



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Diseño de escenarios de simulación de la transmisión  
ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)**

AUTOR:

Ing. Encalada Sotomayor, Jefferson Paul

Examen Complexivo previo a la obtención del Grado Académico de

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

10 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Encalada Sotomayor, Jefferson Paul** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGISTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

---

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

---

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, 10 de noviembre del 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, **Encalada Sotomayor, Jefferson Paul**

**DECLARO QUE:**

El examen complejo **“Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)”** previa a la obtención del Grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

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

Guayaquil, 10 de noviembre del 2021

EL AUTOR

---

ENCALADA SOTOMAYOR, JEFFERSON PAUL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Encalada Sotomayor, Jefferson Paul**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del examen complejo titulado: **“Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 10 de noviembre del 2021

EL AUTOR

---

ENCALADA SOTOMAYOR, JEFFERSON PAUL

# REPORTE DE URKUND

**URKUND** Abrir sesión

<b>Documento</b>	<a href="#">Tesis-Encalada_Jefferson.docx</a> (D115620802)
<b>Presentado</b>	2021-10-18 11:58 (-04:00)
<b>Presentado por</b>	fernandopm23@hotmail.com
<b>Recibido</b>	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
<b>Mensaje</b>	Revisión Final TT MET Jefferson Encalada <a href="#">Mostrar el mensaje completo</a> 0% de estas 21 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques		
<input type="checkbox"/>	<b>Categoría</b>	<b>Enlace/nombre de archivo</b>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>		<a href="#">TESIS GPON FINAL P. TUTIVEN 31-07-2015.docx</a>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<b>Fuentes alternativas</b>		
<input type="checkbox"/>	<b>Fuentes no usadas</b>		

Reiniciar | Exportar | Compartir | ?

0 Advertencias

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

TEMA: Diseño de escenarios de simulación de la transmisión  
ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit  
(GPON)

AUTOR: Ing. Encalada Sotomayor, Jefferson Paul

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado  
Académico de Magister en Telecomunicaciones

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

20 de septiembre del 2021

## **DEDICATORIA**

A Dios por siempre darme la sabiduría necesaria y las fuerzas para tomar las mejores decisiones para mi vida.

A mis padres, por siempre estar ahí para mí, por sus consejos y su apoyo en todo momento, siempre serán mis mejores amigos. Mi mamá por entenderme siempre y decirme las verdades de la vida y a mi Papá por siempre darme su sabiduría y dejar que elija mi propio destino.

A mis hermanos, por estar siempre presentes, por su amistad incondicional.

A mi abuelita Matilde que siempre me quiso verme en esta etapa de mi vida, gracias a su dulzura, su cariño y sus consejos, formaron gran parte de la persona que soy hoy en día, siempre sé que puedo contar con ella, aunque no la pueda ver, siempre la puedo sentir.

A mis abuelitos Libio y Julia por contarme lo que lo único que a uno lo puede vencer en esta vida es uno mismo y que siempre que tengamos un problema, podremos contar con Dios.

A mi novia y amiga por siempre darme su apoyo y por hacerme reír cuando más lo necesito, con su cariño y apoyo soy mejor persona.

**EL AUTOR**

**ENCALADA SOTOMAYOR, JEFFERSON PAUL**

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por darme salud y la inteligencia necesaria para poder día a día enfrentar los problemas que me presenta la vida, para ser mejor ser humano, un mejor hijo, mejor hermano y un mejor amigo.

Agradezco a mi familia que es el pilar fundamental en mi vida, a mi padre, a mi madre, mis hermanos quienes me dan su apoyo incondicional para que pueda salir adelante.

Agradezco de forma infinita a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, a la Facultad Técnica para el Desarrollo y en especial a la carrera de Ingeniería en Telecomunicaciones con mención Gestión Empresarial en Telecomunicaciones por las enseñanzas impartidas generando en mí el crecimiento profesional y espiritual.

A mis profesores que en transcurso de mi vida han aportado con sus conocimientos y sus consejos, aparte de ser excelentes docentes han sido muy buenos amigos, que colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

**EL AUTOR**

**ENCALADA SOTOMAYOR, JEFFERSON PAUL**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO  
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. 

**M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO**  
TUTOR

f. 

**M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO**  
REVISOR

f. 

**M. Sc. QUEZADA CALLE, EDGAR RAUL**  
REVISOR

f. 

**M. Sc. ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS**  
DIRECTOR DEL PROGRAMA



## Índice General

Índice de Figuras .....	XII
Índice de Tablas.....	XIV
Resumen .....	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación .....	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes. ....	18
1.3. Definición del Problema.....	19
1.4. Justificación del Problema.....	19
1.5. Objetivos del Problema de Investigación.....	20
1.5.1. Objetivo General.....	20
1.5.2. Objetivos Específicos. ....	20
1.6. Hipótesis.....	20
1.7. Metodología de Investigación.....	21
Capítulo 2: Fundamentación Teórica .....	22
2.1. Introducción a las redes ópticas. ....	22
2.2. Sistemas de comunicación óptico. ....	22
2.2.1. Estructura de red FTTH. ....	23
2.2.2. Estructura de red FTTB. ....	24
2.2.3. Estructura de red FTTC.....	24
2.3. Arquitectura de redes FTTH. ....	24
2.3.1. Arquitectura punto a punto. ....	25
2.3.2. Arquitectura punto a multipunto.....	26
2.4. Comparación entre las dos arquitecturas P2P y P2M. ....	28
2.5. Las Redes Ópticas Pasivas (PON) .....	29

2.5.1.	Arquitectura de una red óptica pasiva (PON) .....	29
2.5.2.	Los elementos de una red óptica pasiva .....	30
2.5.3.	Principio de funcionamiento de una red PON .....	31
2.6.	Los diferentes estándares de una red PON .....	32
2.6.1.	Estándar APON .....	32
2.6.2.	Estándar BPON .....	33
2.6.3.	Estándar EPON. ....	34
2.6.4.	Estándar GPON.....	35
2.7.	Velocidades de datos que ofrecen las redes ópticas pasivas (PON) .....	36
2.8.	Prestaciones de una red óptica pasiva.....	37
2.8.1.	Fiabilidad de la PON.....	37
2.8.2.	Seguridad de PON.....	37
2.9.	Ventajas e inconvenientes de una red óptica pasiva (PON).....	37
Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados .....		39
3.1.	Visión general del entorno de simulación OptiSystem. ....	39
3.2.	Configuración y diseño de la red. ....	39
3.3.	Descripción del canal descendente del sistema GPON. ....	42
3.3.1.	Transmisor.....	42
3.3.2.	Canal bidireccional .....	43
3.3.3.	Receptor .....	43
3.4.	Descripción de los escenarios de simulación en el canal de transmisión descendente.....	43
3.4.4.	Escenario 1: potencia variable con longitudes de onda y longitud de fibra fijas.....	43
3.4.5.	Escenario 2: longitud de fibra variable con potencia y longitud de onda fijas .....	43
3.4.6.	Escenario 3: longitud de onda variable con potencia y longitud de fibra fijas .....	44

3.5.	Descripción del canal ascendente del sistema GPON. ....	44
3.5.1.	Transmisor.....	44
3.5.2.	Canal bidireccional .....	45
3.5.3.	Receptor .....	45
3.6.	Descripción de los escenarios de simulación en el canal de transmisión ascendente.....	45
3.6.1.	Escenario 4: potencia variable con longitudes de onda y longitud de fibra fijas.....	45
3.6.2.	Escenario 5: longitud de fibra variable con potencia y longitud de onda fijas .....	45
3.7.	Criterios de calidad para la transmisión por fibra óptica .....	46
3.7.1.	Tasa de error de bits (BER).....	46
3.7.2.	Diagrama del ojo.....	46
3.7.3.	Factor de calidad Q .....	46
3.8.	Análisis de los resultados obtenidos. ....	47
3.8.1.	Análisis de resultados de simulación del escenario 1.....	47
3.8.2.	Análisis de resultados de simulación del escenario 2.....	50
3.8.3.	Análisis de resultados de simulación del escenario 3.....	53
3.8.4.	Análisis de resultados de simulación del escenario 4.....	53
3.8.5.	Análisis de resultados de simulación del escenario 5.....	54
3.9.	Implementación de un modelo de red GPON.....	54
	Conclusiones. ....	56
	Recomendaciones. ....	57
	Bibliografía.....	58

## Índice de Figuras

### Capítulo 2

Figura 2. 1: Diagrama de la estructura FTTH.....	23
Figura 2. 2: Diagrama de la estructura FTTB.....	24
Figura 2. 3: Diagrama de la estructura FTTC.....	24
Figura 2. 4: Arquitectura de una FTTH-P2P.....	25
Figura 2. 5: Arquitectura de una FTTH-P2M.....	27
Figura 2. 6: Arquitectura de una red óptica pasiva.....	30
Figura 2. 7: Esquema de funcionamiento de los canales ascendente y descendente en 10G-EPON.....	32
Figura 2. 8: Estructura de una red óptica pasiva ATM (APON).....	33
Figura 2. 9: Aplicación práctica de un sistema CATV por WDM superpuesto para la arquitectura BPON.....	34
Figura 2. 10: Aplicación práctica de comunicaciones FTTH, inalámbricas fija y móvil para la arquitectura EPON.....	35
Figura 2. 11: Esquemático de la arquitectura de GPON.....	36

### Capítulo 3

Figura 3. 1: Esquemático de la transmisión bidireccional del sistema GPON.....	40
Figura 3. 2: Esquemático del transmisor del sistema GPON.....	40
Figura 3. 3: Esquemático del receptor del sistema GPON.....	41
Figura 3. 4: Bloque de construcción.....	41
Figura 3. 5: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 1 para 100 m.....	48
Figura 3. 6: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 1 para 1 km.....	48
Figura 3. 7: Variaciones del factor Q vs. potencia de transmisión en escenario 1.....	49

Figura 3. 7: Variaciones de BER vs. potencia de transmisión en escenario 1. .....	49
Figura 3. 9: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 2 para 100 m. .....	51
Figura 3. 10: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 2 para 1 km. .....	51
Figura 3. 11: Variaciones del factor Q vs. Distancia en escenario 2. ....	52
Figura 3. 12: Variaciones de BER vs. Distancia (km) para escenario 2. ....	53
Figura 3. 13: Ruido blanco añadido en la ONU del sistema GPON propuesto. .....	55
Figura 3. 13: Variación del factor Q vs. Distancia para el escenario 5. ....	55

