



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

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

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED IEEE802.3ca PARA  
PROVEER SERVICIOS DE ACCESO EN UNA ZONA DEL SECTOR  
URBANO DE LA CIUDAD DE QUITO**

**Autor:** Ing. Francisco Javier Romero Espinosa

**Director:** PhD. Germán Vicente Arévalo Bermeo

Quito, septiembre 2023

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, Francisco Javier Romero Espinosa, portador de la Cédula de Ciudadanía N°1714065164, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo y autorizo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and a horizontal line, with the name 'FROMERO E' written in capital letters across the middle.

Francisco Javier Romero Espinosa,  
C.C. 1714065164

## APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi carácter de Director (a) – Tutor (a) del Trabajo de Posgrado Titulado: “*DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED IEEE802.3ca PARA PROVEER SERVICIOS DE ACCESO EN UNA ZONA DEL SECTOR URBANO DE LA CIUDAD DE QUITO*”, presentado por el maestrante Francisco Javier Romero Espinosa, titular de la Cédula de Ciudadanía N°1714065164 para optar al Grado de Magister en Tecnologías de la Información, mención en Gestión y Administración de Tecnologías, 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, al 01 de septiembre del 2023



---

PhD. Germán Vicente Arévalo Bermeo  
C.C. 0103152500  
Email [garevalo893@puce.edu.ec](mailto:garevalo893@puce.edu.ec)  
No TELEFONO: 0993602372

NOTA: Se comunica que en el servicio de análisis Turnitin, el referido trabajo de titulación alcanzó el siguiente resultado: 2 % índice de similitud con otras fuentes.

## TURNITIN: HOJA DE INFORME CON EL PORCENTAJE

# DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED IEEE802.3ca PARA PROVEER SERVICIOS DE ACCESO EN UNA ZONA DEL SECTOR URBANO DE LA CIUDAD DE QUITO

### INFORME DE ORIGINALIDAD

<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador</b>	<b>1%</b>
	Trabajo del estudiante	
<b>2</b>	<b>vbook.pub</b>	<b>1%</b>
	Fuente de Internet	

Excluir citas      Activo  
Excluir bibliografía      Activo

Excluir coincidencias < 1%

## **DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y RESPONSABILIDAD**

Yo, Francisco Javier Romero Espinosa, titular de la Cédula de Ciudadanía No. 1714065164, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo y autorizo mis derechos de propiedad intelectual correspondientes a este trabajo, a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador – PUCE, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'FROMERO E', is written over a horizontal line. The signature is stylized and somewhat illegible.

Francisco Javier Romero Espinosa  
C.C. 1714065164

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.1. Formulación del problema.....	2
1.2. Objetivos de la investigación.....	2
1.2.1. Objetivo General.....	2
1.2.2. Objetivo Especifico .....	2
1.2.3. Justificación de la investigación .....	3
CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS DE UNA RED IEEE 802.3CA .....	4
2.1. Estándar IEEE 802.3.....	4
2.2. IEEE 802.3ca.....	4
2.2.1. Características de 25G / 50 G en redes EPON .....	6
2.2.2. Características de 100G-EPON.....	8
2.2.3. Arquitectura 100G EPON .....	9
CAPITULO III. DISEÑO DEL SISTEMA .....	11
3.1. Estimación de la zona y abonados .....	11
3.1.1.1. Despliegue de la red PON .....	12
3.2. Generación de datos.....	12
3.3. Costo Referenciales Algoritmo OTS .....	13

3.4. Análisis de costos del despliegue de la red.....	14
3.4.1. Definición de escenarios .....	14
3.4.1.1. Costo total de hardware.....	15
3.4.1.2. Costo de despliegue Red PON.....	17
<b>CAPÍTULO IV SIMULACIÓN DEL SISTEMA.....</b>	<b>19</b>
4.1. Software de red.....	19
4.2. Elementos utilizados en la simulación.....	19
4.2.1. Generador de secuencia de bits pseudoaleatorios.....	20
4.2.2. NRZ Pulse Generator (Non-Return-to-Zero).....	20
4.2.3. Bidireccional Optical Fiber .....	20
4.2.4. Optical Fiber .....	21
4.2.5. Oscilloscope Visualizer .....	21
4.2.6. Power Splitter .....	22
4.2.7. Optical Atenuador.....	22
4.2.8. Photodetector PIN.....	22
4.2.9. 3R Regenerator .....	23
4.2.10. BER Analyzer .....	23
4.2.11. Optical Power Meter .....	23
4.3. Diseño de Simulación de la red 802.3ca en OptiSystem.....	24

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	26
5.1. Análisis de resultados obtenidos.....	26
5.2. Análisis de Diagramas de ojo (BER Analyzer) .....	26
5.3. Análisis de la curva de desempeño del BER .....	29
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	30
Referencias.....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 1 Costes de cable OF y zanjeo. ....	13
Tabla No. 2 Costos de hardware PON y mano de obra relacionada. ....	14
Tabla No. 3 Demanda de Banda Ancha en Gb/s. ....	15
Tabla No. 4 Costo total de hardware en cuatro escenarios según el tipo de red. ....	16
Tabla No. 5 Costo total del despliegue de la red PON para 10.000 usuarios ....	17
Tabla No. 6 Tasa de error de bits (BER) versus la atenuación ....	27
Tabla No. 7 Resultados del desempeño BER versus atenuación. ....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1 Características del Modelo OSI.....	4
Figura No. 2 Enfoque generacional de EPON 25/50/100 G.....	5
Figura No. 3 Figura coexistencia de tecnologías PON.....	7
Figura No. 4 EPON - 100 Gb.....	8
Figura No. 5 Arquitectura 100G EPON.....	10
Figura No. 6 Topológica óptima para la simulación de la red PON.....	11
Figura No. 7 Despliegue de múltiples PON en una zona del sur de Quito.....	12
Figura No. 8 Costo total para aproximadamente 2500 usuarios del hardware PON en los cuatro escenarios. ....	16
Figura No. 9 Costo de implementación de la red PON para 10.000 usuarios. ....	17
Figura No. 10 Modelo de Simulación de la red IEEE802.3ca.....	19
Figura No. 11 Generado de secuencia de bits pseudoaleatorios. ....	20
Figura No. 12 NRZ Pulse Generator.....	20
Figura No. 13 Bidireccional Optical Fiber .....	21
Figura No. 14 Optical Fiber .....	21
Figura No. 15 Osciloscopio Visualizer.....	21
Figura No. 16 Power splitter.....	22

Figura No. 17 Optical Attenuator .....	22
Figura No. 18 Photodetector PIN.....	22
Figura No. 19 3R Regenerator .....	23
Figura No. 20 BER Analyzer.....	23
Figura No. 21 Optical Power Meter.....	23
Figura No. 22 Propiedades del medio de transmisión .....	24
Figura No. 23 Configuración de Elementos a la entrada de la fibra óptica. ....	25
Figura No. 24 Configuración de Elementos a la salida de la fibra óptica .....	25
Figura No. 25 Modificación de atenuación en Optical Attenuator en dB. ....	26
Figura No. 26 Diagrama de ojo - Atenuación: 0dB.....	27
Figura No. 27 Diagrama de ojo - Atenuación: 1dB .....	27
Figura No. 28 Diagrama de ojo – Atenuación: 2dB .....	28
Figura No. 29 Diagrama de ojo - Atenuación: 3dB .....	28
Figura No. 30 Diagrama de ojo – Atenuación: 4dB .....	28
Figura No. 31 Diagrama de ojo – Atenuación: 5dB .....	28
Figura No. 32 Tasa de error de bits (BER) versus la potencia recibida.....	29

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

MAESTRÍA EN TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN, MENCIÓN EN

GESTIÓN Y ADMINISTRACIÓN DE TECNOLOGÍAS

**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED IEEE802.3ca PARA  
PROVEER SERVICIOS DE ACCESO EN UNA ZONA DEL SECTOR  
URBANO DE LA CIUDAD DE QUITO**

Autor: Francisco Javier Romero Espinosa

Director: Ph.D. Germán Vicente Arévalo Bermeo

Fecha: 01 de septiembre del 2023

**RESUMEN**

La simulación de estándar IEEE 802.3ca permitirá obtener datos para que las operadoras de red puedan brindar servicios de banda ancha más rápidos y confiables a través de redes de fibra óptica, satisfaciendo las crecientes demandas de aplicaciones y servicios modernos.

En el presente trabajo de titulación, se presenta los resultados obtenidos de una simulación para el nuevo estándar de redes de área local IEEE802.3ca. La simulación se lo realiza sobre una red pasiva óptica PON y se maneja escenarios para aplicar el algoritmo OTS diseñado por el PHD. Germán Arévalo, en el cual, se calcula los costos del despliegue de las redes de un área con una gran cantidad de usuarios residenciales y corporativos que demandan diferentes velocidades de transmisión. En la simulación del enlace, la conexión se realizará en el software OptiSystem, el cual permite evaluar los parámetros de calidad y atenuación de los medios ópticos, así como también la factibilidad de transmisión por medio del diagrama de ojo, considerando los parámetros de configuración de entre la atenuación y BER.

PONTIFICAL CATHOLIC UNIVERSITY OF ECUADOR

FACULTY OF ENGINEERING

MASTER'S DEGREE IN INFORMATION TECHNOLOGIES WITH A MENTION  
IN IT MANAGEMENT AND ADMINISTRATION

DESIGN AND SIMULATION OF AN IEEE802.3ca NETWORK TO PROVIDE  
ACCESS SERVICES IN AN AREA OF THE URBAN SECTOR OF THE CITY OF QUITO

Author: Francisco Javier Romero Espinosa

Director: PhD. Germán Vicente Arévalo Bermeo

Date: September 1, 2023

### **ABSTRACT**

The simulation of the IEEE 802.3ca standard will allow obtaining data so that network operators can provide faster and more reliable broadband services through fiber optic networks, satisfying the growing demands of modern applications and services.

