amplificador de disparo, se procede a enviar los bits aleatorios de forma óptica sobre la red de distribución. Debido a que en XGS-PON se puede utilizar la red ODN heredada, no se vuelve necesario la implementación de elementos pasivos adicionales en el trayecto de la fibra óptica. Por esta razón se trabajará sobre la misma red implementada en la Figura 38.

Figura 59:
Red de distribución óptica heredada para la implementación del estándar XGS-PON.

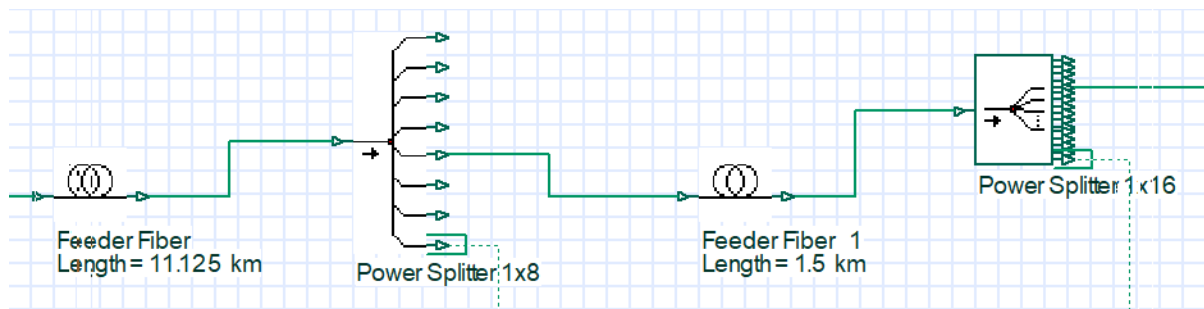
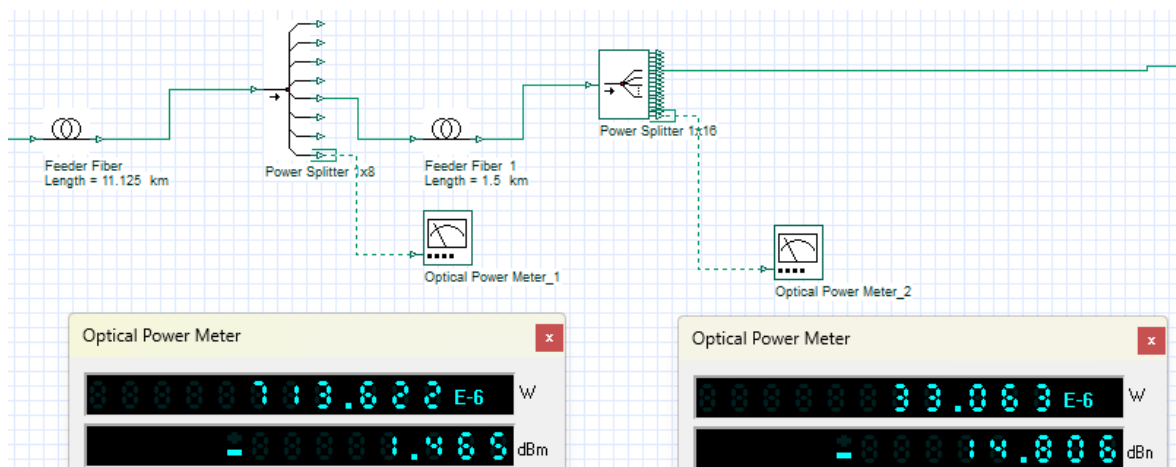
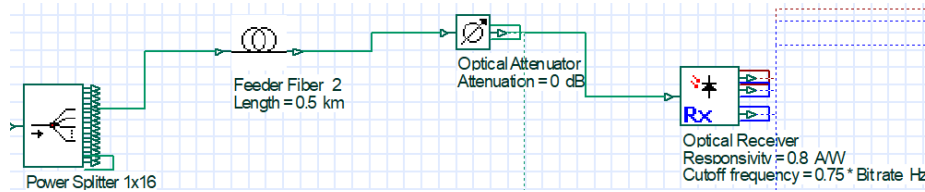


Figura 60:
Visualización de las potencias recibidas en cada nivel de splitting



Al igual que la red de distribución, la red FTTH se mantiene igual, es decir se hereda de GPON. El único cambio a realizar es el equipo ONT. Este dispositivo se simula también mediante un receptor óptico, el cual se encargará de recibir la señal óptica transmitida.