## Índice de Tablas

### Capítulo 2

Tabla 2. 1: Diferentes pérdidas de acoplamiento.....	28
--	----

### Capítulo 3

Tabla 3. 1: Resultados obtenidos del escenario de simulación 1 de las ONUs a 100 m del divisor óptico. ....	47
Tabla 3. 2: Resultados obtenidos del escenario de simulación 1 de las ONUs a 1 km del divisor óptico. ....	47
Tabla 3. 3: Resultados obtenidos del escenario de simulación 2 de las ONUs a 100 m del divisor óptico. ....	50
Tabla 3. 4: Resultados obtenidos del escenario de simulación 2 de las ONUs a 1 km del divisor óptico. ....	50
Tabla 3. 5: Resultados obtenidos del escenario de simulación 3.....	53
Tabla 3. 6: Resultados obtenidos del escenario de simulación 4.....	54
Tabla 3. 7: Resultados obtenidos del escenario de simulación 5.....	54
Tabla 3. 8: Resultados obtenidos del escenario de simulación 5.....	55

## Resumen

En el presente documento se desarrolla la investigación del trabajo final de maestría denominado “Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)”. Este tipo de transmisión se utiliza en las comunicaciones de fibra hasta el hogar, conocidas como FTTH en una GPON. La FTTH consiste en transportar una señal de comunicaciones por fibra desde el equipo de conmutación del operador o del ISP hasta el hogar o la empresa, sustituyendo la infraestructura de cobre existente, como los cables telefónicos y el cable coaxial. GPON utiliza un protocolo basado en IP y codificación ATM o GEM (método de encapsulación de GPON). Especifica velocidades de datos de hasta 2,5 Gbps y es muy flexible en cuanto a los tipos de tráfico que transporta. La GPON permite un servicio triple play (voz-datos-video) y es la base de la mayoría de las aplicaciones FTTP previstas en un futuro próximo.

**Palabras claves:** Canales, Transmisión, Fibra, FTTH, PON, ISP.

## **Abstract**

This paper develops the research of the final master's thesis entitled "Design of simulation scenarios for upstream/downstream transmission in a gigabit passive optical network (GPON)". This type of transmission is used in fiber-to-the-home communications, known as FTTH in a GPON. FTTH involves carrying a communications signal over fiber from the carrier's or ISP's switching equipment to the home or business, replacing existing copper infrastructure such as telephone wires and coaxial cable. GPON uses an IP-based protocol and ATM or GEM (GPON encapsulation method) encoding. It specifies data rates of up to 2.5 Gbps and is very flexible in terms of the types of traffic it carries. GPON enables triple play (voice-data-video) service and is the basis for most FTTP applications planned for the near future.

**Keywords:** Channels, Transmission, Fiber, FTTH, PON, ISP, ISP



## Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Titulación

### 1.1. Introducción.

Los contenidos intensivos en ancho de banda y las aplicaciones P2P consumen la gran mayoría del ancho de banda en la mayoría de las redes de banda ancha. Sin embargo, los nuevos despliegues de banda ancha suelen justificarse principalmente por las aplicaciones actuales y no por las demandas previstas. En la mayoría de las redes de banda ancha actuales, la transmisión de contenidos de vídeo se considera la aplicación que más ancho de banda consume. (Azodolmolky & Tomkos, 2021)

Las compañías telefónicas, que siguen intentando llevar la fibra hasta las residencias para superar las promesas de rendimiento (que no siempre son las que se cumplen) de los operadores de cable, están explotando la arquitectura PON, de coste relativamente bajo. La PON es una tecnología de "última milla" de alto rendimiento, con equipos pasivos (no alimentados eléctricamente) de bajo coste sobre el terreno y la posibilidad de ofrecer velocidades de hasta 1 Gbps a cada abonado tanto en sentido ascendente como descendente. (Weinstein, 2016)

Su alcance es en realidad mucho más que una milla; puede ser de 40 km en algunos casos. Además de dar servicio a los abonados residenciales y empresariales, la PON tiene una importante aplicación para la transmisión "fronthaul" entre las estaciones base móviles celulares y los nodos de procesamiento basados en la nube, y la "backhaul" de las redes WiFi de área local y de los sistemas de comunicación locales, como las centralitas privadas (PBX). Es probable que, a medida que proliferen las pequeñas estaciones base, las capacidades de backhaul rápidas y económicas de PON sean aún más demandadas.

La demanda de Internet de alta velocidad con una red de gran capacidad (por ejemplo, GPON) está aumentando a un ritmo exponencial. Resulta bastante difícil dar cabida a un gran número de usuarios con

múltiples dispositivos de comunicación sin degradar la calidad del servicio a un coste aceptable. Por lo tanto, se necesita una tecnología de comunicación fuerte que pueda proporcionar altas velocidades de datos junto con la provisión de múltiples dispositivos de conexión para diferentes usuarios. (Usman et al., 2020)

Por ejemplo, la red 5G puede ajustar a los grandes usuarios con la conectividad de múltiples dispositivos proporcionando un gran ancho de banda con un retraso mínimo que depende de la arquitectura de red subyacente para conectar los diferentes componentes de los sistemas. La fibra óptica se utiliza como medio de transmisión para conectar las unidades de radio remotas (RRU) densamente desplegadas con las unidades de banda base (BBU) en la red de acceso radioeléctrico centralizada (C-RAN), lo que hace que la arquitectura sea bastante compleja y costosa en términos de costes de despliegue y mantenimiento. (Shah et al., 2021)

A medida que la fibra óptica se adentra en las redes ópticas pasivas (PON) en las redes FTTx, mantener la integridad de estas redes es realmente imprescindible. Esencialmente, se han establecido las mejores prácticas en la instalación y verificación de la red de acceso de fibra. Igualmente, importante es la supervisión de la degradación del rendimiento de la fibra óptica en servicio para asegurar la prestación eficiente del servicio, así como para garantizar el acuerdo de nivel de servicio. No obstante, un pequeño fallo en la PON puede provocar una pérdida masiva de datos derivada de la pasividad inherente a los elementos de la red de distribución óptica, lo que se traduce en la insatisfacción de los clientes y en un aumento de los gastos operativos a cargo de los operadores de redes.

## **1.2. Antecedentes.**

En los últimos años, la capacidad de los sistemas de comunicación óptica ha aumentado exponencialmente para satisfacer la demanda de un mayor ancho de banda para el tráfico de datos. Se ha producido un rápido crecimiento del tráfico de Internet debido al intenso uso de los servicios de Internet, incluidos los servicios Triple Play y las soluciones basadas en la

nube, que han ofrecido muchas nuevas oportunidades de negocio a los operadores de telecomunicaciones, como la prestación a los abonados de servicios de valor añadido (a través de soluciones Triple Play, como Internet, voz y vídeo). (Abdellaoui et al., 2021)

Se han adoptado muchas tecnologías para satisfacer la necesidad de un gran ancho de banda, pero no se tienen en cuenta porque se espera un crecimiento a largo plazo de las redes de acceso. La red óptica pasiva Gigabit (GPON) basada en la fibra hasta el hogar (FTTH) es una solución prometedora para las crecientes necesidades de mayor ancho de banda.

El proceso de distribución del ancho de banda en los sistemas PON modernos puede verse como una situación en la que muchos participantes interactúan entre sí. En muchos casos, los participantes no actúan de forma justa. Por ejemplo, un participante puede intentar monopolizar la oportunidad de transmisión ofrecida en la dirección ascendente de un sistema PON. Como resultado, puede producirse un programa de transmisión de ancho de banda injusto, si la OLT, que es responsable de crear el programa (de transmisión), no evita este comportamiento.

### **1.3. Definición del Problema.**

En la búsqueda de trabajos de titulación en el repositorio de UCSG no se cuenta con el análisis de los canales de transmisión bidireccional. Por esto surge la necesidad de caracterizar los detalles de la implementación de la transmisión ascendente/descendente de GPON y mostrar los pasos utilizados para simular el trabajo en la plataforma OptiSystem, y así evaluar el comportamiento y rendimiento de la red cuando la señal pasa por todos los elementos.

### **1.4. Justificación del Problema.**

La FTTH es reconocida como la opción para un verdadero acceso de banda ancha y comienzan a acercarse las principales implantaciones de esta tecnología. Los principales impulsores de la FTTH son las aplicaciones que exigen un gran ancho de banda. Entre las distintas arquitecturas y

tecnologías de FTTH, la tecnología FTTH de Ethernet activa en el hogar es una tecnología interesante.

Las redes de acceso se están desarrollando muy rápidamente, tanto en lo que respecta al acceso fijo y radioeléctrico como a las redes móviles. Las redes de cables de fibra óptica han evolucionado rápidamente y han tenido un impacto significativo en un gran número de aplicaciones en los ámbitos civil y militar. De hecho, la fibra óptica está resultando muy interesante por su ancho de banda y su rendimiento, muy superiores a los que ofrecen otras tecnologías. La mayoría de los sistemas de acceso óptico desplegados hoy en día se basan en las tecnologías PON (redes ópticas pasivas) de Gigabit. Se trata de redes ópticas pasivas basadas en una arquitectura punto-multipunto que funcionan a 1.25 o 2.5 Gbps.

## **1.5. Objetivos del Problema de Investigación.**

### **1.5.1. Objetivo General.**

Realizar la implementación de un sistema automatizado para la transportación y pesaje de fundas con camarones utilizando interfaces de hombre máquina.

### **1.5.2. Objetivos Específicos.**

- Describir la fundamentación teórica de las redes ópticas pasivas y sus diferentes estándares.
- Diseñar los escenarios de simulación de los canales de transmisión ascendente y descendente de una GPON.
- Analizar los resultados obtenidos en cada escenario de simulación en el entorno de simulación OptiSystem.

## **1.6. Hipótesis.**

Mediante el diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON) se demostrará como afectan los parámetros de potencia y distancia en el factor de calidad (Q) y en la tasa de error de bits (BER).

### **1.7. Metodología de Investigación.**

La investigación es una de las actividades humanas más importantes, con una enorme influencia en la sociedad. El presente trabajo tiene un enfoque cuantitativo, es decir, que busca medir un fenómeno. En otras palabras, intenta cuantificar, es decir, expresar en cifras, los parámetros estudiados en la transmisión ascendente/descendente de una GPON.