In the present degree work, the results obtained from a simulation for the new standard of local area networks IEEE802.3ca are presented. The simulation is carried out on a passive optical network PON and scenarios are handled to apply the OTS algorithm designed by the PHD. Germán Arévalo, in which the costs of deploying networks in an area with a large number of residential and corporate users who demand different transmission speeds are calculated. In the simulation of the link, the connection will be made in the OptiSystem software, which allows evaluating the quality and attenuation parameters of the optical media, as well as the feasibility of transmission through the eye diagram, considering the configuration parameters of between attenuation and BER.

## INTRODUCCIÓN

IEEE 802.3ca es un estándar de red de alta velocidad que utiliza la fibra óptica como medio de transmisión para ofrecer servicios de banda ancha de alta velocidad y calidad a múltiples usuarios.

El presente trabajo de titulación muestra una simulación de una red PON aplicando el estándar IEEE802.3ca en una zona residencial – comercial en el Distrito Metropolitano de Quito. Para la obtención del resultado de la simulación, se utilizó OpenStreetMap (OSM) en donde se recopiló la información del área topográfica identificando las edificaciones y viviendas del área de trabajo. Se consideró brindar un servicio a 2.500 usuarios potenciales y el algoritmo de dimensionamiento óptimo de múltiples PON, Optimal Topology Search (OTS) desarrollado por el PHD. German Arévalo, quien nos permitió evaluar el despliegue de la red PON obteniendo un informe de la topología y costo óptimo para el área de estudio, además de la comparación de las implementaciones de las tecnologías GPON, XGPON y IEEE802.3ca.

El resultado de la simulación demuestra que, a mayor demanda de tasa de bits del usuario, mayor es el costo de implementación de cada tecnología según la implementación de tecnología PON, puesto que la GPON a futuro será una tecnología que no soportará la demanda de bits y tendrá un costo alto. En cambio, la XGPON soportará la transmisión, pero el costo de implementación tiende a subir, con la implementación de IEEE802.3ca, ya que el costo en la actualidad es realmente alto, pero es escalable y mantiene un buen manejo en la transmisión de bits según la demanda del usuario.

## **CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. Formulación del problema**

La implementación de redes de fibra óptica para redes de acceso se ha extendido rápidamente reemplazando el cobre a nivel mundial, tomando en cuenta su bajo coste de despliegue, la mejora para resolver la capacidad de acceso en varios ordenes de magnitud, y el constante desarrollo de nuevos estándares que abarca las redes pasivas (Passive Optical Network PON) y nos permiten que esta tecnología se desarrolle muy rápidamente.

Una red óptica pasiva PON, es una red que permite desplegar los servicios de fibra óptica hasta el hogar (Fiber-To-The-Home - FTTH) con una transmisión de banda ancha manteniendo múltiples ventajas, que incluye topologías punto a punto además de mejorar la capacidad y calidad en la transmisión de datos, voz y video. Ante la creciente demanda de las redes PON, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) propusieron las PON de Próxima Generación (NG-PON), que ofrece mayor capacidad, menor costo y mayor crecimiento en el número de usuarios.

### **1.2. Objetivos de la investigación**

#### **1.2.1. Objetivo General**

- ✓ Estudiar el desempeño una red óptica pasiva PON, IEEE802.3ca, para proveer servicios de acceso en el sector urbano de la ciudad de Quito, utilizando el software Optisystem.

#### **1.2.2. Objetivo Especifico**

- ✓ Estudiar las características de una red PON IEEE802.3ca
- ✓ Diseñar una red PON IEEE802.3ca, para proveer servicios de acceso en el sector urbano de la ciudad de Quito.
- ✓ Simular la red PON IEEE802.3ca, junto con otras redes PON tradicionales como GPON y XGPON con el fin de comparar su desempeño.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos de la simulación con el fin de analizar el desempeño de la red las ventajas y efectividad de una red PON a través de la

implementación del estándar IEEE 802.3ca en comparación con los estándares GPON y XGPON.

### **1.2.3. Justificación de la investigación**

El constante crecimiento en el despliegue de las redes PON en una ciudad para brindar un servicio de fibra óptica a un número determinado de abonados se encuentran cada vez más saturado gracias a la gran demanda de banda ancha, por tal motivo, los grupos de Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) y la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT) proponen las PON de próxima generación y en esta investigación analizará el nuevo estándar IEEE 802.3ca.

En tal virtud, se genera la necesidad de simular una red de fibra óptica con tecnología PON de nueva generación, como lo es el nuevo estándar IEEE 802.3ca, que operaría en un sector urbano del Distrito Metropolitano de Quito. Además, se hará uso del software OptiSystem para simular y evaluar la efectividad la transmisión de datos en esta red, utilizando para el efecto indicadores clave de desempeño (KPI), como la tasa de bits errados (BER).

## CAPÍTULO II. CARACTERÍSTICAS DE UNA RED IEEE 802.3CA

### 2.1. Estándar IEEE 802.3

El estándar IEEE 802.3 define como conectar diversos dispositivos entre si y a cada terminal le asigna una dirección MAC, además utiliza habitualmente redes de área local LAN así como también maneja aplicaciones para que tenga un correcto funcionamiento en redes de área amplia WAN (sapalomera.caT, s.f.).

Una de las soluciones más eficientes para el acceso de banda ancha de última milla son las redes ópticas pasivas (EPON) de Ethernet, puesto que estas redes están ampliamente implementadas, sin embargo, las tasas máximas y las capacidades generales de las tecnologías EPON actuales afrontan grandes desafíos.

Este estándar define el MAC físico y de enlace de datos del modelo de interconexión de sistema abierto (OSI) para las comunicaciones inalámbricas, adicionalmente se especifican mediante subcapas – elementos que se encuentran ubicados en las capas 1 y 2 del modelo OSI.

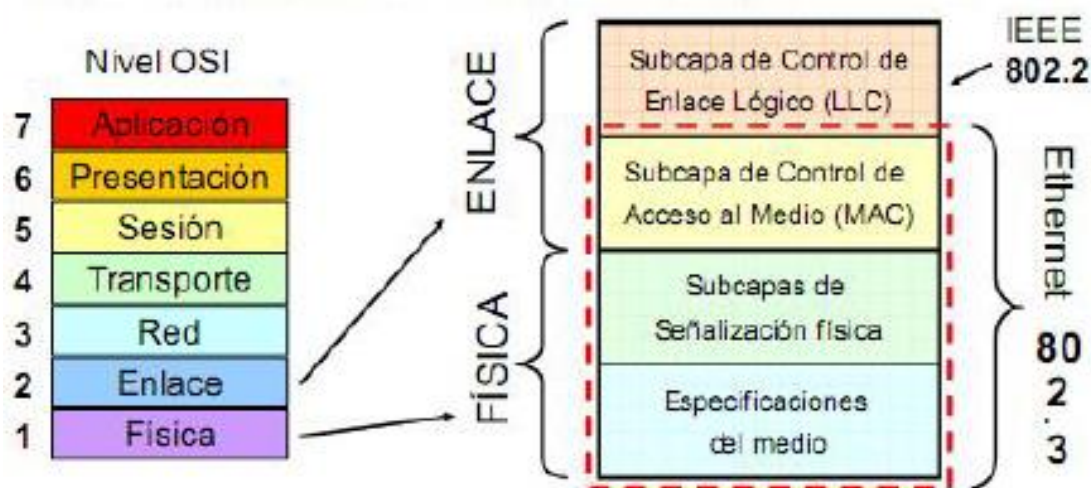


Figura No. 1 Características del Modelo OSI

Fuente: (Barbieri, s.f.)

### 2.2. IEEE 802.3ca

El proyecto IEEE 802.3ca estudia la red óptica pasiva Ethernet de próxima generación EPON, la cual introduce la vinculación de canales para permitir que las unidades de red óptica

ONU agrupen múltiples canales de longitud de onda para lograr velocidades máximas más altas.

Las redes pasivas ethernet (EPON) son arquitecturas de planta exterior universal que suministran accesos a redes de aplicaciones comerciales, residenciales y redes de retorno de WI-FI / celular. La capacidad 10G-EPON en la actualidad ya es insuficiente para manejar entornos pesados como unidades de viviendas múltiples, si no que EPON continúa evolucionando para cumplir los requisitos cambiantes y satisfacer las crecientes demandas de acceso y admitir nuevos mercados y aplicaciones.

Debido a esto un grupo de ingenieros de la IEEE se encuentra analizando un estándar único para múltiples generaciones de redes PON y se prevé que este despliegue debería tener lugar una generación a la vez. La visión de generacional son las siguientes:

- ✓ Sistema 25G de primera generación.
- ✓ Sistema 50G de segunda generación
- ✓ Sistema 100G de tercera generación.

Varias generaciones deberían coexistir en la misma red y la compatibilidad con versiones anteriores de las ONU tendrían más beneficios.