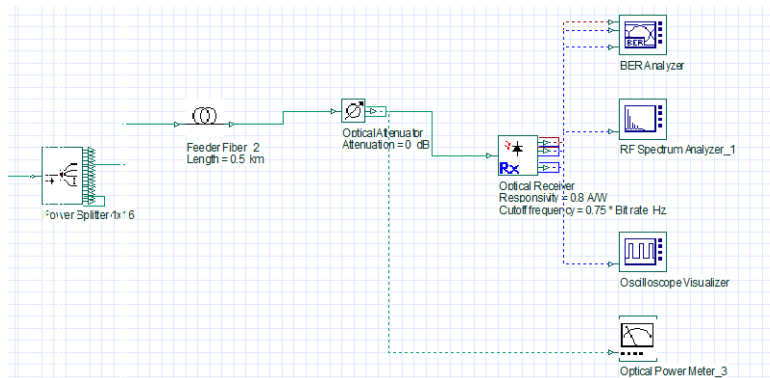
Figura 61:
Red FTTH.



Para verificar los parámetros recibidos en la red FTTH, es necesario la aplicación de diferentes dispositivos de visualización para analizar el comportamiento de la red en el receptor. Esto es el análisis de la potencia de recepción junto con las diferentes gráficas receptadas luego de que los bits han atravesado diferentes estaciones y han sido sometidos a diversas atenuaciones.

Figura 62:

Etapa de recepción junto con los diferentes dispositivos para medición y análisis de las señales ópticas recibidas.



En el extremo de recepción es importante mencionar que el elemento óptico de recepción está compuesto por un filtro pasabajo con una frecuencia de corte equivalente al 75% de la velocidad de transmisión. Este filtro servirá para eliminar los lóbulos secundarios de la Figura 55, quedando únicamente el lóbulo fundamental de la señal transmitida. Por lo tanto, la frecuencia de corte para el diseño del filtro será de:

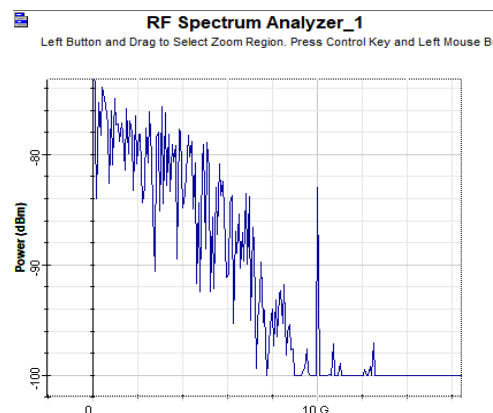
$$f_c = 0.75 \cdot \text{bit rate}$$

$$f_c = 0.75 \cdot 10 \text{ GHz}$$

$$f_c = 7.5 \text{ GHz}$$

Figura 63:

Espectro RF recibido posterior a la aplicación del filtrado.



Se realiza el análisis del BER en el lado de recepción y del correspondiente diagrama del ojo. Al incrementar los valores de atenuación en el atenuador óptico, se observará la disminución, tanto de la tasa de error de bit, la apertura del diagrama del ojo y la potencia de recepción. Mientras más alejado esté el parámetro BER del valor de 1, mejor será la recepción de la señal óptica y el diagrama de ojo no se ensanchará en su amplitud. Pero mientras más nos acercamos al valor de 1, el diagrama de ojo estará más cerrado y distorsionado, perdiendo así los bits transmitidos en el receptor (véase la Figura 66).

Figura 64:

Tasa de bits aleatorios en el receptor.

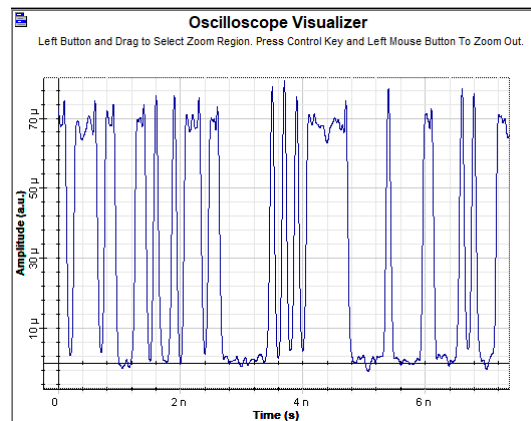


Figura 65:

Tasa de bits aleatorios transmitidos vs recibidos.