Estas cifras pueden utilizarse como resultados descriptivos o comparativos, o pueden ser objeto de análisis estadísticos para establecer si existen vínculos significativos entre determinados parámetros estudiados. Estos cálculos requieren una muestra representativa, numéricamente mayor que en un análisis cualitativo. En el capítulo 3 se observan las variables de estudio entre los cinco escenarios de simulación implementados.

## **Capítulo 2: Fundamentación Teórica**

### **2.1. Introducción a las redes ópticas.**

Las redes ópticas se han desarrollado rápidamente en los últimos años. Esta evolución se debe a la creciente demanda de rendimiento. Las descargas, los vídeos e imágenes de alta definición y las videoconferencias requieren un gran ancho de banda para acceder a la información lo más rápidamente posible.

La demanda de mayor ancho de banda ha llevado al desarrollo de redes de acceso de banda ancha como la fibra hasta el hogar (Fiber To The Home, FTTH). Entre las diversas implementaciones de FTTH se encuentra la red óptica pasiva (Passive Optical Network, PON), que puede proporcionar velocidades de datos muy altas a los clientes, una gran área de cobertura, un despliegue reducido de fibra como resultado de su arquitectura punto a multipunto y una reducción de los costes de mantenimiento gracias al uso de componentes pasivos en la red.

La integración de la multiplexación por división de longitudes de onda (WDM) en una PON es la respuesta para aumentar el rendimiento y las tasas de compartición en la red de acceso, donde a cada cliente se le asignará una longitud de onda específica.

Este capítulo presenta las redes ópticas, en particular las redes ópticas pasivas, sus elementos constitutivos y su principio de funcionamiento. También se describen tres categorías principales de arquitectura de red PON: punto a punto, punto a multipunto pasivo, FTTH (Fiber To The Home), luego se habla de PON-WDM, y finalmente se presentan algunas ventajas y desventajas de PON.

### **2.2. Sistemas de comunicación óptico.**

De manera general, una red de telecomunicaciones de fibra óptica puede dividirse en tres categorías:

- la red de acceso, que cubre dimensiones de unos pocos kilómetros a unas pocas docenas, también conocida como red de área local (LAN),
- la red de área metropolitana (MAN), con unas dimensiones de unos 100 km,
- la red core o troncal, que se extiende a lo largo de varios cientos de kilómetros.

La red de acceso óptico suele constar de una parte de fibra óptica seguida de una parte de cobre que va hasta el terminal del abonado. Esta red proporciona acceso a la red telefónica pública para aplicaciones de voz, así como acceso a aplicaciones de transferencia de datos (voz y vídeo) mediante el uso de técnicas digitales de modulación y multiplexación. Se distingue entre las técnicas FTTx (Fiber To The x), que consisten en llevar la fibra al usuario para aumentar la calidad del servicio, en particular el rendimiento. Las siguientes subsecciones muestran las configuraciones más comunes, dependiendo de la ubicación de la terminación de la red óptica (ONT).

### 2.2.1. Estructura de red FTTH.

La terminación de la red óptica, propia de un abonado, se encuentra en estos locales. Así, la fibra óptica llega hasta el hogar o la oficina (velocidad de datos de hasta 1 Gbps). Esta configuración se denomina FTTH o FTTO, la figura 2.1 muestra los diferentes componentes de una red FTTH/FTTO. (Azodolmolky & Tomkos, 2021)

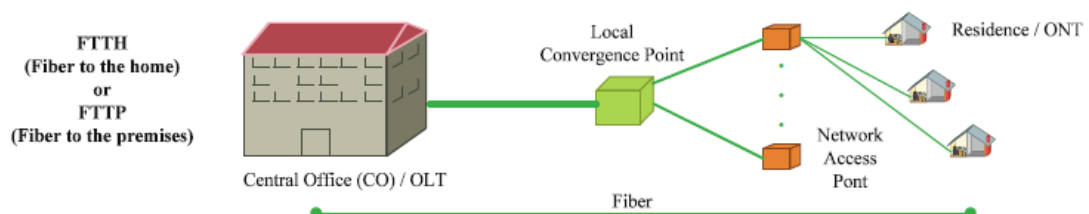


Figura 2. 1: Diagrama de la estructura FTTH.

Fuente: (Radivojević & Matavulj, 2017)

### 2.2.2. Estructura de red FTTB.

La terminación óptica se encuentra a los pies del edificio, en una sala técnica, o en un armario o conducto en el rellano. Suele ser compartido por varios abonados que se conectan a él mediante enlaces de cable de cobre. Esta configuración también se denomina FTTB, la figura 2.2 muestra la estructura de una red FTTB.

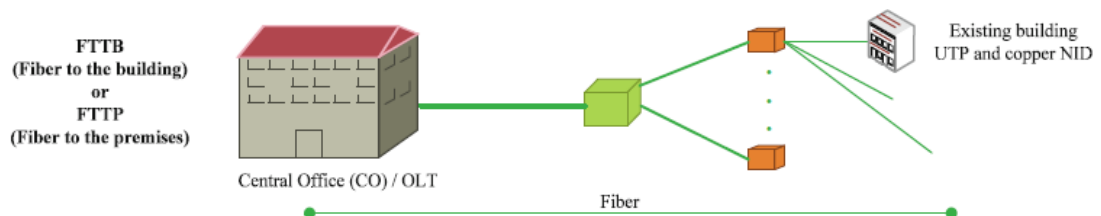


Figura 2. 2: Diagrama de la estructura FTTB.

Fuente: (Radivojević & Matavulj, 2017)

### 2.2.3. Estructura de red FTTC.

La terminación de la red óptica se encuentra en una cámara subterránea, o en un armario en la vía pública (subdistribuidor), o en un centro de telecomunicaciones, o en un poste. En el caso de que la fibra llegue al bordillo, esta configuración se denomina fibra hasta el bordillo (FTTC). Por otro lado, si llega hasta el subdistribuidor, esta configuración se denomina Fiber to the Cabinet (FTTCab). Según el caso, se prevé reutilizar la red de terminales de cobre existente o implementar una distribución de terminales por vía radioeléctrica, la figura 2.3 representa los diferentes componentes de una red FTTC/FTTCab.

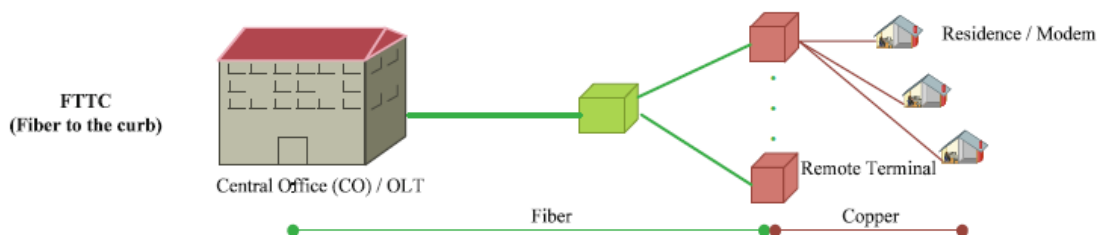


Figura 2. 3: Diagrama de la estructura FTTC.

Fuente: (Radivojević & Matavulj, 2017)

### 2.3. Arquitectura de redes FTTH.

La fibra óptica se despliega desde el extremo de la red hasta el hogar. No utiliza ninguna otra tecnología intermedia. Es la tecnología más atractiva en términos de rendimiento para el abonado (no se comparte) y de



seguridad de la transferencia (los datos de los diferentes usuarios están separados), pero la más cara en términos de costes de despliegue para el operador. Se utilizan dos tipos de topologías físicas para llevar la fibra al cliente final:

- ✚ Arquitectura activa, también conocida como punto a punto (P2P).
- ✚ Arquitectura pasiva, que se denomina comúnmente punto a multipunto (P2M) o PON.

### 2.3.1. Arquitectura punto a punto.

La arquitectura punto a punto es la más sencilla de implementar entre las topologías físicas de la red de acceso óptico, consiste en disponer de un enlace físico de fibra óptica directamente entre la central y el abonado y se asocia principalmente a tecnologías como la de jerarquía digital síncrona (SDH/SONET) y las tecnologías xDSL (ADSL, HDSL, VDSL, ...). (Jay et al., 2010)

El despliegue de esta tecnología es más caro debido al mayor número de fibras que hay que producir y conectar. En esta arquitectura, cada abonado está conectado al repartidor óptico de la red más cercana, con una fibra dedicada (punto a punto). Este modelo es idéntico al del bucle local telefónico actual. Esta arquitectura proporciona un sellado absoluto entre las líneas de los distintos abonados: ningún riesgo de seguridad y una garantía absoluta de disponibilidad total de la línea. Pero esto es una desventaja para los operadores, ya que cada fibra está dedicada a un abonado, y hay tantas fibras como abonados, tal como se muestra en la figura 2.4.

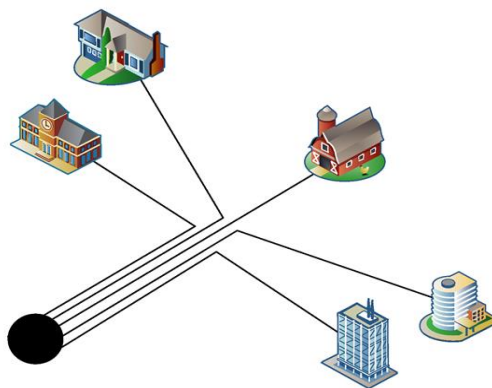


Figura 2. 4: Arquitectura de una FTTH-P2P.  
Fuente: (Horvath et al., 2020)

Se pueden utilizar diferentes protocolos para el transporte de datos, pero la mayoría de las veces se opta por Ethernet. Estas soluciones se denominan entonces Ethernet P2P o Ethernet Direct Fiber. Permiten velocidades de datos de 10Gbps. Comercialmente, las velocidades de datos están limitadas a valores inferiores, por ejemplo, 100 Mbps simétricos.