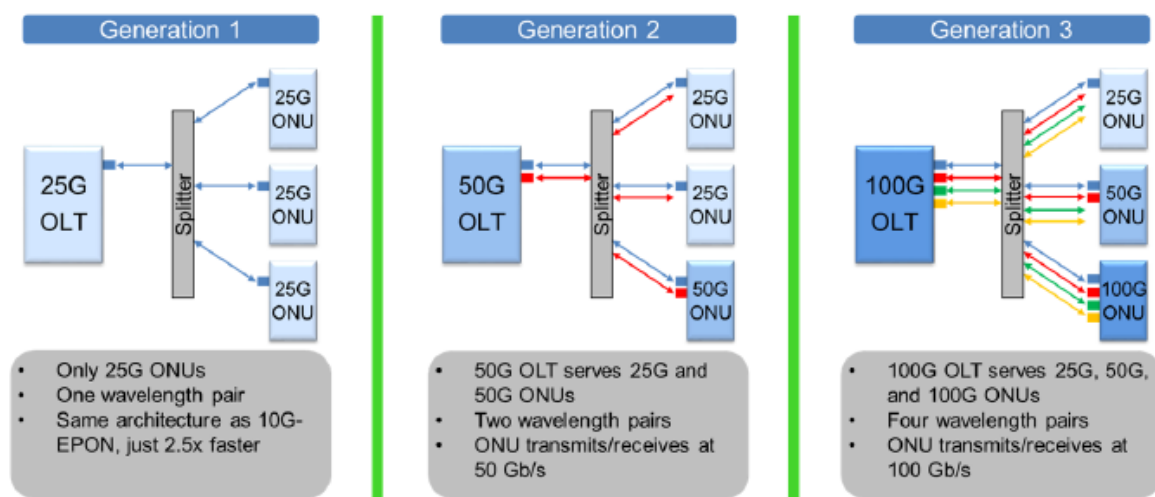


Figura No. 2 Enfoque generacional de EPON 25/50/100 G  
Fuente: (Curtis Knittle, 2018)

El objetivo del grupo de trabajo es crear un estándar para las redes PON de 25G y 50G basada en una transmisión de 25G por canal que admita topologías punto a multipunto en fibra óptica, manteniendo las estructuras de las redes EPON 10G, estas redes de próxima generación bajo el estándar 802.3ca no deberán ser consideradas como competencia directa para las redes de NG-PON2 ya que cuentan con diferentes objetivos.

Las principales tecnologías abordadas por el grupo de ingenieros es la transmisión de 25G por longitud de onda y la vinculación de canales para brindar servicios de 50G y 100G, mientras que las principales tecnologías abordadas por NG-PON2 fueron la operación de múltiples longitudes de onda a 10G.

### **2.2.1. Características de 25G / 50 G en redes EPON**

Según (Neobroadband, 2021), el requisito para las redes EPON 25G/50G es que deben operar en una infraestructura PON ya implementada con la misma relación de frecuencia compartida cuando alcancen un número nominal de 10.000 usuarios, considerando las generaciones anteriores de tecnología, tomando en cuenta lo mencionado las características que deben tener de estas redes son:

- **Capacidad máxima**

Nos permite un funcionamiento simétrico y asimétrico con velocidades 25Gb/s o 50Gb/s y velocidades de subida de 10 Gb/s, 25Gb/s o 50 Gb/s. Estas capacidades máximas pueden alcanzar mejor el objetivo de nivel de servicio simétrico de 10 Gbps definido en la plataforma 10G.

El aumento de capacidad se consigue de dos formas:

- ✓ Propagando la velocidad de transmisión a 25Gb/s por longitud de onda.
- ✓ Aprovechando la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda para agregar una longitud de onda adicional.

La ventaja de esta arquitectura es que los proveedores de servicios pueden comenzar implementando una longitud de onda que proporcione 25 Gbps y luego agregar una segunda longitud de onda según la demanda del usuario, aumentando la velocidad total a 50 Gbps.

- **Coexistencia**

Una consideración importante para los proveedores de servicios es la capacidad de soportar la coexistencia con tecnologías PON heredadas, particularmente PON de 10 Gbps. La coexistencia permite la reutilización de la infraestructura PON existente al agregar fácilmente capacidad adicional y al mismo tiempo eliminar por completo la tecnología PON heredada 25G/50G-EPON; los proveedores de servicios que ya implementan soluciones 10 GPN (Red Privada de Jugadores) que pueden agregar una o más ondas de 25 Gbps para proporcionar capacidad total. En la misma infraestructura PON, la capacidad total puede alcanzar los 35 Gbps o 60 Gbps. La siguiente figura muestra diferentes escenarios de convivencia.

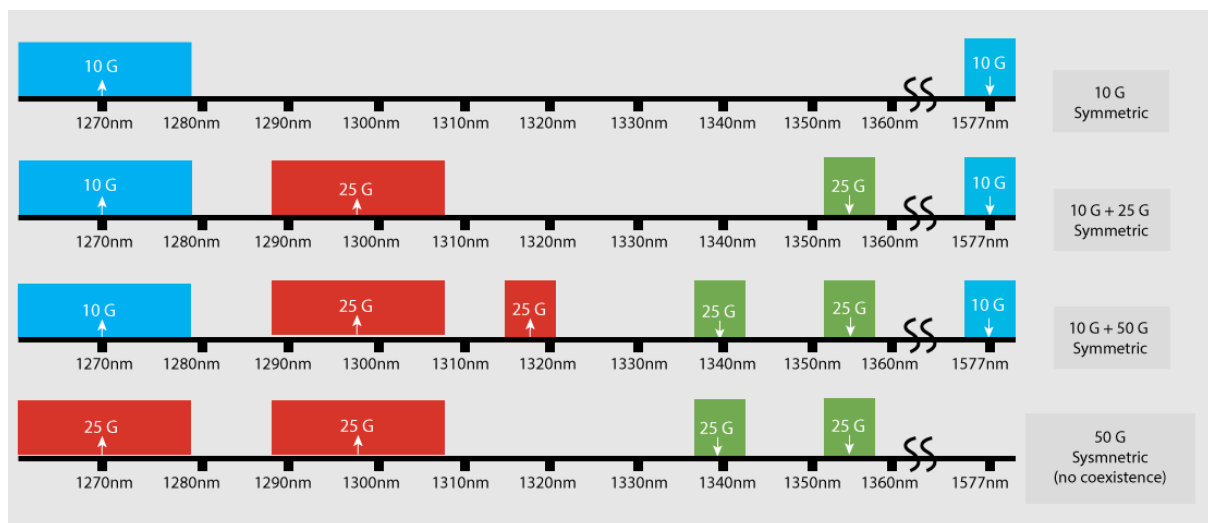


Figura No. 3 Figura coexistencia de tecnologías PON

Fuente: <https://www.cablelabs.com/>

- **Implementación de bajo costo**

En una solución óptica PON, los transceptores ópticos en ambos extremos del enlace se encuentran entre los componentes más caros. Especialmente para las soluciones FTTH PON, es muy importante mantener el costo del equipo de las instalaciones del cliente (unidad de red

óptica EPON (ONU)) lo más bajo posible. Por lo tanto, 25G/50G-EPON intenta mantener el costo de los componentes ópticos ONU de dos maneras:

- ✓ Longitudes de onda fijas, para reemplazar las longitudes de ondas sintonizables.
- ✓ Óptica de banda ancha en banda o sin compensación de dispersión

### 2.2.2. Características de 100G-EPON

La red óptica Ethernet (EPON) de 100 Gbps es una tecnología que nos brindará una mejora en las redes de acceso empresarial, redes de acceso residencial y en la red de retorno de Wi-Fi / Celular. Algunas características de las redes de acceso tanto empresarial como residencial son:

- ✓ Incremento en el número de suscriptores
- ✓ Incremento de la demanda en el ancho de banda por dispositivo / aplicación
- ✓ Incremento en el número de dispositivos conectados por el suscriptor.
- ✓ 100 G tiene terminales de línea óptica (OLT) que sirva para 25G, 50G, y 100G ONUs.
- ✓ Cuatro pares de longitud de onda
- ✓ ONU transmite / Recibe a 100 Gb/s

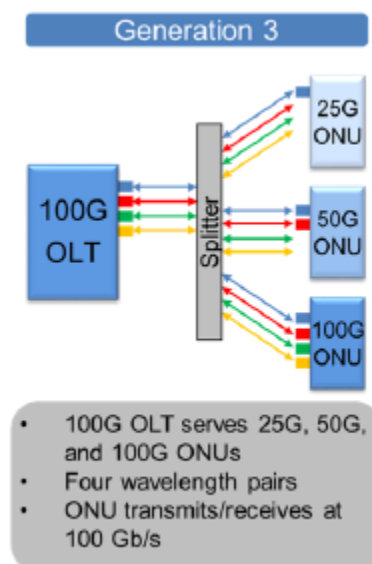


Figura No. 4 EPON - 100 Gb  
Fuente: (Curtis Knittle, 2018)

Por el momento se existen varios desafíos que tiene las redes de 100G- EPON:

- ✓ Técnicamente es desafiante cumplir con el presupuesto de energía ODN con 4 longitudes de onda.
- ✓ Difícil encontrar 4 cargas y descargas mediante longitudes de onda manteniendo la factibilidad económica.
- ✓ Se considera que 100 Gbps no es necesario durante 10 años.
- ✓ Generará mejores soluciones técnicas disponibles en el futuro, es decir longitudes de onda de 50 Gbps.

### **2.2.3. Arquitectura 100G EPON**

La arquitectura EPON de 100G discutida en el EEE 802.3ca soporta velocidades de capa MAC de 25G, 50G y 100G, por lo cual, se recomienda desplegar primero una a una longitud de onda 25G OLT/ONU y luego 50G y 100G OLT/ONU. Debido a los problemas de rendimientos y comercialización de los láseres y filtros sintonizables, 100G EPON utiliza una longitud de onda fija y coexiste con el 10G PON existente en la misma división ODN a través de longitud de onda. (SCRIBD, s.f.)

En el lado OLT, 100G PON utiliza un multiplexor de división de longitud de onda para formar un puerto PON OLT, con cada Longitud de onda soportando una velocidad de 25G tanto en capas ópticas como físicas. La capa MAC admite múltiples velocidades de 25G, 50G y 100G. se debe utilizar una tecnología de unión de canales para unir múltiples capas físicas y ópticas de 25G para soportar velocidades de capa MAC más altas.