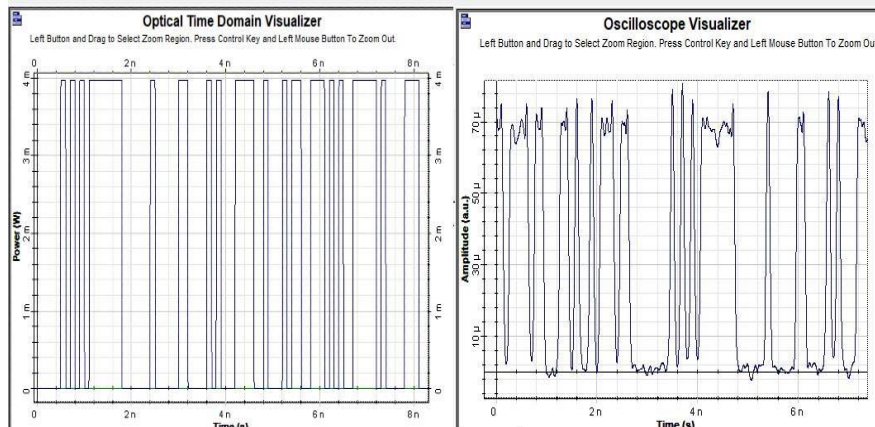
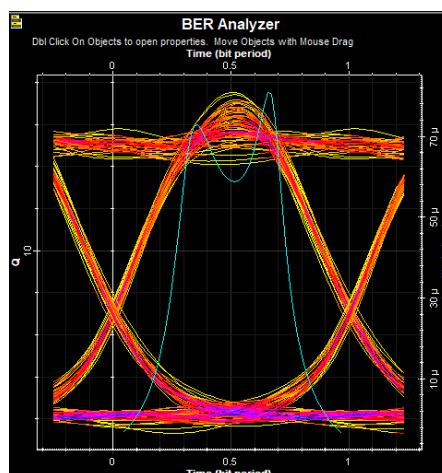


Figura 66:

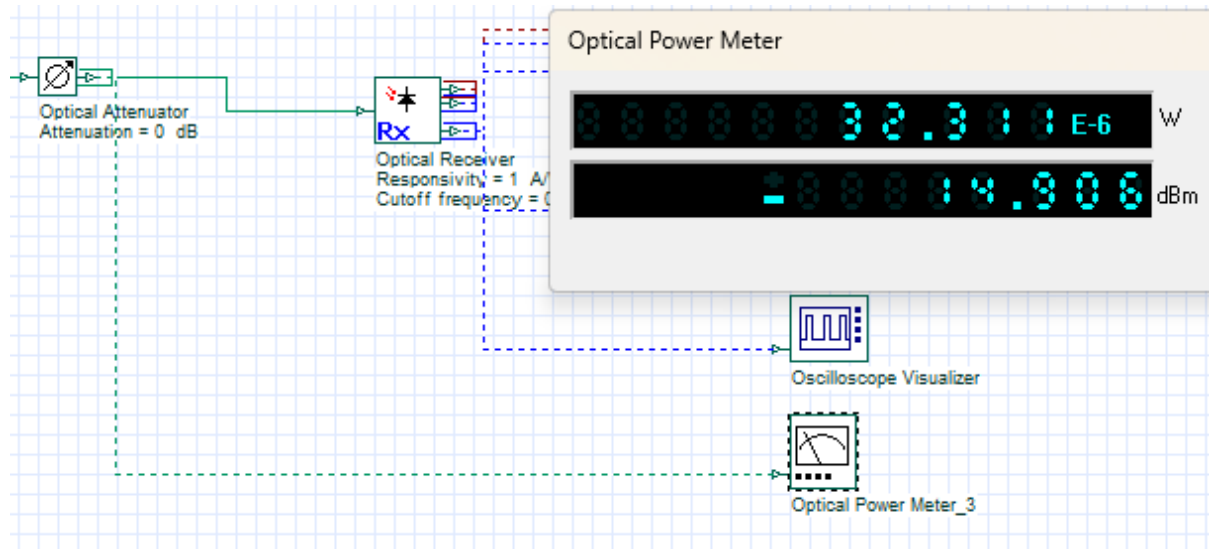
Diagrama de ojo de la señal óptica recibida



En la Figura 66 visualizamos un diagrama de ojo lo suficientemente abierto para garantizar la recepción de la señal y el valor del parámetro BER es muy pequeño y cercano a cero, con lo cual se puede asegurar que la señal transmitida será receptada sin problema.

Sin modificar ninguno de los parámetros, se procede a revisar el valor de la potencia óptica receptada, para ello se hace uso de un medidor de potencia, el cual nos indicará el valor de potencia que recibe la ONT.

Figura 67:
Potencia receptada en la ONT.