A continuación, se presentan los beneficios o ventajas de la arquitectura punto a punto:

- + Solución universal para clientes residenciales y empresariales
- + Presupuesto óptico óptimo, ya que no se requieren componentes ópticos entre la OLT y ONT.
- + La seguridad de los datos está garantizada, ya que se dedican una o dos fibras a cada cliente.
- + La gestión de la red es muy sencilla.
- + Ancho de banda ilimitado.
- + Más económico en zonas de baja densidad de abonados.
- + Mayor flexibilidad del servicio.

A continuación, se presentan las desventajas de la arquitectura punto a punto:

- + Gestión de la fibra en la oficina central (gestión de Tx/Rx)
- + No hay mutualización de la fibra.
- + Congestión dentro de la bolsa debido al gran número de transceptores.
- + No se comparte la OLT o el puerto óptico, muchas fibras para desplegar (no es muy económico).

### **2.3.2. Arquitectura punto a multipunto.**

Una red punto a multipunto (P2M), también conocida como red óptica pasiva (PON), donde el término pasivo se refiere al divisor, que no tiene componentes electrónicos. En esta arquitectura, una sola fibra va desde la central óptica hasta la red y da servicio a varias viviendas, que se conectan a

esta fibra en un equipo pasivo (acoplador o divisor) situado cerca de la zona a la que se da servicio.

Es decir, que cada sitio recibe toda la información enviada por el terminal de enlace óptico (OLT) en la central y la recibe la terminación de red óptica (ONT) de cada abonado, y realiza la función de filtrado: cada una de las ONT y OLT sólo utiliza los datos relevantes para el usuario conectado a ella, tal como se muestra en la figura 2.5.

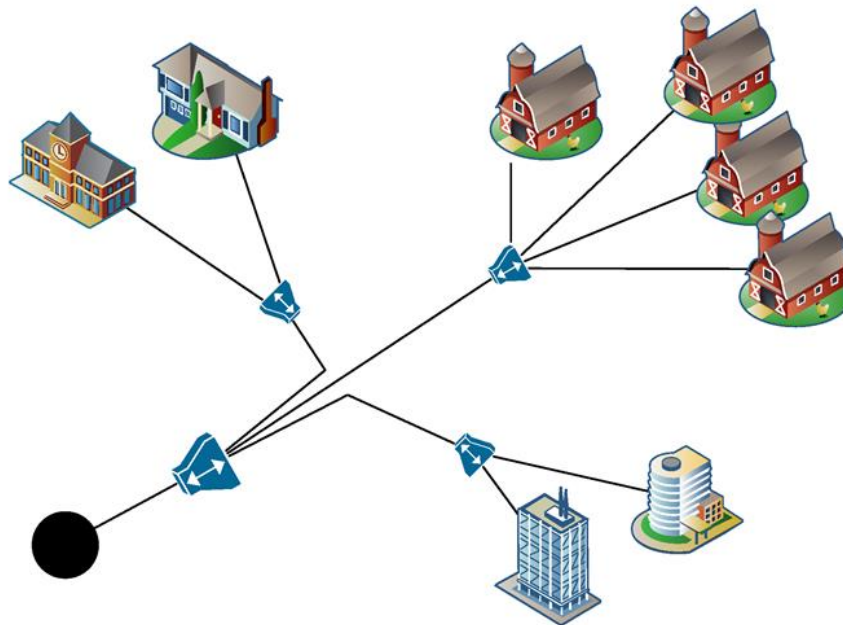


Figura 2. 5: Arquitectura de una FTTH-P2M.  
Fuente: (Horvath et al., 2020)

A continuación, se presentan los beneficios o ventajas de la arquitectura punto a multipunto:

- ✚ No hay elementos electrónicos activos en la red de acceso, es la estructura pasiva.
- ✚ Reduce los costes de capital y de funcionamiento asociados.
- ✚ Los bajos costes de mantenimiento de estos componentes ópticos pasivos reducirán considerablemente el coste de las actualizaciones y los gastos de funcionamiento.
- ✚ Ahorra en la cantidad de fibra que hay que colocar y, por tanto, en el dimensionamiento de la infraestructura.
- ✚ Arquitectura de fácil difusión.
- ✚ Flexibilidad en la asignación del ancho de banda.

A continuación, se presentan las desventajas de la arquitectura punto a multipunto:

- ✚ No hay interoperabilidad con otras redes.
- ✚ Ancho de banda compartido y limitado.
- ✚ Seguridad de los datos requerida
- ✚ Zona de cobertura limitada: máximo 20 km en función del número de divisiones (más divisiones = menos distancia).
- ✚ Dificultad para planificar las aplicaciones empresariales.

#### 2.4. Comparación entre las dos arquitecturas P2P y P2M.

La tabla 2.1 resume un cuadro comparativo entre las arquitecturas P2P (punto a punto) y P2M (Punto a Multipunto) utilizados en sistemas de comunicaciones ópticos.

Tabla 2. 1: Diferentes pérdidas de acoplamiento

Parámetros	P2P	P2M
Gestión de encriptación o cifrado	No es necesario	Necesario
Gestión del ancho de banda	Ancho de banda no compartido en la red de acceso	Asignación dinámica del ancho de banda según las necesidades del usuario
Área de servicio	Asentamientos dispersos y para líneas dedicadas	Residencial y para alta densidad
Distancia (km)	15	20
Fibra	1 fibra por abonado de extremo a extremo	1 fibra por abonado en la parte de distribución y conexión, 1 fibra para n abonados en el transporte
Potencia	2 W	0.6 W
Tasa de datos ofrecida	100 Mbps o 1 Gbps simétricos según la conexión	Hasta 78 Mbps downstream en una división de 32

Tasa de datos máxima	100 Mbps o 1 Gbps simétricos según la conexión	Hasta 2 Gbps downstream y 1 Gbps upstream
----------------------	--	---

Elaborado por: Autor.

## 2.5. Las Redes Ópticas Pasivas (PON)

Las tecnologías PON son ahora una referencia para las redes de acceso de muy alta velocidad, ya que combinan una capacidad de transporte muy elevada con unos requisitos mínimos de infraestructura de fibra. Estas tecnologías utilizan fibras ópticas pasivas como infraestructura subyacente, ya que los equipos de la parte intermedia de estas redes están inactivos: no reciben energía ni contienen componentes electrónicos. Estas redes proporcionan un servicio de entrega de flujos bidireccionales y multimedia de muy alta velocidad al usuario final, ya sea una empresa o un particular. Las redes PON han sido objeto de procedimientos de normalización a nivel internacional por parte de los principales organismos de normalización, tales como, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), el FSAN (Full Service Access Network) y el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE).

### 2.5.1. Arquitectura de una red óptica pasiva (PON)

La figura 2.6 muestra la representación esquemática de una PON, que comprende de la OLT seguido de la red de distribución óptica (Optical Distribution Network, ODN) al que se conectan múltiples fuentes de servicios (vídeo, Internet y telefonía convencional). Este ODN está a su vez interconectado, a través de fibra óptica, con los usuarios finales (residencias, empresas, etc.) mediante las ONUs u ONTs.

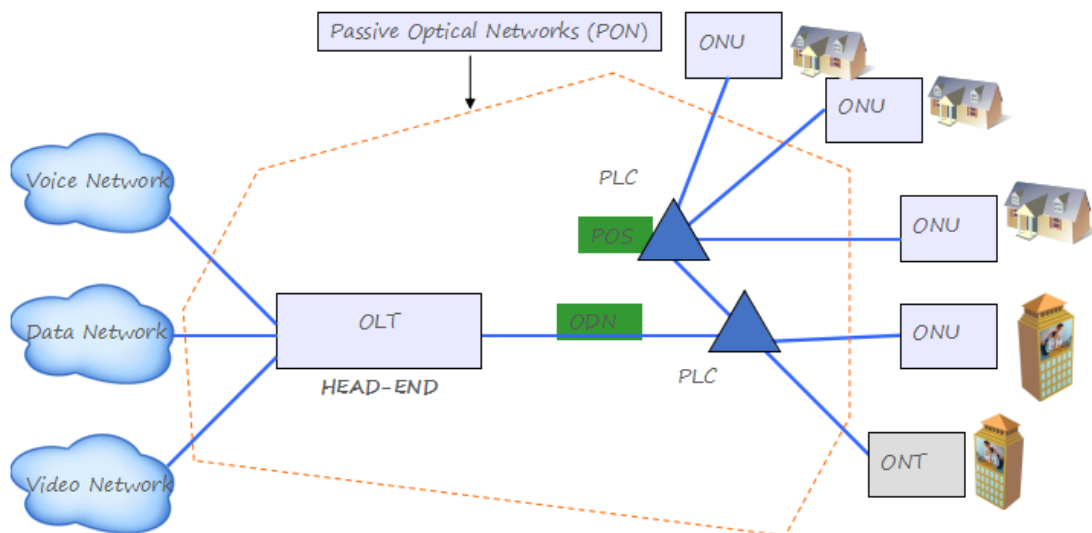


Figura 2. 6: Arquitectura de una red óptica pasiva.

Fuente: (Optictimes, 2018)

Las PONs suelen tener un alcance de 20 km, independientemente de los flujos transportados, lo que en realidad permite cubrir una zona con un radio de 20 km sin ningún repetidor.

## 2.5.2. Los elementos de una red óptica pasiva

La arquitectura de una red PON óptica pasiva se basa en 4 elementos esenciales: OLT, ODN, ONU y el elemento pasivo que es el divisor. (Trinh et al., 2016)

### 🚦 OLT (terminal de enlace óptico)

El OLT es el equipo maestro de acceso óptico para los clientes conectados al FTTx, un punto de recogida para la distribución de servicios como Internet, telefonía y vídeo, este equipo está activo, situado en la oficina central, envía y recibe señales de luz que transportan datos. El transmisor óptico consiste en un módulo cuyo emisor suele ser un diodo LÁSER. un diodo LÁSER. Un receptor que permite adaptar el umbral de decisión del fotodiodo a la a los paquetes de datos recibidos. El LOLT debe cumplir la norma de la UIT.

### 🚦 ODN (red de distribución óptica)

La red de distribución óptica (ODN) es un segmento clave de las redes basadas en la fibra, que conecta la oficina central y el usuario terminal. Su

diseño, proceso de construcción y características de gestión operativa son estratégicos para los operadores: los costes asociados a la ODN representan alrededor del 60% del coste total necesario para conectar un hogar a una red FTTx, y la ODN debe ser fácil de ampliar para cubrir nuevos hogares a largo plazo.