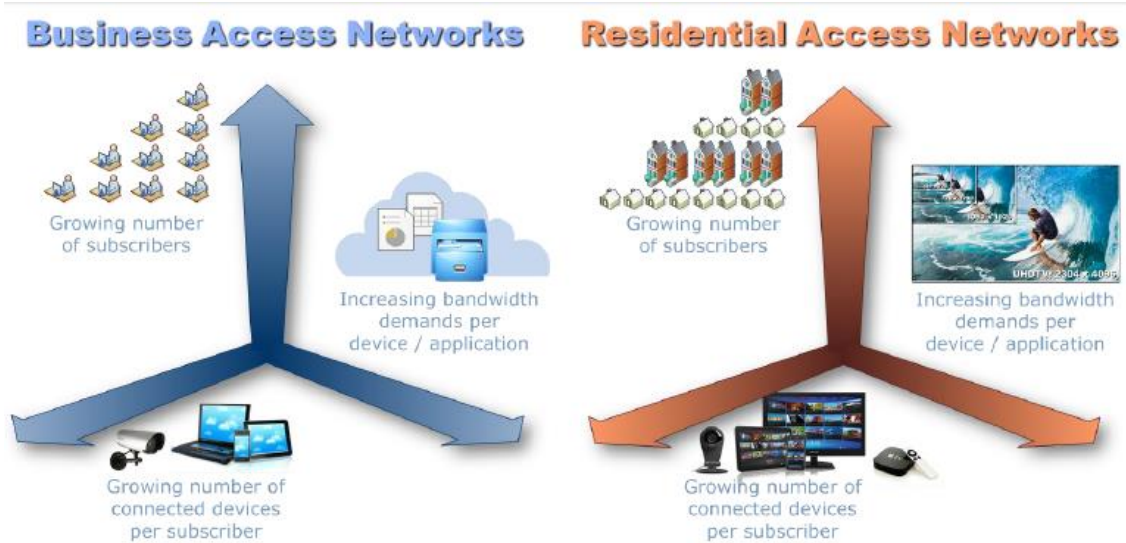


Figura No. 5 Arquitectura 100G EPON  
Fuente: (Curtis Knittle, 2018)

En el lado del usuario, las ONUs pueden tener diferentes tarifas, además de coexistir con el PON existente de 10G, PON de 100G también necesita apoyar las ONUs de 25G, 50G y 100G.

## CAPITULO III. DISEÑO DEL SISTEMA

### 3.1. Estimación de la zona y abonados

Para calcular la zona topológica óptima para la simulación de la red PON, se creó a partir de la información que brinda la aplicación OpenStreetMap ([www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org)), la cual genera espacios colaborativos para la creación de mapas y permite a múltiples usuarios editar áreas específicas para proyectos de investigación.

Las infraestructuras dentro del mapa georreferencial a través del OpenStreetMap nos permite detallar los niveles de cada construcción, el tipo como casas, áreas deportivas, centros de abarrotos, áreas verdes y parqueaderos en donde podemos determinar un potencial cliente.

La zona de simulación de la Red PON a analizar se desarrolla en el Distrito Metropolitano de Quito, sector sur de Quito, barrio Solanda, área considerada como altamente poblada con una gran cantidad de abonados residenciales y corporativos.

En la figura 6, se muestra al área del mapeo que corresponde al sector analizado en el localizado en el barrio Solanda, al sur de Quito.

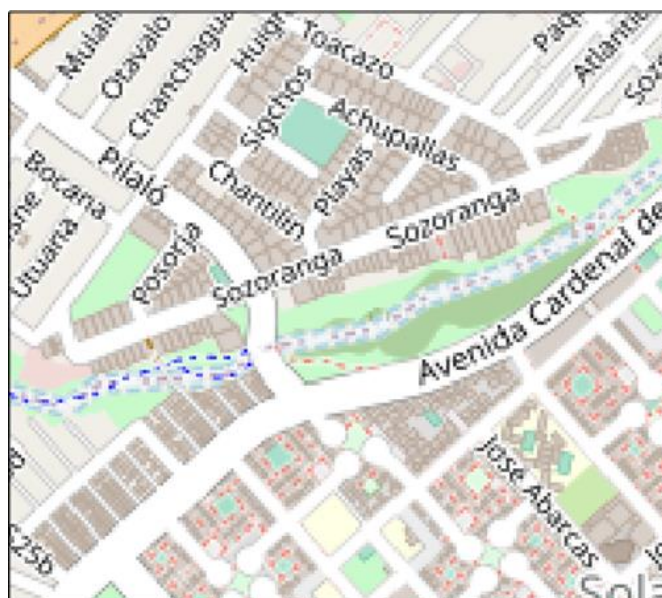


Figura No. 6 Topológica óptima para la simulación de la red PON.

### 3.1.1.1. Despliegue de la red PON

Se consideró un área de 2.5 Km<sup>2</sup> en el sur de Quito con aproximadamente 2.500 abonados que serán atendidos por una oficina central, OTS despliega las topologías óptimas para la ubicación de los gabinetes de calle principal (PSC) y los gabinetes de calle secundario (SSC) como se puede apreciar en la figura 7. En la simulación se consideró las tres tecnologías PON (GPON, XGPON, 802.3ca) analizando la demanda de ancho de banda en Gb/s de los escenarios detallados en la tabla 3.

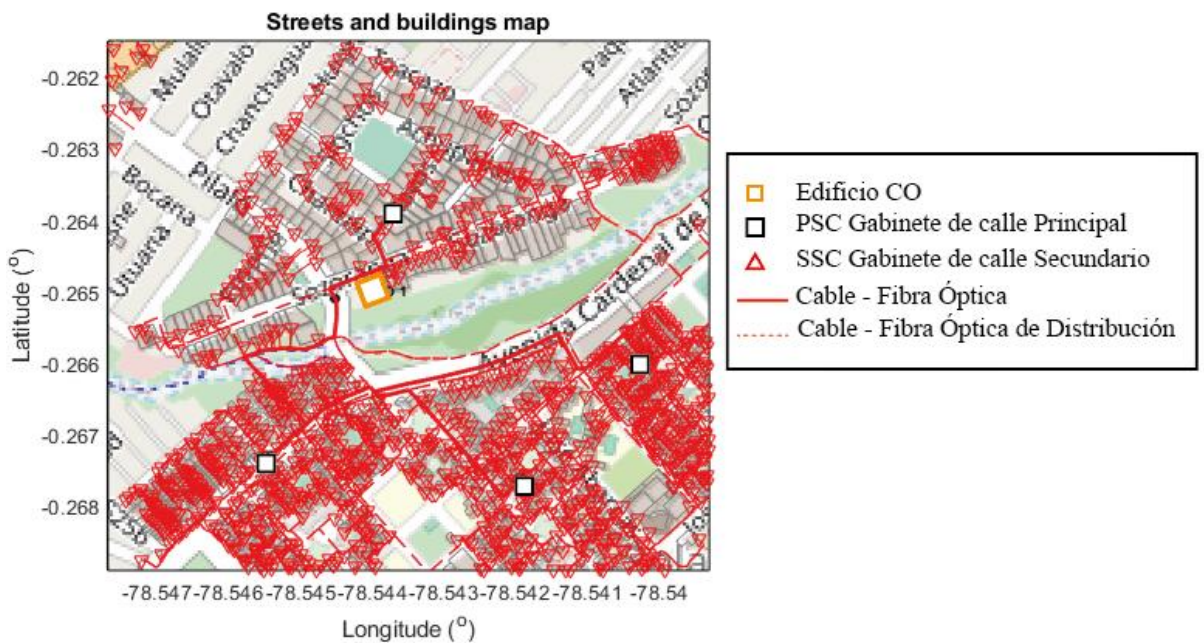


Figura No. 7 Despliegue de múltiples PON en una zona del sur de Quito

### 3.2. Generación de datos

Se utilizó una herramienta matemática diseñada en Matlab Optimal Topology Search - OTS (búsqueda de la topología óptima) desarrollada por el PhD. Germán Vicente Arévalo Bermeo, misma que ha sido probada para calcular la topología más óptima para la implementación de una red PON en función de la información generada por OpenStreetMap (herramienta OSM), la cual ha sido probada de manera óptima para ensamblar redes PON tradicionales (sin redundancia) en ciudades como Roma, Turín y Medellín (Colombia).

El software utilizado para la generar de la información fue una herramienta matemática Matlab, que generó una secuencia binaria de 128 bits y se repitió 832 veces para obtener un total de 106.496 bits, almacenaron en un archivo de texto. (Flores, 2019)

### 3.3. Costo Referenciales Algoritmo OTS

La información de costos de referencia establecidos en el algoritmo OTS, se puede apreciar en la tabla 7,8 y 9 y se obtuvo a través de la interacción directa con proveedores de servicios y equipo considerando los costos del cable de fibra óptica, la mano de obra, los valores de zanjeo, reinstalación y pozos de registro.

<b>COMPONENTES</b>	<b>COSTO (\$)</b>
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 2 FIBRAS /KM</b>	600
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 4 FIBRAS /KM</b>	800
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 6 FIBRAS /KM</b>	1000
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 12 FIBRAS /KM</b>	1500
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 24 FIBRAS /KM</b>	2000
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 48 FIBRAS /KM</b>	2500
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 64 FIBRAS /KM</b>	3000
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 96 FIBRAS /KM</b>	3500
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 144 /KM</b>	3700
<b>FIBRA ALIMENTADORA, 288 FIBRAS /KM</b>	4000
<b>FIBRA DE DISTRIBUCIÓN /KM</b>	2000
<b>CABLE DE INTERIORES /USUARIO</b>	50
<b>TRENCHING AND REINSTATEMENT/KM</b>	30000
<b>DUCTS AND FENDERS /KM</b>	10000
<b>FUSIONS AND SLICING /UNIDAD</b>	10
<b>MANHOLES /UNIT</b>	500

Tabla No. 1 Costes de cable OF y zanjeo.