A continuación, se aplicarán diferentes valores de atenuación a la red de fibra óptica mediante la variación de los parámetros del atenuador óptico de la Figura 67, para simular las pérdidas adicionales que pueden existir en la red. Se tomarán diferentes muestras tanto de la potencia de recepción como del parámetro BER, hasta que la señal en el receptor esté lo suficientemente distorsionada, estableciéndose así la pérdida completa de los bits transmitidos.

Tabla 24: Parámetros medidos tanto de potencia receptada como BER para diferentes valores de atenuación

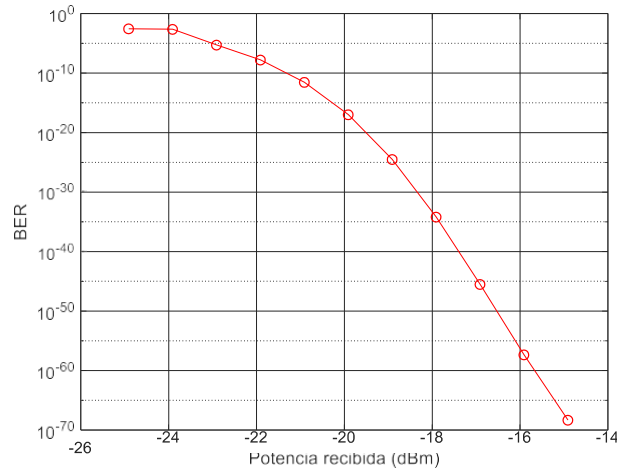
Atenuación [dB]	Potencia Rx [dBm]	BER
0	-14.91	$4.571e - 69$
1	-15.91	$4.245e - 58$
2	-16.91	$2.936e - 46$
3	-17.907	$6.226e - 35$
4	-18.91	$2.958e - 25$
5	-19.91	$9.841e - 18$
6	-20.91	$2.744e - 12$
7	-21.91	$1.561e - 8$
8	-22.91	$5.079e - 6$
9	-23.91	$2.24e - 3$
10	-24.91	0.002698

Una vez obtenidos los datos recopilados en la Tabla 23, se procede a realizar la gráfica de Potencia Rx vs BER mediante el uso del software Matlab. Se pretende hacer un análisis de la variación entre el parámetro BER y la variación de potencia de recepción.

Mientras más pequeño es el valor del BER, mejor es la recepción de los bits en el receptor. Pero, al existir atenuaciones adicionales en la red de fibra óptica, la potencia de

recepción disminuirá, haciendo que el parámetro BER también disminuya. Esto se refleja en el diagrama de ojo. Mientras menores son estos dos parámetros en la recepción, la apertura del diagrama de ojo será menor, incluso hasta nulo en ciertos casos, reflejando así la pérdida completa de los bits transmitidos.

Figura 68:
Gráfica de la potencia de recepción vs BER.



Otra forma de observar la variación que existe entre la potencia de recepción y el BER, es mediante la visualización del diagrama de ojo. Para ello se presentarán diferentes muestras en las cuales se puede observar la variación existente en el receptor.

Figura 69:
Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 4 dB en el receptor.

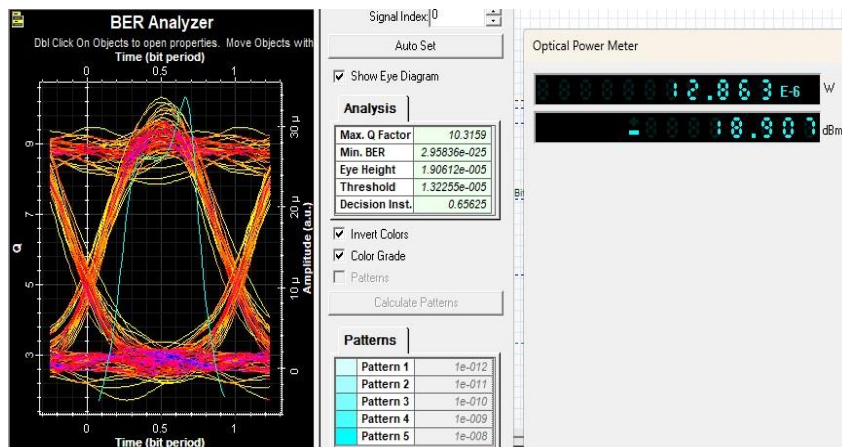


Figura 70:
Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 6 dB en el receptor.