#### **ONT (Terminal de Red Óptica)**

La ONT puede considerarse como un módem óptico al que el cliente conecta su pasarela de acceso de banda ancha. Es un elemento terminal de la red óptica. La ONU se refiere a un elemento terminal genérico de la red de acceso óptico FTTx. La ONT se compone de un módulo, un transmisor óptico basado en un diodo LASER y un fotorreceptor. El ONT es el interlocutor directo del LTO, los ONT transmiten en la misma longitud de onda.

#### **Acoplador óptico (divisor)**

Un divisor es un componente que se integra en la línea y que realiza la función de divisor o concentrador de la transmisión. Se trata de un dispositivo pasivo que no necesita una fuente de alimentación y funciona únicamente en función de la propagación de la luz dentro de la fibra. En la dirección ascendente, el acoplador permite combinar las señales ópticas por adición. En el sentido descendente, divide la señal óptica procedente del LTO. El acoplador no es capaz de enrutar, modificar, retrasar o bloquear las señales que pasan por él. Señales que pasan a través de él.

### **2.5.3. Principio de funcionamiento de una red PON**

Una red óptica pasiva (PON) consta de una red de distribución óptica (ODN) al que se conectan múltiples fuentes de servicios (vídeo, Internet y telefonía convencional). Este OCN está interconectado, mediante fibra óptica, con los usuarios finales.

#### **Dirección ascendente**

Dado que el acoplador es pasivo, y los ONTs transmiten todos a la misma longitud de onda, si las señales de dos ONTs llegaran al acoplador

simultáneamente, saldrían como una mezcla ilegible para el OLT. (Bosternak & Roka, 2017). La figura 2.7 muestra el funcionamiento del canal ascendente en una 10G-EPON con una tasa de transmisión upstream de 10 Gbps.

### 🚦 Dirección descendente

Los datos enviados por el LTO se etiquetan según su destinatario. Todas las ONTs reciben todos los datos, pero sólo la ONT en cuestión los retransmite a la red interna del abonado. El rendimiento instantáneo de la PON se comparte entre todos los abonados que reciben datos. Si un solo abonado realiza una descarga, puede utilizar todo el caudal permitido por el PON (a menos que el operador haya establecido una limitación, por decisión comercial o técnica, con respecto a su red de recogida). La figura 2.7 muestra el funcionamiento del canal descendente en una 10G-EPON con una tasa de transmisión downstream de 10 Gbps.

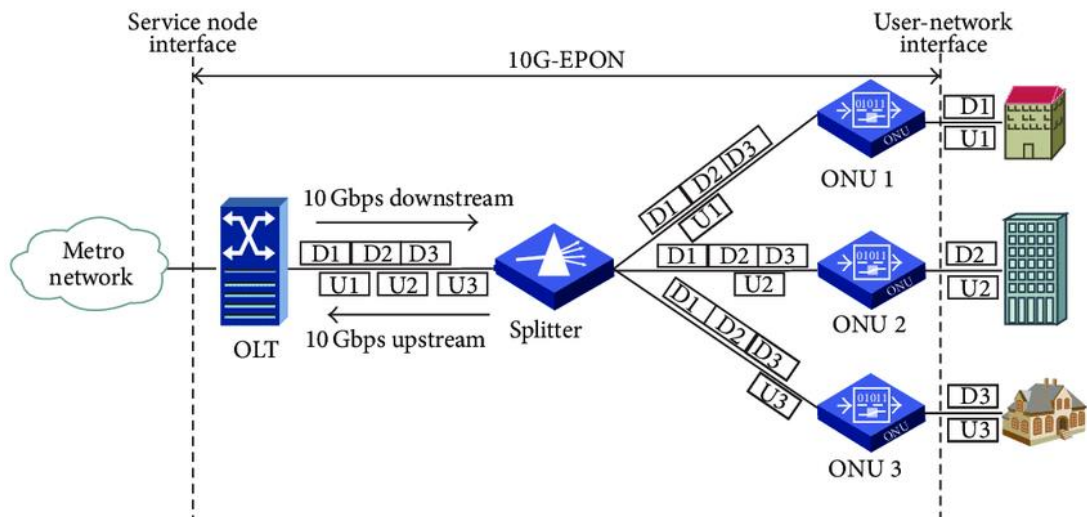


Figura 2. 7: Esquema de funcionamiento de los canales ascendente y descendente en 10G-EPON.

Fuente: (Hu et al., 2014)

## 2.6. Los diferentes estándares de una red PON

La red PON se basa en varias normas, que se clasifican como sigue:

### 2.6.1. Estándar APON

En el tronco FTTH el método preferido es la red óptica pasiva (ATM-PON, APON) que han estandarizado. Se trata simplemente de un sistema punto-multipunto sobre fibra óptica que utiliza ATM como protocolo de



transmisión. Estas normas están definidas por el UIT-T. Con APON, los datos de alta velocidad, la voz y el vídeo pueden ser transportados a los abonados a través de una sola fibra, tal como se muestra en la figura 2.8.

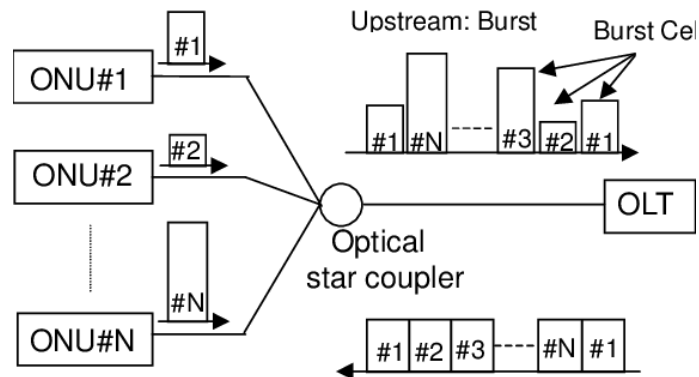


Figura 2. 8: Estructura de una red óptica pasiva ATM (APON)  
Fuente: (Yamashita et al., 2002)

Un sistema APON puede conectar hasta 32 abonados a la red óptica pasiva (PON) y proporcionarles un sistema de acceso flexible y un alto rendimiento (622 Mbps o 155 Mbps en sentido descendente, 155 Mbps en sentido ascendente). En la dirección en sentido descendente se utiliza la multiplexación de celdas ATM, mientras que un protocolo TDMA controla el acceso de los abonados a la red.

### 2.6.2. Estándar BPON

La red óptica pasiva de banda ancha (Broadband PON, BPON) es la extensión de APON para proporcionar otros servicios, como Ethernet y vídeo de difusión. Se trata de una red de distribución de fibra óptica de banda ancha. De hecho, las recientes mejoras de APON incluyen mayor velocidad, WDM, control dinámico del ancho de banda y mayor seguridad de los datos. Los principales bloques de la capa física de la red BPON con superposición de CATV se representan en la figura 2.9.

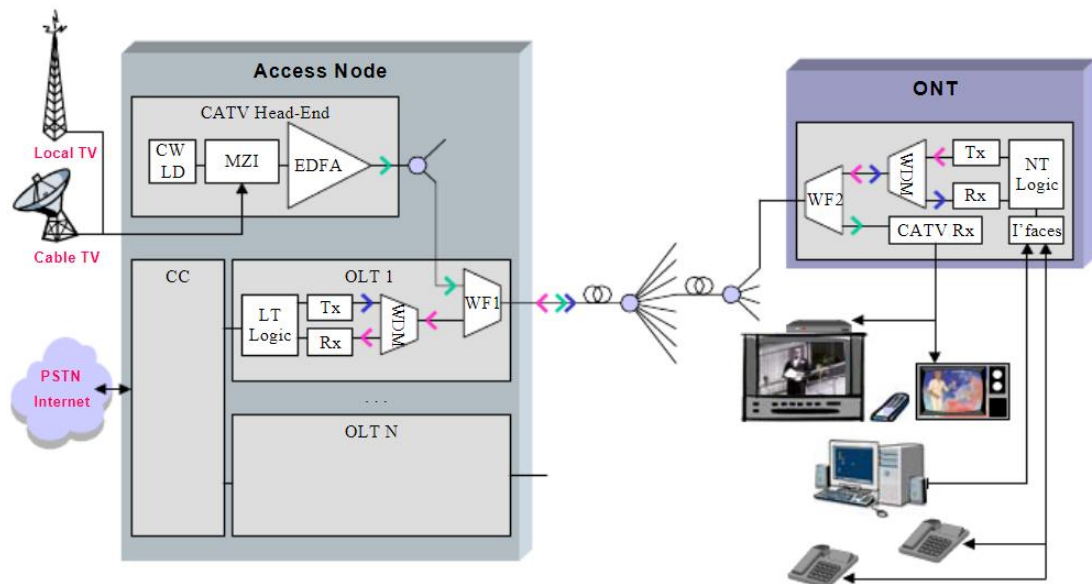


Figura 2. 9: Aplicación práctica de un sistema CATV por WDM superpuesto para la arquitectura BPON.

Fuente: (Bouchat et al., 2002)

Otras características de las redes APON / BPON son:

- ✚ 32 ONUs en una sola PON.
- ✚ La longitud de la fibra puede ser de hasta 20 km.
- ✚ Para voz y datos, las longitudes de onda utilizadas en el enlace descendente y ascendente son de 1490 y 1310 nm respectivamente.
- ✚ Una tercera longitud de onda (1550 nm) puede utilizarse para transportar vídeo digital en sentido descendente.

### 2.6.3. Estándar EPON.

La red óptica pasiva Ethernet (Ethernet PON, EPON) es una red en la que la topología P2M (véase la figura 2.10) se implementa con acopladores ópticos pasivos y fibra óptica como PMD, que se basa en un mecanismo llamado Protocolo de Control Multipunto (MPCP), definido como una función en la subcapa MAC. Para controlar el acceso a una topología P2M, cada unidad de red óptica (ONU) en la topología P2M contiene un elemento MPCP, que se comunica con otro elemento MPCP en el OLT (terminal de línea óptica).