<b>COMPONENTE</b>	<b>COSTO (\$)</b>
<b>OLT CHASIS - GPON (10<sup>3</sup> USERS)</b>	16000
<b>OLT CHASIS - XGPON (10<sup>3</sup> USERS)</b>	28000
<b>OLT CHASIS - NGPON2 (10<sup>3</sup> USERS)</b>	50000
<b>OLT CHASIS - UDWDM PON (10<sup>3</sup> USERS)</b>	85000
<b>OLT CARD - 4XGPON</b>	9000
<b>OLT CARD - 4XXGPON</b>	15000
<b>OLT CARD - 4XNGPON2</b>	25000
<b>OLT CARD - 4XUDWDW-PON</b>	40000
<b>ONU RESIDENTIAL - GPON</b>	100
<b>ONU RESIDENTIAL - XGPON</b>	350
<b>ONU RESIDENTIAL - NGPON2</b>	600
<b>ONU RESIDENTIAL - UDWDM PON</b>	110
<b>ONU CORPORATIVE - GPON</b>	350
<b>ONU CORPORATIVE - XGPON</b>	600
<b>ONU CORPORATIVE - NGPON2</b>	1100
<b>ONU CORPORATIVE - UDWDM PON</b>	2200
<b>SPLICING/PER SPLICE</b>	10
<b>OLT INSTALLATION</b>	2000
<b>ODF (FOR EACH OLT RACK)</b>	3500

Tabla No. 2 Costos de hardware PON y mano de obra relacionada.

### **3.4. Análisis de costos del despliegue de la red.**

#### **3.4.1. Definición de escenarios**

Al crear escenarios que ofrezcan un marco de referencia que permita entender el futuro posible de la banda ancha con la implementación de IEEE 803ca en un área urbana, se debe considerar algunos aspectos para la simulación:

- Demanda de banda ancha.
- Inversores
- Gobierno
- Entidades Reguladoras
- Clientes

Los escenarios para la optimización del despliegue de múltiples redes de acceso óptico en los cuales la mayoría de los usuarios recurren al momento de contratar un servicio con fibra óptica, se considera la velocidad de transmisión y que no exista intermitencia. En la simulación se considerará cuatro escenarios basados en la demanda de ancho de banda y verificando el tipo de servicio que se puede brindar, siendo Residencial o corporativo:

	ESCENARIOS	USUARIOS	USUARIOS
		RESIDENCIALES	CORPORATIVOS
<b>DEMANDA DE</b>	1	0.1	0.5
<b>ANCHO DE</b>	2	0.3	1
<b>BANDA EN</b>	3	0.5	2.5
<b>GB/S</b>	4	1	10

Tabla No. 3 Demanda de Banda Ancha en Gb/s.

#### 3.4.1.1. Costo total de hardware

Los resultados de la simulación (ver tabla 2), nos permite obtener el factor más importante de la simulación relacionados con los costos totales del hardware para la implementación de la oficina central, tomando en cuenta la implementación de cada tecnología PON y considerando que la misma servirá para brindar un servicio a 2.500 usuarios, así como también la escalabilidad de crecimiento según la demanda del ancho de banda.

COSTO (MILLONES DE USD)			
ESCENARIO	GPON	XGPON	802.3ca
1	0.73	0.41	0.58
2	2.32	0.65	0.58
3	3.44	1.00	0.58
4	6.62	1.60	0.58

Tabla No. 4 Costo total de hardware en cuatro escenarios según el tipo de red.

En la Figura 8, se muestra las curvas de los costos del hardware para las tres tecnologías consideradas (GPON, XGPON, 802.3ca) para el cuarto escenario de demanda de banda ancha (ver tabla 1), en el que puede verificarse que los costos de la red GPON crecen exponencialmente con el aumento de demanda de banda ancha de los usuarios a partir de los cientos de megabit por segundo. La red XGPON presenta un crecimiento mucho menos pronunciado en costos que GPON, pero es creciente, sin embargo, la red 802.3ca se mantiene en todos los escenarios virtuales en exactamente en el mismo costo, el cual se puede demostrar que en los escenarios de incremento de demanda de banda ancha por parte de los usuarios de la red 802.3ca es a mejor inversión ya que escala sin problemas cuando la demanda aumenta.

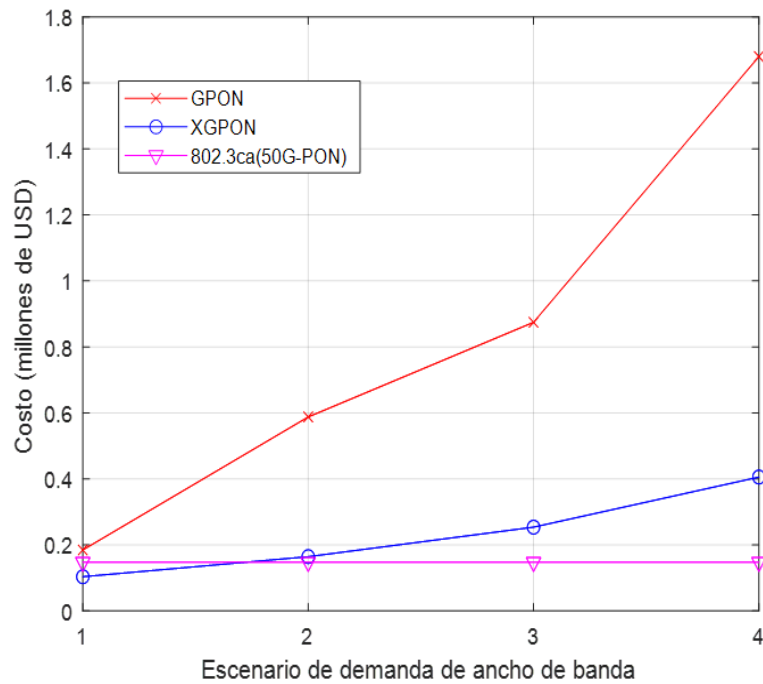


Figura No. 8 Costo total para aproximadamente 2500 usuarios del hardware PON en los cuatro escenarios.

### 3.4.1.2. Costo de despliegue Red PON.

Considerando la zona topológica de aproximadamente 2.5 kilómetros (figura 8), y con un servicio de banda ancha para 2.500 usuarios, en la tabla 3, se cuadruplicó los porcentajes para poder simular el costo para llegar a 10.000 usuarios, en donde se puede apreciar la evolución del costo del despliegue e implementación de la tecnología GPON, XGPON, 802.3ca para los cuatro escenarios especificados en la tabla 1, basados en la demanda de banda ancha en Gb/s.

COSTO (MILLONES DE USD)			
ESCENARIO	GPON	XGPON	802.3ca
1	6.09	6.29	7.70
2	7.79	6.44	7.70
3	9.47	6.86	7.70
4	12.59	7.52	7.71

Tabla No. 5 Costo total del despliegue de la red PON para 10.000 usuarios

En la figura 9, se puede apreciar la evolución de los costos de la implementación de la tecnología GPON, XGPON y 802.3ca para los cuatro escenarios de demanda de banda ancha (ver tabla 1) y considerando que el servicio se amplía a 10000.

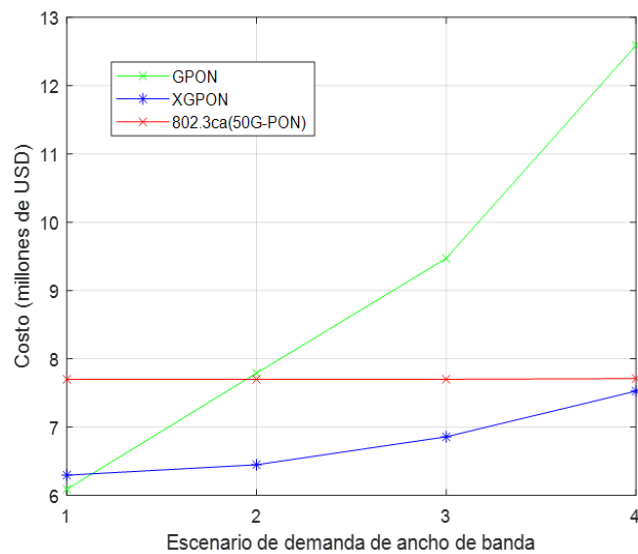


Figura No. 9 Costo de implementación de la red PON para 10.000 usuarios.

En la figura 9, se puede apreciar que la red GPON es la solución menos costosa y la red XGPON no es mucho más costosa inclusive en el primer escenario de banda ancha, sin embargo, el costo de la red 802.3ca es considerablemente más costosa en este escenario en donde el usuario demanda unas pocas decenas de megabits por segundo, lo cual no justifica la inversión y constituye en un escenario en la actualidad estamos viviendo con nuestros proveedores de servicio.

En el segundo escenario, GPON deja de ser una solución viable porque su despliegue es más costoso que las otras dos tecnologías, sin embargo, XGPON es una alternativa viable ya que es un escenario cercano al actual, 802.3ca sigue siendo una solución más costosa para su implementación.

La tecnología GPON no es una solución viable en el tercer y cuarto escenario por su exponencialmente costo de implementación ya que GPON demanda ultra ancho de banda y apenas puede ofrecer 2.5 Gb/s por transceiver, lo que es absolutamente ineficiente como una solución porque cada transceiver atiende a pocos usuarios volviéndose dedicado el ancho de banda que ofrece a cada usuario, por lo que deja de ser una opción a partir del segundo escenario.