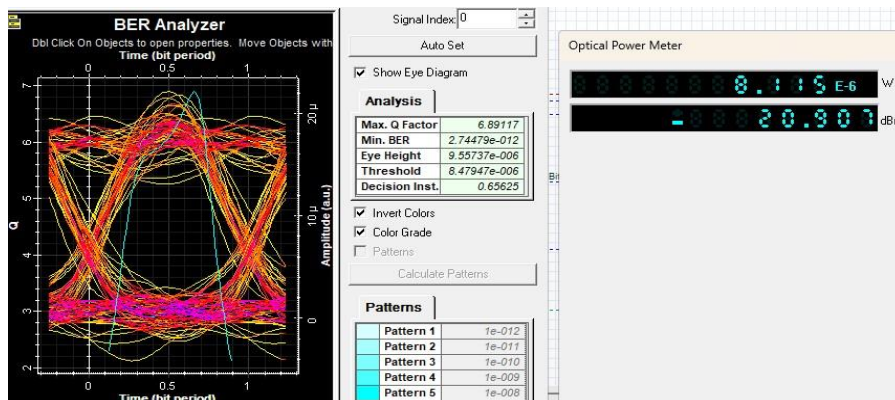


Figura 71:

Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 8 dB en el receptor.

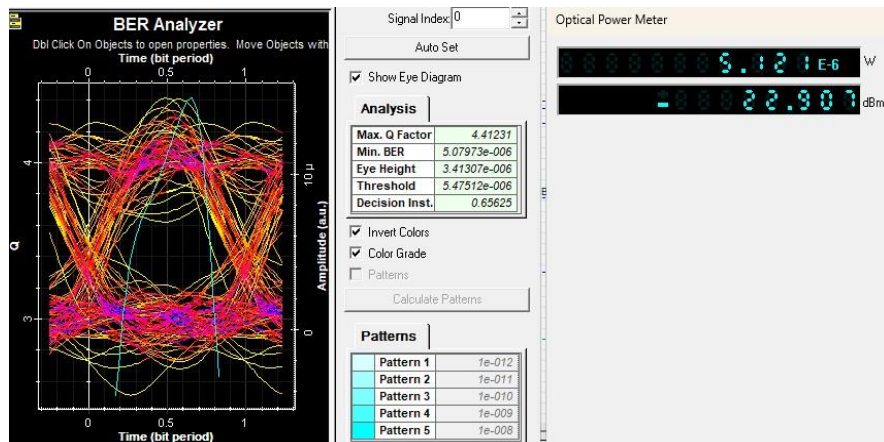
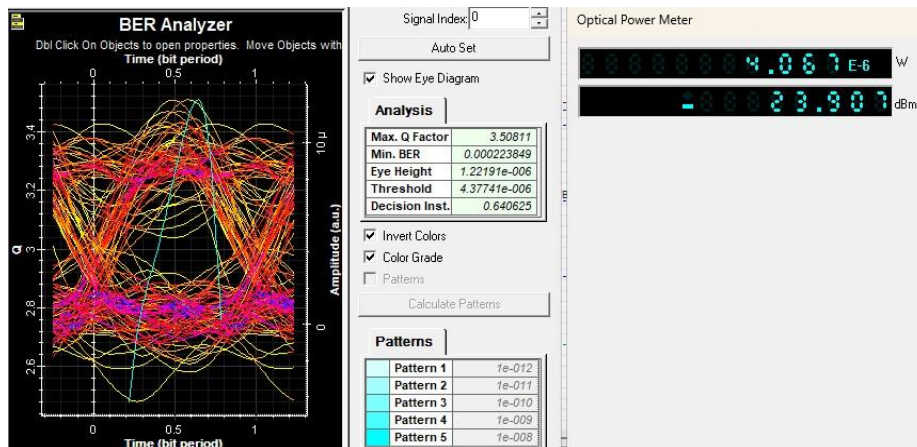


Figura 72:

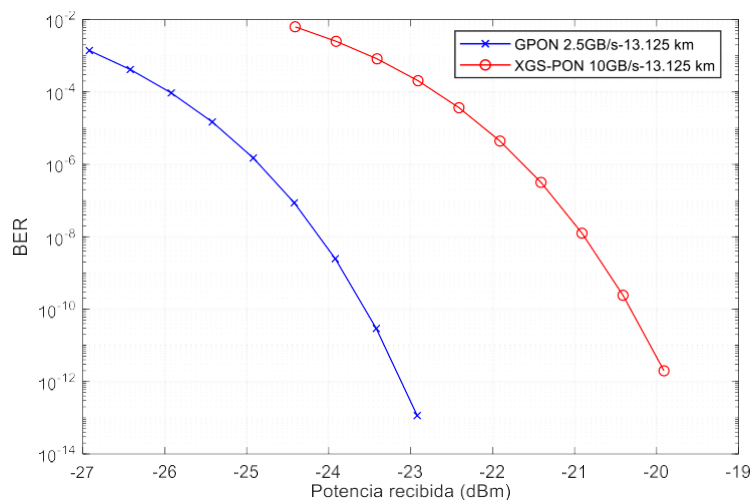
Diagrama de ojo y potencia de recepción para una atenuación adicional de 9 dB en el receptor.