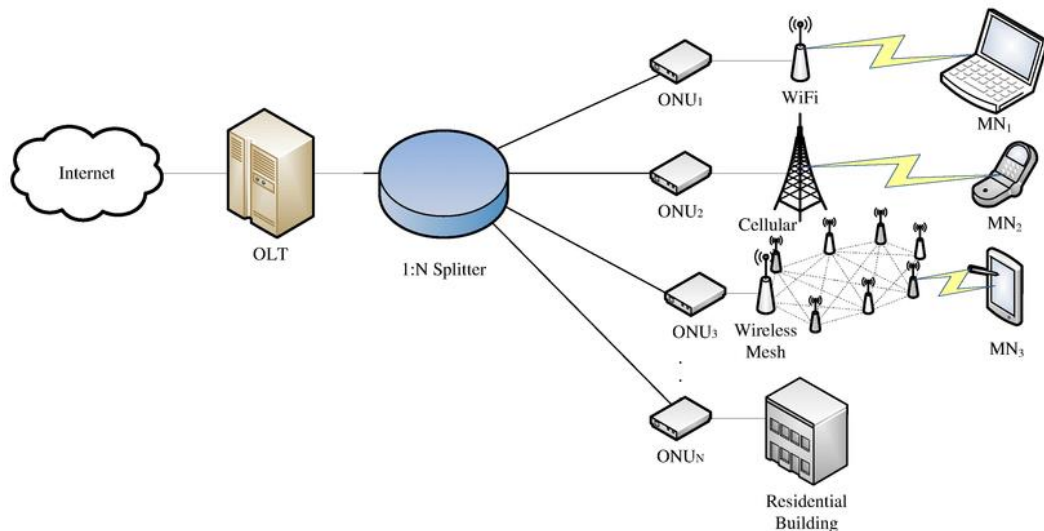


Figura 2. 10: Aplicación práctica de comunicaciones FTTH, inalámbricas fija y móvil para la arquitectura EPON.

Fuente: (Sanchez et al., 2013)

La principal diferencia entre EPON y APON es que en las arquitecturas EPON los datos se transmiten en paquetes de longitudes variables de hasta 1.518 kbytes según el protocolo IEEE 802.3 para Ethernet, mientras que en una APON los datos se transmiten en celdas de longitud fija de 53 bytes (carga útil de 48 bytes y 5 bytes de cabecera), tal como especifica el protocolo ATM. Este formato hace que sea difícil e ineficiente para una red APON transportar el tráfico adecuado para IP. En efecto, en un protocolo IP los datos se segmentan en paquetes de longitudes variables hasta 65.535 kbytes.

Para que una APON pueda transportar tráfico IP, los paquetes deben estar divididos en segmentos de 48 bytes con una cabecera de 5 bytes adjunta a cada uno. Este proceso es largo y complicado y aumenta el coste de las OLTs y las ONUs. Además, se desperdician 5 bytes de ancho de banda por cada segmento de 48 bytes, lo que genera pérdidas que se conocen comúnmente como "tasa de celdas ATM".

#### 2.6.4. Estándar GPON

El progreso de la tecnología, la necesidad de más ancho de banda, además de la insuficiencia de ATM, llevaron a la revisión del estándar APON y al desarrollo de otra solución llamada GPON (Gigabit PON) que fue

estandarizada por la UIT en 2003. La arquitectura GPON ya no se basa en el encuadre ATM, sino en un protocolo mucho más sencillo llamado GFP (Generic Framing Procedure). La mayor ventaja de GPON es que puede soportar varios servicios al mismo tiempo y permite la transmisión de paquetes basados en diferentes protocolos (ATM, IP). Además, en comparación con el estándar BPON, GPON permite la transmisión de hasta 28 Gbps en el sentido descendente y 144 Gbps en el sentido ascendente, aunque sólo utiliza una longitud de onda en este sentido.

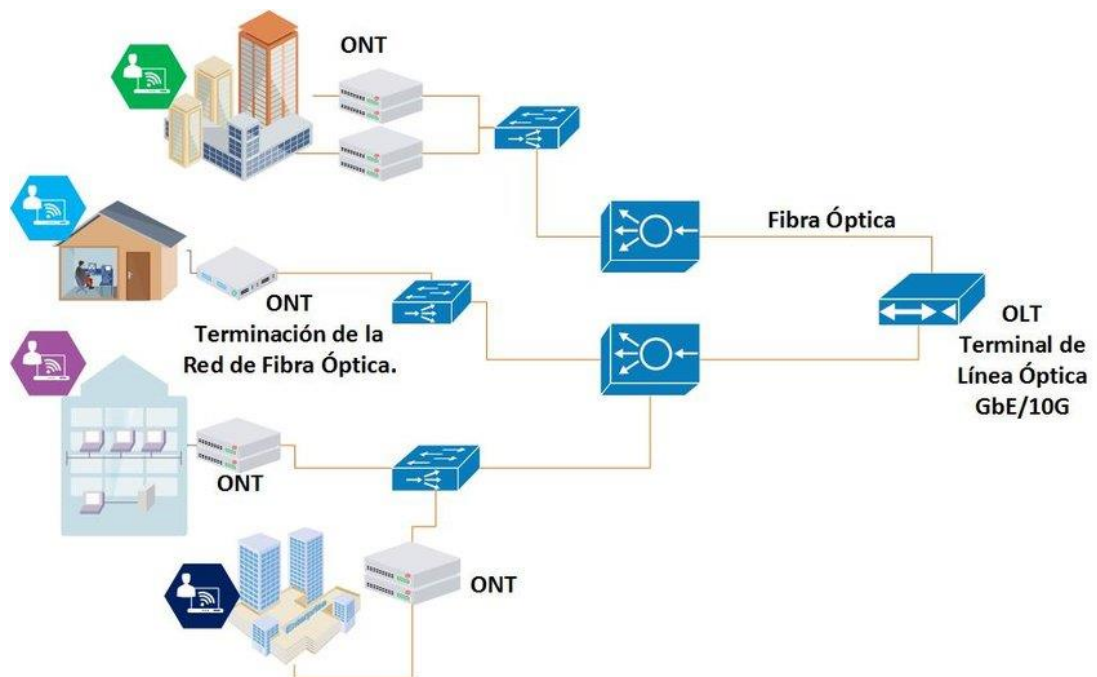


Figura 2. 11: Esquemático de la arquitectura de GPON.  
Fuente: (Conde-Zhingre et al., 2019)

## 2.7. Velocidades de datos que ofrecen las redes ópticas pasivas (PON)

En una red PON, se comparte una velocidad de datos de 1 a 2.5 Gbps entre N usuarios, donde N puede ser hasta 64. Las ONUs tienen interfaces RJ45 estandarizadas y permiten velocidades de datos instantáneas de hasta 1 Gbps. Las arquitecturas PON ofrecen una gran flexibilidad en la asignación del ancho de banda. El ancho de banda se asigna dinámicamente a todos los usuarios que necesitan rendimiento en un momento dado. El resto del ancho de banda disponible se reparte equitativamente entre los usuarios activos respetando la calidad del servicio.

## **2.8. Prestaciones de una red óptica pasiva.**

En esta sección se presentan dos temas relacionados a las prestaciones de una PON, que son la fiabilidad y la seguridad.

### **2.8.1. Fiabilidad de la PON.**

La UIT ha utilizado el principio de redundancia de la red para garantizar la fiabilidad de la PON; en caso de fallo del enlace, pasa al enlace secundario. Para las conexiones sensibles, el acceso se duplica.

### **2.8.2. Seguridad de PON.**

La red PON ofrece un modo de funcionamiento seguro con respecto a los datos confidencialidad. Dispone de mecanismos para que un abonado sólo pueda leer sólo los datos dirigidos a él:

- ✚ Tráfico descendente encriptado: utiliza el algoritmo estandarizado AES de 128 bits en el que cada dispositivo cliente tiene su propia clave privada de cifrado/descifrado. Estas claves son intercambiadas automáticamente por la OLT y la ONU a intervalos regulares.
- ✚ Tráfico ascendente transmite con color óptico de 1310 nm: los módems cliente no tienen forma de detectar esta señal óptica y, por tanto, de leer el tráfico de otros clientes.

Además, los mecanismos de autenticación del ONT para denegar la conexión de un nuevo ONT a la red. Este intento seguirá siendo infructuoso y será detectado automáticamente por una alarma a nivel central.

## **2.9. Ventajas e inconvenientes de una red óptica pasiva (PON)**

La red PON permite alcanzar velocidades de datos muy elevadas minimizando la infraestructura (menos fibra). infraestructura (menos fibras ópticas), tiene algunos puntos positivos:

- ✚ En la red PON se utilizan pocas fibras ópticas.
- ✚ En este tipo de red no se necesitan instalaciones con alimentación, que Esto supone un ahorro en la inversión, el funcionamiento y el mantenimiento.

- ✚ En la oficina central, PON ahorra espacio al compartir espacio compartiendo los puertos de los equipos activos entre varios abonados.

La red PON tiene algunos puntos negativos:

- ✚ Si los cables ópticos utilizados son los mínimos necesarios para un PON, entonces el Si los cables ópticos utilizados son sólo los necesarios para un PON, la capacidad de evolución de la red es limitada. No hay No hay capacidad de reserva de ningún exceso de fibra. No hay capacidad de reserva para el exceso de fibra. nueva infraestructura de alojamiento.
- ✚ Si una red se construye sobre una arquitectura PON estricta, sólo puede compartirse entre varios proveedores de servicios sólo a nivel de transporte: un solo operador El operador gestiona los LTO, y transporta al abonado los datos llevados a la bolsa por proveedores de servicios al abonado.

## **Capítulo 3: Diseño, Implementación y resultados**

En este capítulo se profundiza y se describen los detalles de la implementación de la transmisión bidireccional de GPON y se presentan los pasos utilizados en la simulación del trabajo para mostrar el comportamiento y el rendimiento de la red cuando la señal pasa por todos los elementos.

### **3.1. Visión general del entorno de simulación OptiSystem.**

Los sistemas de comunicación óptica son cada vez más complejos. Las simulaciones por ordenador se han convertido en una parte útil de la modelización matemática de muchos sistemas naturales; desempeñan un papel en el proceso de ingeniería de las nuevas tecnologías para conocer el funcionamiento de estos sistemas.

OptiSystem es un innovador paquete de software de simulación de sistemas de comunicación óptica que diseña, prueba y optimiza prácticamente cualquier tipo de enlace óptico en la capa física de un amplio espectro de redes ópticas. OptiSystem es un producto independiente que no depende de otros sistemas de simulación.