La implementación de XGPON en todos estos escenarios es de carácter viable e incluso considerada como la mejor opción, pero, en futuras demandas de banda ancha podría tener inconvenientes considerando que en la actualidad los usuarios comienzan a sobrepasar los límites relacionados con la demanda de banda ancha.

Por otro lado, 802.3ca tiene una igualdad en costos de implementación en todos los escenarios, pero, solo a partir del cuarto escenario las demandas de banda ancha inclusivamente pueden ser superiores, y estas no se están considerando en esta tesis, pero se puede observar que 802.3ca es una de las mejores opciones como solución para la demanda de banda ancha que generan los usuarios.

## CAPÍTULO IV SIMULACIÓN DEL SISTEMA

### 4.1. Software de red

Se utilizará el software OptiSystem para simular la conexión de fibra óptica a implementar, representando un punto crítico de la red, además, que nos permitirá ver los valores en la potencia de la señal a través del Optical Power Meter, medidor de dominio de tiempo u osciloscopio digital y un visualizador de Bit Error Rate (BER), el cual permite determinar la calidad en los enlaces, así como también su posible pérdida o atenuación de señal.

Optisystem acepta que los usuarios realicen diseños para generar simulaciones y experimentar con enlaces de redes ópticas, brindándonos la facilidad de realizar pruebas con equipos o dispositivos que en la vida real tienen un costo elevado, adicionalmente genera información para la toma de decisiones acerca de la factibilidad del proyecto para poner en acción en un futuro.

### 4.2. Elementos utilizados en la simulación

El modelo de simulación propuesto en este trabajo contiene los siguientes componentes:

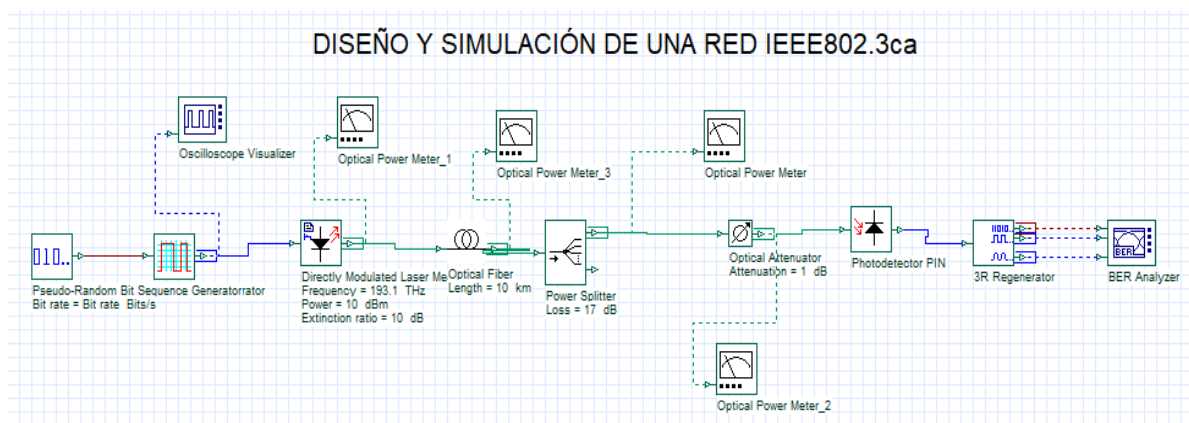


Figura No. 10 Modelo de Simulación de la red IEEE802.3ca

#### 4.2.1. Generador de secuencia de bits pseudoaleatorios

Un generador de secuencia de bits pseudoaleatorios es un circuito que genera una secuencia de valores binarios que parecen aleatorios, pero que, en realidad son deterministas. En los sistemas de comunicación de fibra óptica, los generadores son utilizados para probar el rendimiento del sistema mediante la transmisión de la secuencia de bits generada y el análisis de la señal recibida. (Optiware Photonic Software, s.f.)

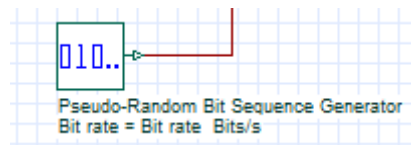


Figura No. 11 Generado de secuencia de bits pseudoaleatorios.

#### 4.2.2. NRZ Pulse Generator (Non-Return-to-Zero)

Genera una señal eléctrica codificada que no vuelve a cero que depende de la entrada de una secuencia de bits. Dado que la salida del generador de impulsos depende de la secuencia de bits, agregamos un generador de secuencias de bits definido por el usuario a su entrada. (Optiware Software, s.f.)

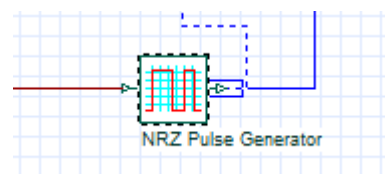


Figura No. 12 NRZ Pulse Generator

#### 4.2.3. Bidireccional Optical Fiber

La fibra óptica bidireccional se refiere a un tipo de fibra óptica que permite la transmisión de datos en ambas direcciones simultáneamente. Esto se logra mediante el uso de dos fibras ópticas separadas dentro de un solo cable, con una fibra dedicada a transmitir datos

en una dirección y la otra fibra dedicada a transmitir datos en la dirección opuesta. (Flujo de luz, 2015)

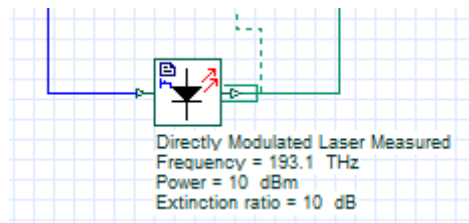


Figura No. 13 Bidireccional Optical Fiber

#### 4.2.4. Optical Fiber

Utilizado en telecomunicaciones y redes informáticas debido a su capacidad para transmitir grandes cantidades de datos a largas distancias con pérdidas e interferencias mínimas.

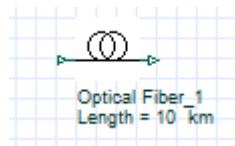


Figura No. 14 Optical Fiber

#### 4.2.5. Oscilloscope Visualizer

Tiene la capacidad para visualizar y analizar señales eléctricas lo convierte en una herramienta indispensable para la solución de problemas y la optimización del rendimiento de los sistemas electrónicos. (Finaltest, s.f.)

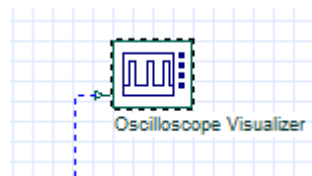


Figura No. 15 Osciloscopio Visualizer

#### 4.2.6. Power Splitter

Dispositivo electrónico que divide una sola señal de entrada en múltiples señales de salida con la misma amplitud y fase. Se usa comúnmente en sistemas de Radio Frecuencia y microondas para distribuir señales a múltiples dispositivos o circuitos.

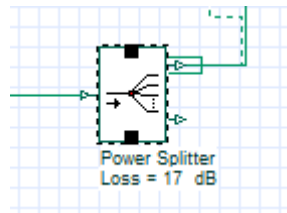


Figura No. 16 Power splitter

#### 4.2.7. Optical Attenuator

Utilizado en fibra óptica para reducir la señal de luz con relación a la distancia recorrida de una señal dentro de un medio de transmisión y permite ajustar la cantidad de atenuación necesaria para adaptarse a diferentes entornos. (FOCC, 2019)

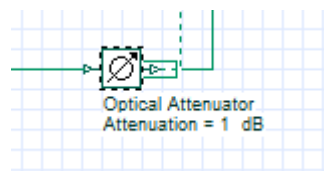


Figura No. 17 Optical Attenuator

#### 4.2.8. Photodetector PIN

Es un dispositivo semiconductor que convierte la luz en una señal eléctrica mediante el uso de una zona intrínseca y una zona de unión p-n. (FOSSCO, s.f.)

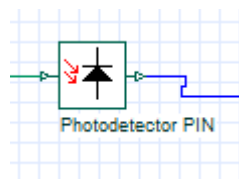


Figura No. 18 Photodetector PIN

#### 4.2.9. 3R Regenerator

Componente crucial para garantizar una transmisión confiable y eficiente de datos a alta velocidad a larga distancia.

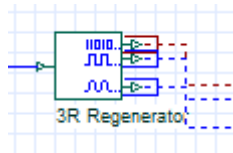


Figura No. 19 3R Regenerator

#### 4.2.10. BER Analyzer

Es un dispositivo esencial para la industria de las telecomunicaciones, ya que permite medir y analizar la calidad de una señal óptica, detectar fallas y realizar pruebas de diagnóstico.

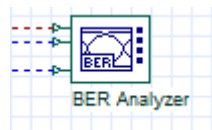


Figura No. 20 BER Analyzer

#### 4.2.11. Optical Power Meter

Miden la potencia en una señal de fibra óptica, asegurando su correcto funcionamiento y que se encuentre dentro del rango de tolerancia permitido. También identifica problemas de la red, como pérdidas de potencia o fallas en los componentes.

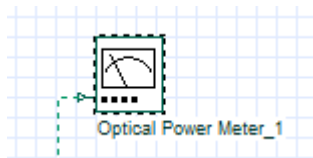


Figura No. 21 Optical Power Meter

### 4.3. Diseño de Simulación de la red 802.3ca en OptiSystem

Generalmente las redes GPON en la ONU (Unidad de red óptica) tiene láseres de modulación directa y en la OLT (Terminal de línea óptica), láseres de modulación externa, a veces inclusive láseres de modulación directa.