Como se puede observar en las Figuras 69 – 72, el diagrama de ojo muestra variaciones en su apertura. Mientras mayores son las atenuaciones presentes sobre la red, menor será la potencia de recepción junto con el parámetro BER.

Figura 73:

Gráfica correspondiente a la potencia recibida vs BER tanto para GPON como XGS-PON.



La Figura 73 presenta una comparación entre las gráficas de potencia recibida vs BER tanto para el estándar GPON como XGS-PON. Esta gráfica indica que, a mayor potencia

recibida, el parámetro BER tiende a cero, lo cual es óptimo para garantizar una calidad de recepción de los datos transmitidos en el receptor. Pero mientras los valores de potencia recibida disminuyen, el parámetro BER se incrementa. Mientras mayores sean las atenuaciones existentes en la red, la potencia recibida será menor y el BER incrementará su valor hasta llegar a convertirse en un valor cercano a 1. Cuando este valor tiene a ser 1, los bits transmitidos se perderán completamente en el receptor, lo cual se puede apreciar en el diagrama de ojo que pierde su apertura total. Por esta razón es importante que las atenuaciones en la red de fibra óptica desde el transmisor hasta la recepción se mantengan en valores bajos para tener mejor calidad de recepción de los datos.

También se puede apreciar que, la gráfica de la potencia recibida vs BER para el estándar XGS-PON admite una mayor cantidad de atenuación, ya que, si nos fijamos en los datos de la Tabla 23, este estándar bajo el escenario implementado admite hasta una cantidad de hasta 10 dB de atenuación hasta convertir el valor de BER en un dato cercano o próximo a 1, lo que no sucede para GPON, ya que, empleando una menor cantidad de atenuaciones, más rápido llega el BER a un valor cercano a 1. Y, mientras menor sea el valor de atenuación, mayor será la apertura del diagrama de ojo y el parámetro BER será un valor mucho más cercano a 0, logrando así una mejor calidad de recepción.

Figura 74:

Gráfica comparativa de potencia recibida vs BER tanto para GPON como XGS-PON.

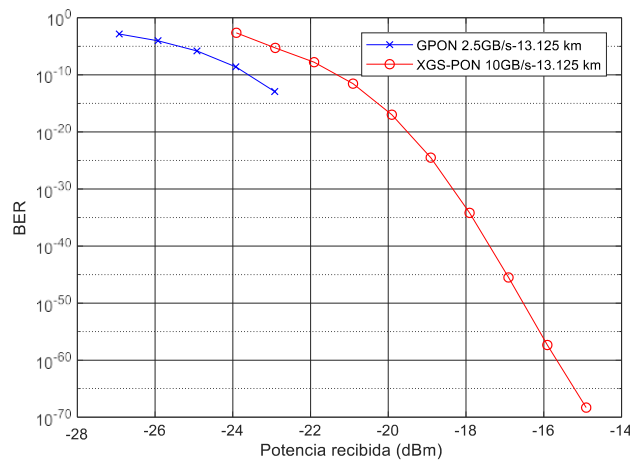
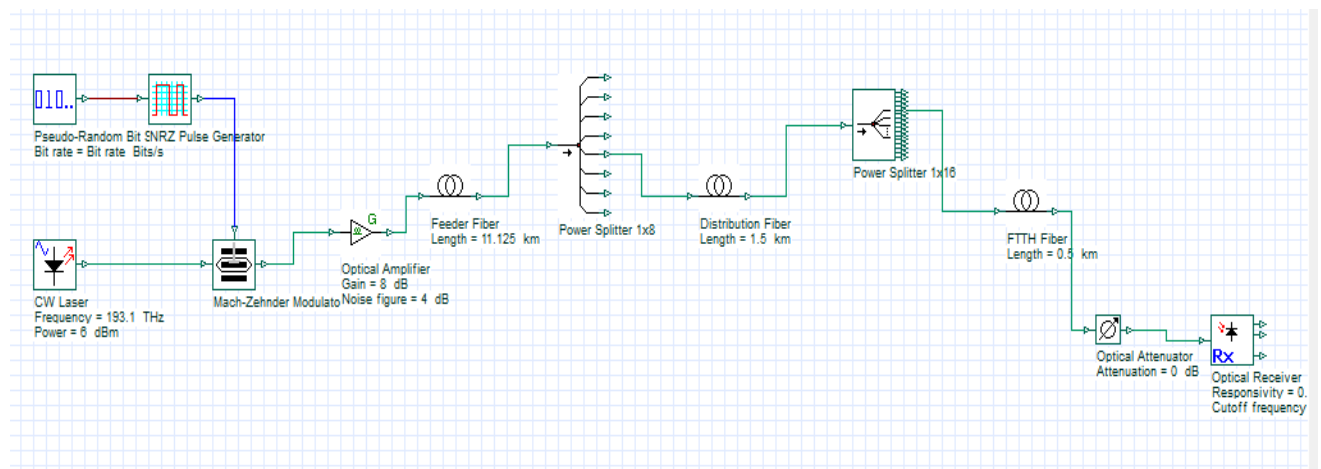