Se trata de un simulador de la capa física basado en la modelización realista de los sistemas de comunicación por fibra óptica y que, además, cuenta con un nuevo y potente entorno de simulación y definición jerárquica de componentes y sistemas. La amplia biblioteca de componentes activos y pasivos incluye parámetros realistas y dependientes de la longitud de onda. Los barridos de parámetros permiten estudiar el efecto de determinadas especificaciones del dispositivo en el rendimiento del sistema. Para realizar las simulaciones del presente capítulo se utiliza la versión 14.0 de OptiSystem-Optiwave.

### **3.2. Configuración y diseño de la red.**

Esta sección describe brevemente la configuración de la simulación en OptiSystem, donde se establecen todos los parámetros necesarios basados

en las propiedades estándar de GPON. La figura 3.1 muestra el esquema de una transmisión bidireccional del sistema GPON.

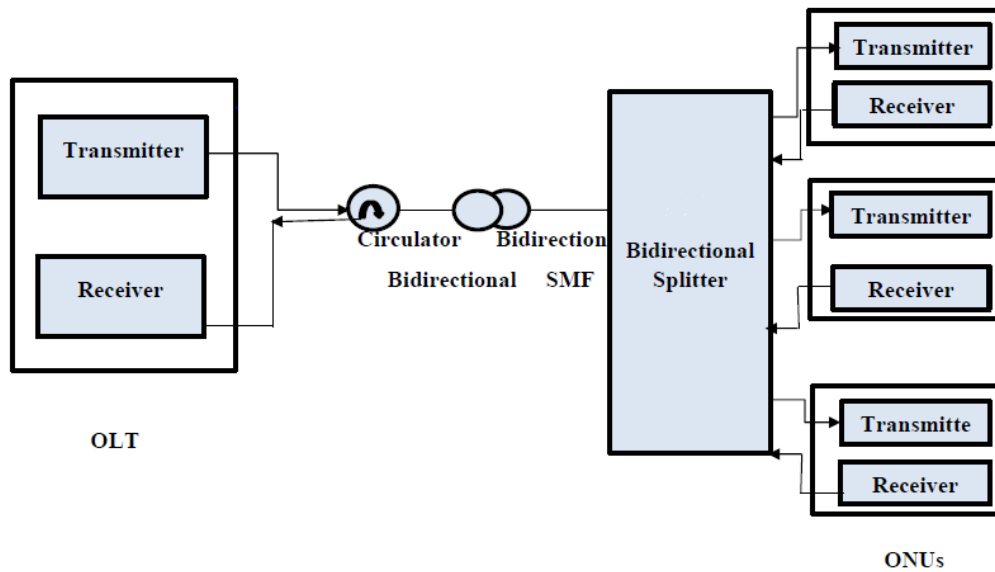


Figura 3. 1: Esquemático de la transmisión bidireccional del sistema GPON.  
Elaborado por: Autor.

Un transmisor y un receptor utilizados en la OLT (terminal de línea óptica) se distribuyen a continuación a varias ONUs (unidades de redes ópticas) mediante un splitter (divisor óptico) pasivo bidireccional. El circulador óptico es utilizado para separar los canales downstream (descendente) y upstream (ascendente) y el retardo óptico es utilizado para garantizar la sincronización correcta del circulador óptico. Las figuras 3.2 y 3.3 muestran los diagramas de bloques del transmisor y del receptor, respectivamente. Para analizar el rendimiento de los canales en sentido descendente y ascendente del sistema GPON, la red construida que se muestra en la figura 3.4.

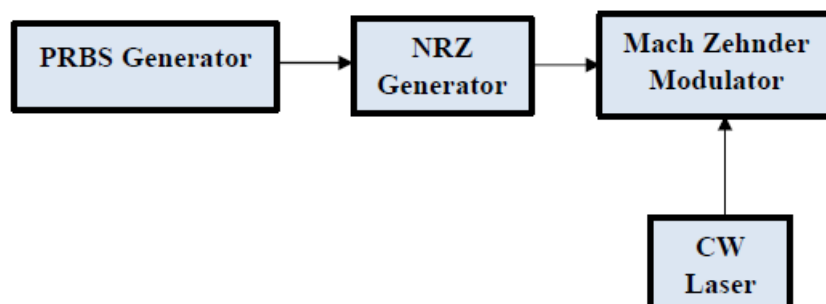


Figura 3. 2: Esquemático del transmisor del sistema GPON.  
Elaborado por: Autor.



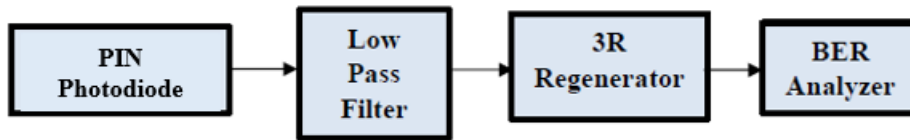


Figura 3. 3: Esquemático del receptor del sistema GPON.  
Elaborado por: Autor.

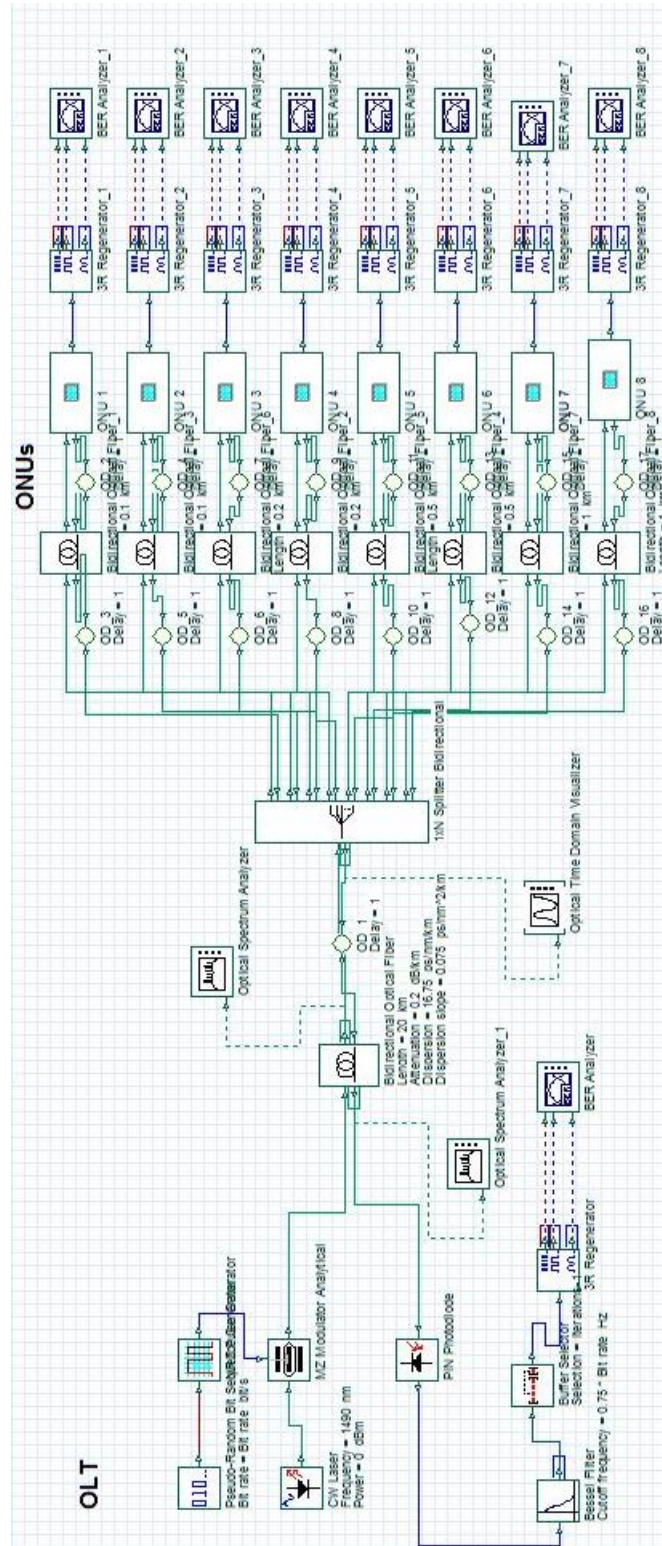


Figura 3. 4: Bloque de construcción.  
Elaborado por: Autor.

En el transmisor (ver figura 3.2), el generador de secuencia de bits pseudoaleatorio (PRBS) genera una secuencia de números y se construye la señal de datos digital. El generador de pulsos sin retorno a cero (NRZ) crea una secuencia de pulsos codificados por una señal de entrada digital. El láser de onda continua (CW) genera una señal óptica de onda continua; el láser se bombea continuamente y emite luz continuamente. La salida del generador de impulsos NRZ y el láser CW son conectadas al modulador Mach-Zehnder (MZM) para convertir la señal eléctrica en una señal óptica.

Ahora en el receptor (véase la figura 3.3), el fotodiodo PIN se utiliza para convertir la señal óptica en una señal eléctrica, luego la señal es filtrada por el filtro Bessel de paso bajo para regenerar la señal deseada. El analizador de la tasa de error de bits (Bit Error Rate, BER) se utiliza para el análisis de los datos.

### **3.3. Descripción del canal descendente del sistema GPON.**

#### **3.3.1. Transmisor**

En la figura 3.2 el transmisor consta de una PRBS que se establece a 2.5 Gbps, que es la velocidad de datos descendente de GPON y luego los datos son codificados a través del código de línea de no retorno a cero (NRZ). La modulación óptica opera en la longitud de onda operativa de GPON para preparar la señal eléctrica para su transporte a través de la fibra bidireccional. La potencia transmitida será establecida en diferentes valores en dBm para probar el rendimiento de la red y el ancho de línea que caracteriza el ancho del intervalo de frecuencia del área de transmisión total se fija en 10 MHz.

El modulador tiene tres puertos, el primer puerto para la modulación eléctrica, el segundo es la entrada láser CW y el tercero es la salida de señal óptica. La relación de extinción del MZM se fijó en 30 dB, que caracteriza la relación de dos niveles de potencia óptica creados por la fuente óptica.