Utilizamos como medio de transmisión una fibra óptica multimodo considerado como ejemplo el peor enlace puede ser de 10km. y con una atenuación de 0.25 dB/km:

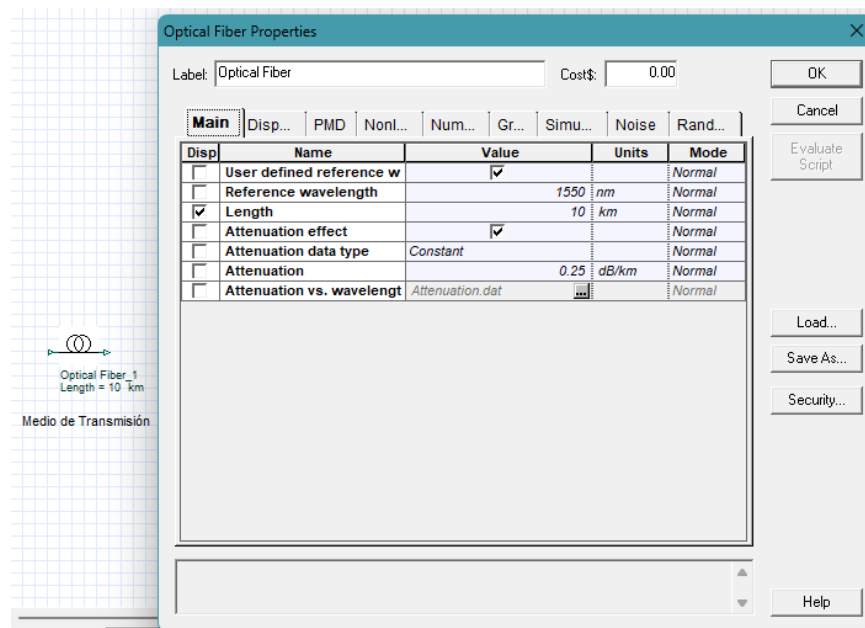


Figura No. 22 Propiedades del medio de transmisión

1. En la entrada del medio de transmisión óptico conectamos lo siguiente:
  - a. Directly Modulated Laser Measured que nos ayudara a modular directamente la intensidad de la señal óptica que genera,
  - b. Un generador de pulsos eléctrico del tipo NRZ para poder modular la señal
  - c. Un generador de secuencia de bits pseudo aleatorio mismo que nos permite ingresar datos y también define el Bit Rate, que para una GPON puede funcionar con 25Gb/s, tomando en cuenta que no llega las 25Gb/s al usuario.



## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Análisis de resultados obtenidos.

Para obtener los datos y verificar la tasa de error de bits (BER) versus la atenuación, se procede a subir periódicamente la atenuación en el Optical Attenuator, los valores en decibeles (dB), considerando que si tenemos una atenuación de cero los resultados del ojo de transmisión en el BER Analyzer son excelentes para mantener un buen desempeño de la red y garantizando una buena transmisión de datos a través del enlace.

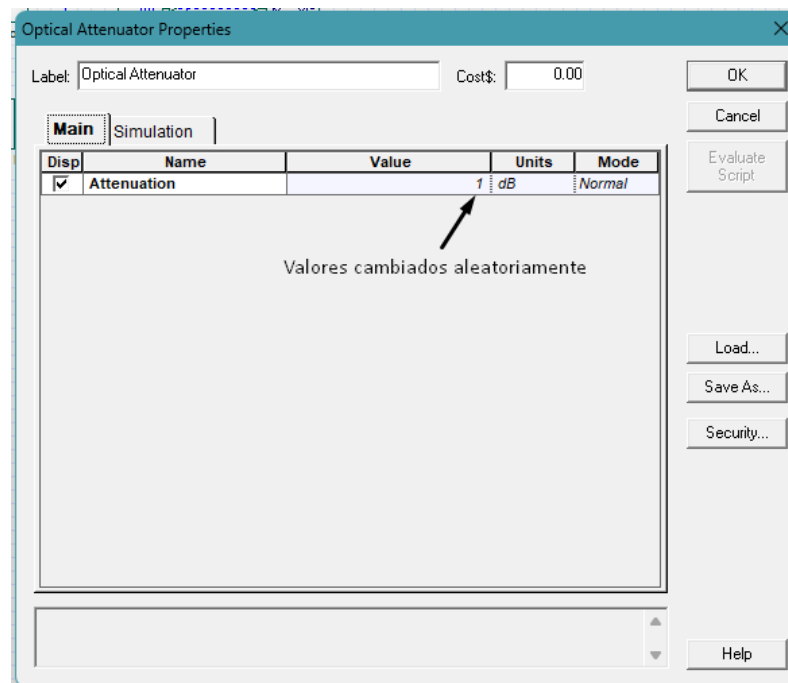


Figura No. 25 Modificación de atenuación en Optical Attenuator en dB.

### 5.2. Análisis de Diagramas de ojo (BER Analyzer)

Al incrementar la atenuación se logró obtener varios datos y se procede a analizar a través de la simulación en OptiSystem, para observar los diagramas de ojo de la transmisión en el BER Analyzer:

Atenuación	Ver Analyzer	dBm	W
0	2.98E-11	-15.065	3.12E-05
1	3.36E-08	-16.065	2.47E-06
2	3.07E-06	-17.065	1.97E-06
3	9.07E-05	-18.065	1.56E-06
4	1.05E-03	-19.065	1.24E-06
5	1.05E-02	-20.065	9.85E-06

Tabla No. 6 Tasa de error de bits (BER) versus la atenuación

Como podemos visualizar los resultados que se obtuvieron en la simulación son óptimos para que la transmisión se realice con éxito considerando que la atenuación se mantenga en cero, adicionalmente si la atenuación sigue en aumento el diagrama de ojo se va cerrando y la transmisión cada vez será nula.

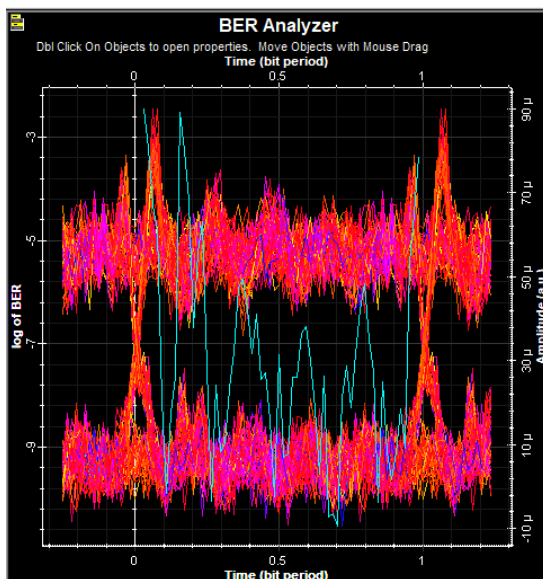


Figura No. 26 Diagrama de ojo - Atenuación: 0dB.