Figura 75:

Topología de red GPON simulada.



CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

La fibra óptica se ha convertido en el medio de transmisión más eficiente y confiable en las redes ópticas actuales. Su capacidad de transmisión permite que los datos se propaguen a altas tasas de velocidad, permitiendo que las comunicaciones sean estables y seguras.

La infraestructura de las redes de distribución ópticas ODN están conformadas de elementos activos y pasivos. La arquitectura de este tipo de redes está conformada por: OLT, divisores ópticos (splitter) y ONT/ONU.

Existen diferentes estándares dentro de las redes PON, los cuales han sido estandarizados por dos instituciones a nivel internacional como lo son: la Unión Internacional de Telecomunicaciones ITU-T y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos IEEE. Estas instituciones han definido los siguientes estándares: BPON, GPON, XGS-PON, NGPON2, EPON, 10GEPON, NG-EPON.

La red óptica pasiva con capacidad de gigabit GPON, trabaja sobre un rango de longitudes de onda para transportar tráfico tanto de subida de datos como descarga. El rango de longitudes de onda para un enlace de bajada son 1480 – 1500 nm. Y, para un enlace de subida el rango es 1260 – 1360 nm.

La red óptica pasiva simétrica con capacidad de 10 gigabit XGS-PON, para un enlace ascendente trabaja sobre un rango de longitudes de onda que van desde 1260 – 1280 nm. Y para un enlace de descarga, el rango de longitudes de onda es de 1575 – 1580 nm.

XGS-PON al ser simétrico y de mayor capacidad de ancho de banda que GPON, es un estándar capaz de satisfacer los requerimientos de los usuarios que cada día exigen mayores anchos de banda para sus conexiones a internet, y que, a futuro, este estándar de nueva generación se convertiría en el reemplazo inmediato del estándar GPON, ya que se prevé que con el paso del tiempo el ancho de banda que entrega GPON no sea el suficiente para abastecer demandas de velocidades de transmisión muy altas.

Existen dos escenarios de migración: brownfield y greenfield. Debido a que el estándar XGS-PON puede coexistir con el estándar GPON sobre la misma red de distribución óptica pasiva que ya se encuentra desplegada por la empresa en estudio, se trabajó sobre un escenario brownfield, donde se tomaron en consideración diversos parámetros reales para el estudio de la factibilidad técnica y económica.

El estudio de la factibilidad técnica permitió conocer que sí es factible migrar la OLT basada en GPON hacia el estándar XGS-PON. Esto debido a la existencia en el mercado de los diferentes componentes activos necesarios para migrar una cantidad específica de clientes hacia el estándar de nueva generación, aprovechando que los dos estándares pueden coexistir sobre una misma red de distribución óptica a través de la implementación del módulo WDM1r, el cual necesita ser instalado en el centro de datos junto con la OLT.

El estudio de la factibilidad económica sirvió para analizar el camino más viable para migrar la OLT basada en GPON hacia XGS-PON a través de diversos escenarios planteados. Se encontró que la solución más óptima es realizar una migración parcial de la OLT, tomando

en consideración un número reducido de clientes, tanto residenciales como corporativos, logrando así que la inversión a realizar no sea muy elevada y pueda recuperarse en el menor tiempo posible. Hay que considerar también que realizar una migración completa de GPON hacia XGS-PON no es una solución viable, ya que el costo para hacerlo es muy elevado y el tiempo para recuperar la inversión puede ser alto. Además, se prevé que no todos los usuarios requieran migrar hacia un servicio de mejores prestaciones, ya que muchos hogares utilizan el servicio de internet de una forma básica.

Las simulaciones realizadas tanto para GPON como XGS-PON a través del software Optisystem, mostraron la diferencia entre estos dos estándares al ser sometidos a enlaces de larga distancia y al insertar atenuaciones adicionales a la red. A través del análisis del parámetro BER, se pudo observar que mientras mayores sean las atenuaciones insertadas a la red, la potencia óptica de recepción disminuirá, influyendo de forma directa en la calidad de la señal que será receptada por la ONT.

El diagrama de ojo permite la visualización de la calidad de la señal receptada. Su apertura indica si es que los datos serán receptados o no. Al aplicar diversas atenuaciones a la red, el diagrama de ojo se ensanchaba en su apertura. Mientras mayores eran los valores de atenuación, menor era la apertura del ojo. De esta manera se puede establecer un umbral de potencia óptica máxima de recepción tanto para GPON como XGS-PON que garantice que los datos transmitidos sean receptados y puedan ser utilizados.

Recomendaciones:

Adquirir una tarjeta óptica XGS-PON H902CSHF Board, el módulo WDM1r1801 8*SC/APC inputs, 4*SC/APC outputs y la ONT EchoLife HN8255Ws y realizar pruebas de funcionamiento a nivel local para que de esta manera se analice el beneficio que presenta el estándar XGS-PON de nueva generación y aplicarlo a tiempo para convertir a la empresa en estudio en la primera en implementar esta tecnología para que de esta manera se logre captar mayormente la atención de los usuarios logrando que la empresa continúe su crecimiento en cuanto al número de abonados.

Realizar una migración progresiva hacia XGS-PON de los usuarios que deseen mejorar su servicio de internet hacia planes de mayores velocidades de transmisión, permitiendo que los usuarios que están conformes con su servicio a través de GPON puedan mantener su actual servicio a través de este estándar.

Brindar a los clientes corporativos y residenciales que actualmente pagan por un servicio superior a los 200 Mbps la posibilidad de acceder a un servicio de internet de mejores prestaciones a través de XGS-PON, logrando de esta manera migrar específicamente a clientes que aprovecharán los beneficios de acceder a este estándar de nueva generación.

REFERENCIAS

- Adolfo Gómez-Agreto, G., & Giovanni López-Perafán, J. (2019). *Spectral efficiency of advanced modulation formats in XGS-PON networks 1 2 Palabras clave*.
<https://doi.org/10.14483/issn.2248-4728>
- Celi, B. (2022). *Análisis técnico comparativo de las redes de acceso de nueva generación. Análisis técnico comparativo de las redes de acceso XGS-PON versus NG-PON2*. Escuela Politécnica Nacional.
- Costales, F. D. (2020).
Comparacion_del_desempeño_de_las_modulaciones_pam_2_pam_4_y_pam8_Franco_Costales
- Fredy, J., & Durango, G. (2020). *APLICATIVO PARA EL REGISTRO DE PARÁMETROS OPERATIVOS, REPORTE DE FALLOS Y CONTROL DE INSUMOS EN LA INSTALACIÓN DE REDES DE FIBRA ÓPTICA O SIMILARES*.
- Juma, M., & Chacón, C. (2021). *Diseño, implementación y evaluación de redes GPON y EPON para CITYCOM Cia. Ltda.* . Universidad Politécnica Salesiana .
- Macas, E. (2022). *Análisis técnico comparativo entre las tecnologías de redes de acceso ópticas GPON y XGS-PON*. Escuela Politécnica Nacional.
- Santiana Calderón, P. (2019). *Maestría en TELEMÁTICA*.
- Torres, J. (2022). *Análisis técnico comparativo de las redes de acceso ópticas pasivas de nueva generación. Estudio de factibilidad para la migración de redes de acceso GPON a XGSPON en la ciudad de Quito*. Escuela Politécnica Nacional.
- Ulloa, D., Arevalo, G., & Gaudino, R. (2020). Optimal Deployment of Next-Generation PON for High and Ultra-High Bandwidth Demand Scenarios in Large Urban Areas. *2020 22nd International Conference on Transparent Optical Networks (ICTON)*, 1–6.
<https://doi.org/10.1109/ICTON51198.2020.9203528>
- Zapata, R. (2023). *Diseño y simulación de un enlace óptico PAM 8 para conexión de Data Centers en entornos urbanos ultra-densos a 1.6 Tb/s*. Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

ANEXOS