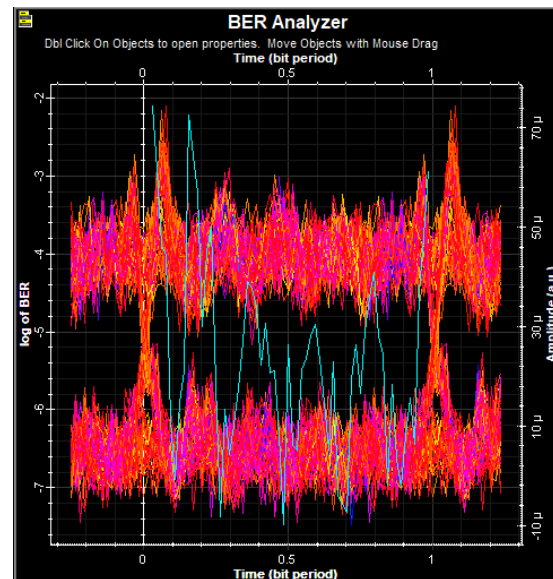


Figura No. 27 Diagrama de ojo - Atenuación: 1dB

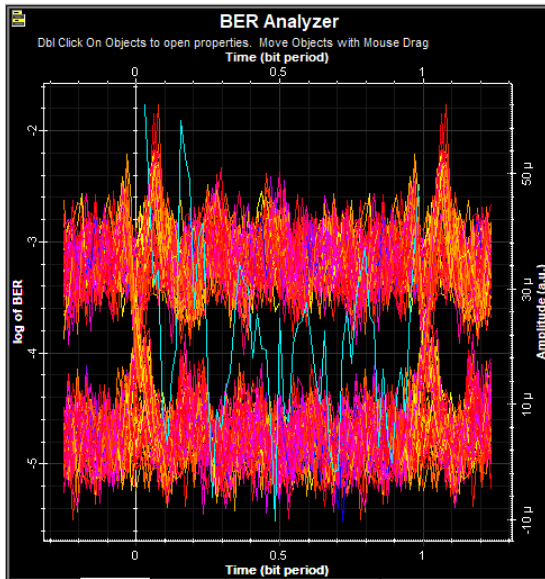


Figura No. 28 Diagrama de ojo – Atenuación: 2dB

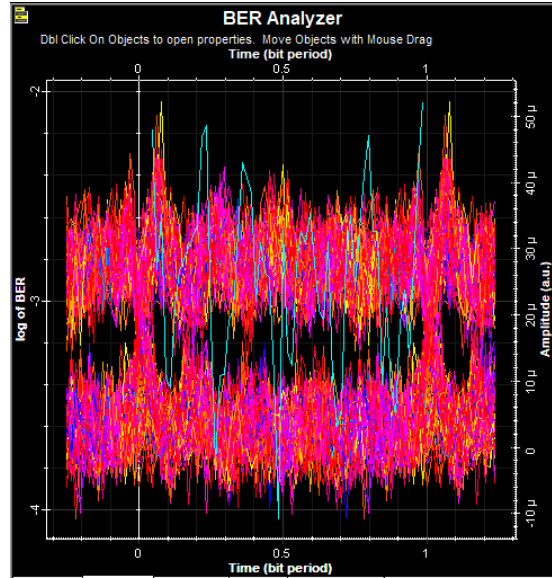


Figura No. 29 Diagrama de ojo - Atenuación: 3dB

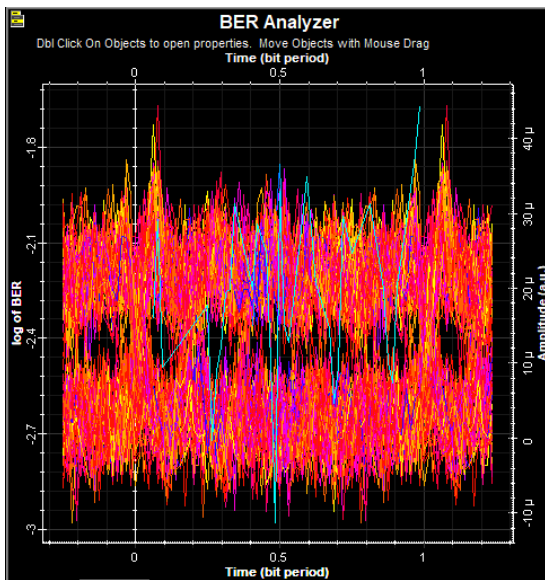


Figura No. 30 Diagrama de ojo – Atenuación: 4dB

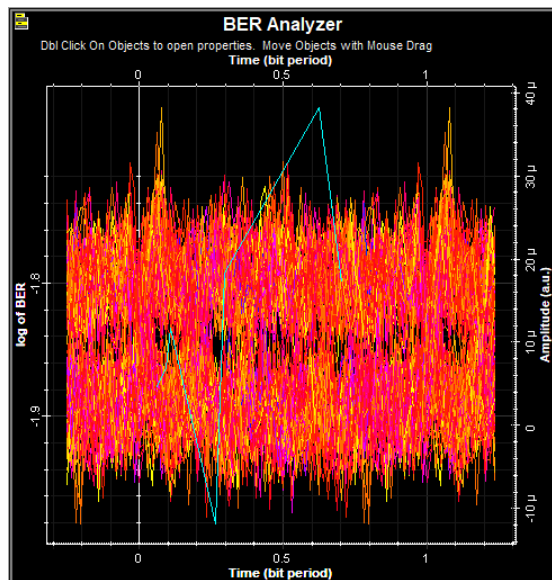


Figura No. 31 Diagrama de ojo – Atenuación: 5dB

### 5.3. Análisis de la curva de desempeño del BER

En la tabla No. 7 se puede apreciar que al incrementar la atenuación conseguimos los siguientes datos y procedemos a analizar a través de Matlab:

Atenuación	Ber Analyzer	dBm	W
0	2.98E-11	-15.065	3.12E-05
1	3.36E-08	-16.065	2.47E-06
2	3.07E-06	-17.065	1.97E-06
3	9.07E-05	-18.065	1.56E-06
4	1.05E-03	-19.065	1.24E-06
5	1.05E-02	-20.065	9.85E-06

Tabla No. 7 Resultados del desempeño BER versus atenuación.

En la figura No.32, se puede observar la curva de la tasa de error de bits (BER) versus la potencia recibida para una red GPON de 2.5Gb/s de 10 kilómetros en la que se puede observar que con una potencia recibida aproximadamente de -15.5 dBm se obtiene un BER en el orden de  $10^{-9}$  y que un BER de  $10^{-3}$  (que es el mínimo BER para realizar FEC) obteniendo una potencia recibida de -19 dBm. Puede apreciarse que hay un buen desempeño en la red y que se garantiza para la distancia simulada una transmisión efectiva, inclusive en la distancia más alejada que es de diez kilómetros.

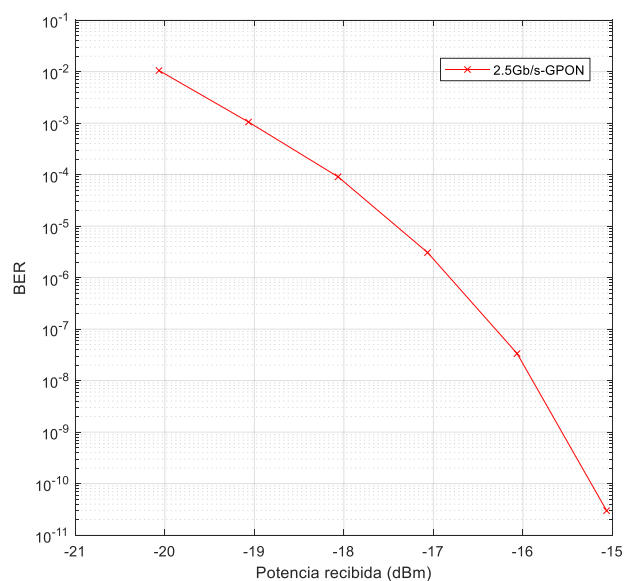


Figura No. 32 Tasa de error de bits (BER) versus la potencia recibida

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En el presente trabajo de titulación, se puede evidenciar que al aplicar el análisis técnico-económico de la Herramienta OTS para el despliegue óptimo de una red PON en una zona urbana del Distrito Metropolitano de Quito, existen datos basados en escenarios en los cuales determinan si el despliegue de la tecnología PON, XPON y GPON sería o no rentable, tomando en cuenta el dimensionamiento de la escalabilidad de cada una y así generar una solución tecnológica frente a los cambios de demandas de bits generados por los usuarios.

Además, las características técnicas establecidas para el estándar IEEE 802.3ca genera nuevas funcionalidades y capacidades para las tecnologías GPON – XGPON superiores a los de sus tecnologías PON, ya que nos permite obtener un aumento de velocidad desde los 25Gb/s hasta los 10 Gb/s para la transmisión de datos, satisfaciendo los requerimientos de tasas de transmisión que en la actualidad los servicios de telecomunicaciones utilizan para su correcto funcionamiento.

En la simulación del enlace óptico a través del Software OptiSystem, se consideró un enlace de hasta 10 Km como el enlace más crítico para la transmisión de bits en donde pudo evidenciarse un buen desempeño en la transmisión de datos, logrando un BER de  $10^{-9}$  con una potencia en el receptor menor a -15dBm.

El costo de implementación de estándar IEEE 802.3ca en nuestro país tendría un valor extremadamente alto comparado con el que en la actualidad se encuentra prestando el servicio, pero su implementación generaría varios beneficios a futuro ya que nos permitirá gestionar altas velocidades según la demanda que los usuarios necesiten.

## Referencias

- Barbieri, S. (s.f.). *3 Ethernet / IEEE 802.3*. Obtenido de chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://users.exa.unicen.edu.ar/catedras/comdat1/material/Ethernet2010.pdf
- Curtis Knittle, C. (27 de junio de 2018). *Next Generation PON 100G-EPON (IEEE 802.3ca)*. Obtenido de Building Tomorrow's Networks: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.itu.int/en/itu-t/workshops-and-seminars/20180127/documents/2.%20curtis%20knittle.pdf
- Finaltest. (s.f.). *¿Que es un osciloscopio?* Obtenido de https://www.finaltest.com.mx/product-p/art-9.htm
- Flores, G. -V. (2019). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED ÓPTICA PASIVA (PON) A 10 GBAUD/S EMPLEANDO PAM4 CON PRE-COMPENSACIÓN. (*Trabajo de titulación - Ingeniería*). UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO, Quito.
- Flujo de luz*. (21 de 05 de 2015). Obtenido de Comprensión de la tecnología de transceptores ópticos bidireccionales: transceptores BiDi . Blog de Flux Light.: https://blog.fluxlight.com/2015/05/21/understanding-bi-direccional-optical-transceiver-technology-bidi-transceivers/
- FOCC. (28 de 08 de 2019). *¿Qué hace un atenuador óptico?* Obtenido de https://m.fibresplitter.com/info/what-does-an-optical-attenuator-do-38669707.html
- FOSCO. (s.f.). *CARACTERÍSTICAS DEL FOTODETECTOR PIN PARA COMUNICACIÓN POR FIBRA ÓPTICA*. Obtenido de ¿Qué es un fotodetector?: https://www.fiberoptics4sale.com/blogs/archive-posts/95046662-pin-photodetector-characteristics-for-optical-fiber-communication

Neobroadband. (23 de 06 de 2021). *Configuración 25G/50G -EPON mejora implementaciones de fibra*. Obtenido de <https://neobroadband.net/configuracion-25g-50g-epon-mejora-implementaciones-de-fibra/>

NeoBroadband. (25). *Blog* . Obtenido de Configuración 25G/50G - EPON mejora implementaciones fibra : <https://neobroadband.net/configuracion-25g-50g-epon-mejora-implementaciones-de-fibra/>

Optiware Photonic Software. (s.f.). *Introduction to Optisystem – How To Setup The Pseudo Random Bit Sequence Generator*. Obtenido de <https://optiwave.com/products/system-and-amplifier-design/optisystem/optisystem-videos/optisystem-training-videos/introduction-to-optisystem-how-to-setup-the-pseudo-random-bit-sequence-generator/>

Optiware Software. (s.f.). *How To Set Up An NRZ Pulse Generator In OptiSystem*. Obtenido de <https://optiwave.com/products/system-and-amplifier-design/optisystem/optisystem-videos/optisystem-training-videos/how-to-set-up-an-nrz-pulse-generator-in-optisystem/>

sapalomera.caT. (s.f.). *Protocolos y estándares de red* . Obtenido de <https://www.sapalomera.cat/moodlecf/RS/1/course/module3/3.2.3.3/3.2.3.3.html>

SCRIBD. (s.f.). *802 3CA*. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/489134251/802-3CA>