### **3.3.2. Canal bidireccional**

El canal bidireccional consta de un circulador para separar el tráfico descendente y ascendente y un retardo óptico con una unidad para asegurar la sincronización correcta del tráfico. El cable de fibra óptica monomodo (SMF) a una longitud de onda de referencia de 1490 nm, el valor de dispersión y el valor de la pendiente de dispersión se establecieron en 16.75 ps/nm/km, y la pérdida de atenuación en la SMF se establece en 0.2 dB/km.

### **3.3.3. Receptor**

En la figura 3.3 el receptor consta de un fotodetector PIN con una sensibilidad de 1 A/W. La señal es filtrada por el filtro pasa bajo de Bessel con frecuencia de corte de  $0.75T_B$  (donde  $T_B$  es la tasa de bits) y hay una pérdida de potencia debido al filtrado. El regenerador 3R se conecta después de recibir y filtrar la señal. El regenerador 3R tiene tres puertos de salida, el primer puerto de salida es la secuencia de bits, el segundo es una señal de referencia y el último es la señal de salida. Estas tres señales se conectan directamente al medidor de BER para analizar el rendimiento del sistema GPON.

## **3.4. Descripción de los escenarios de simulación en el canal de transmisión descendente.**

### **3.4.4. Escenario 1: potencia variable con longitudes de onda y longitud de fibra fijas**

El primer escenario prueba el rendimiento del sistema GPON tomando diferentes valores de potencia de la OLT de -3 a 0 dBm con una longitud de la SMF de 20 km y longitud de onda de 1490 nm para mostrar cómo el rendimiento del sistema se ve afectado por el aumento de la potencia.

### **3.4.5. Escenario 2: longitud de fibra variable con potencia y longitud de onda fijas**

En este escenario, la potencia transmitida se estableció en 0 dBm con valores aleatorios de longitud de fibra de 10 a 40 km para mostrar cuánto tiempo el sistema tiene un buen rendimiento.

### **3.4.6. Escenario 3: longitud de onda variable con potencia y longitud de fibra fijas**

Este escenario se consideran diferentes valores de la longitud de onda operativa utilizada para la dirección descendente entre 1470 y 1530 nm a potencia fija del láser CW (0 dBm) en la OLT y 20 km de la longitud de la fibra para todas las longitudes de onda para evaluar el rendimiento del sistema.

### **3.5. Descripción del canal ascendente del sistema GPON.**

En sentido ascendente, las señales ópticas de las 8 ONUs viajan desde el transmisor del ONU al receptor del OLT y pasaron a través del divisor óptico 1x8 que permite combinar las señales, luego pasan a través de la fibra SMF bidireccional al receptor del OLT.

#### **3.5.1. Transmisor**

En la figura 3.2 el transmisor consta de una PRBS que se ha establecido en 1.25 Gbps (velocidad de datos ascendente), luego los datos se codifican a través de un generador de impulsos NRZ. La modulación óptica opera en el alcance de la longitud de onda operativa del GPON ascendente para preparar la señal eléctrica para el transporte a través de la fibra bidireccional. En el canal ascendente se tiene más de un transmisor operando en armonía teniendo en cuenta la multiplexación TDMA. Por tanto, se utilizan dos Dynamic Y Select que permitirá pasar la señal solo en un momento determinado y el resto será cero. Para cada uno de Dynamic Y Select, el intervalo de tiempo o el tiempo de conmutación definido para tener los siguientes valores.

a. 1er Dynamic Y Select:

$$T_{sw} = T_s * \left(\frac{1}{T_B}\right) * \left(\frac{L_s}{8}\right)$$

donde,  $T_{sw}$  es el tiempo de conmutación,  $T_s$  es el intervalo de tiempo (Time Slot),  $T_B$  es la velocidad de datos en bits,  $L_s$  es la longitud de secuencia, y 8 representa a la cantidad de ONUs.

b. 2do Dynamic Y Select:

$$T_{sw} = T_s * \left(\frac{1}{T_B}\right) * \left(\frac{L_S}{8}\right) + T_w$$

donde,  $T_w$  es la ventana de tiempo.

### **3.5.2. Canal bidireccional**

Después de las dos selecciones Y dinámicas, las señales combinadas por el divisor bidireccional 1x8 con pérdida de inserción de 1.5 dB y 65 dB para la pérdida de retorno, luego pasan a través de la ruta bidireccional que consta de fibras ópticas monomodo.

### **3.5.3. Receptor**

En el receptor del canal ascendente consta de un fotodetector PIN con una sensibilidad de 1 A/W y la corriente oscura se ha establecido en 10 na, la señal ha sido filtrada por el filtro Bessel de paso bajo con una frecuencia de corte de  $0.75T_B$ . El regenerador 3R se utiliza y se conecta directamente al medidor de BER para analizar el rendimiento del sistema GPON.

## **3.6. Descripción de los escenarios de simulación en el canal de transmisión ascendente.**

### **3.6.1. Escenario 4: potencia variable con longitudes de onda y longitud de fibra fijas**

Este escenario de simulación tiene como objetivo probar el rendimiento tomando diferentes valores de potencia entre -1 y 2 dBm, longitud de onda de 1330 nm a una longitud de SMF de 20 km.

### **3.6.2. Escenario 5: longitud de fibra variable con potencia y longitud de onda fijas**

En este escenario de simulación las potencias en las ONUs se establecieron en 0 dBm con una longitud de onda de 1330 nm y diferentes longitudes de fibra.

### **3.7. Criterios de calidad para la transmisión por fibra óptica**

Para medir el rendimiento de un enlace de fibra óptica, hay algunos criterios a considerar:

#### **3.7.1. Tasa de error de bits (BER).**

La calidad de la transmisión digital binaria es intrínsecamente simple de evaluar, ya que basta con comparar la secuencia de símbolos enviados con la secuencia de símbolos recibidos y contar los errores, es decir, el número de veces que se detecta un 0 para un símbolo emitido 1 o viceversa. Luego la tasa de error de bits (BER) correspondiente al número de errores en el número de bits transmitidos durante la medición es:

$$BER = \frac{N_{BE}}{N_{BT}}$$

donde,  $N_{BE}$  es el número de bits erróneos, y  $N_{BT}$  es el número de bits transmitidos.

#### **3.7.2. Diagrama del ojo**

La evaluación de las imperfecciones del canal se realiza observando un "ojo" obtenido al ver la señal recibida en un osciloscopio. El principio general es que cuanto más pequeña es el área central, peor es la calidad de la señal recibida, menor es el factor de calidad y, por lo tanto, más difícil es la detección de la señal libre de errores. Por tanto, el diagrama de ojo es un medio visual excelente para juzgar la calidad de la señal dentro de los límites de la respuesta del fotodiodo y del osciloscopio utilizado.

#### **3.7.3. Factor de calidad Q**

Este es el factor que define la calidad de cualquier señal que tenga promedios y ruido de varianza incluso si este último no sigue una ley gaussiana. Este es también el valor mínimo de la relación señal a ruido (S/N) para obtener una BER determinada.

### 3.8. Análisis de los resultados obtenidos.

#### 3.8.1. Análisis de resultados de simulación del escenario 1.

En este escenario se realizaron varias pruebas de simulación de la potencia de las ONUs con relación a la separación con el splitter (divisor óptico) en la que se obtiene la BER mínima y el factor Q máximo en el primer escenario de simulación. En las tablas 3.1 y 3.2 se muestran los datos recopilados de las cinco pruebas realizadas para una separación de 100 m y 1 km entre la ONU y el splitter para el rango de potencia de -1.5 dBm a -3.5 dBm. Se pueden observar los datos de las tablas 3.1 y 3.2 que a medida que la potencia disminuye tanto la BER como el factor Q también disminuye. Las figuras 3.5 y 3.6 muestran las gráficas del diagrama de ojo para una potencia de -3.5 dBm y cuyos factores Q son 6.73 y 6.34 respectivamente.

Tabla 3. 1: Resultados obtenidos del escenario de simulación 1 de las ONUs a 100 m del divisor óptico.

Potencia (dBm)	BER mínimo	Factor Q máximo
-1.5	$3.89 \times 10^{-32}$	11.74
-2.0	$8.54 \times 10^{-22}$	9.52
-2.5	$6.91 \times 10^{-18}$	8.54
-3.0	$9.41 \times 10^{-13}$	7.04
-3.5	$8.57 \times 10^{-12}$	6.73

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 2: Resultados obtenidos del escenario de simulación 1 de las ONUs a 1 km del divisor óptico.

Potencia (dBm)	BER mínimo	Factor Q máximo
-1.5	$3.38 \times 10^{-25}$	10.30
-2.0	$1.22 \times 10^{-21}$	9.48
-2.5	$2.32 \times 10^{-16}$	8.12
-3.0	$4.27 \times 10^{-15}$	7.76
-3.5	$1.16 \times 10^{-10}$	6.34

Elaborado por: Autor.

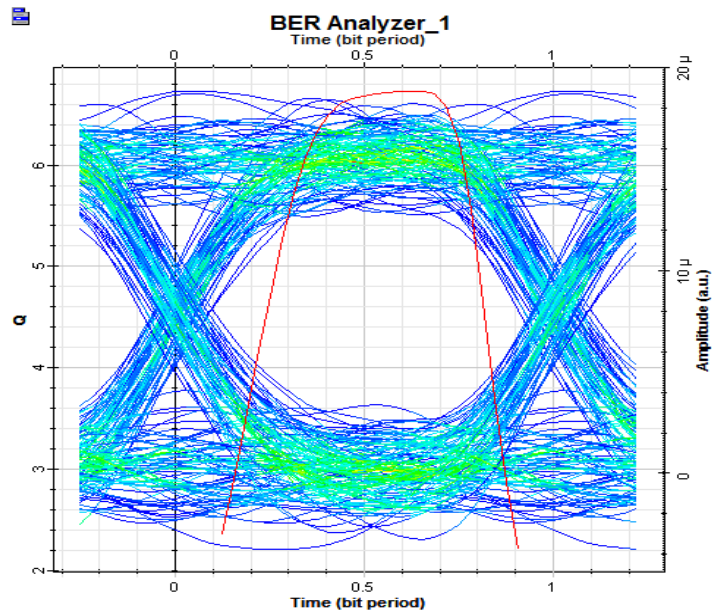


Figura 3. 5: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 1 para 100 m.  
Elaborado por: Autor.

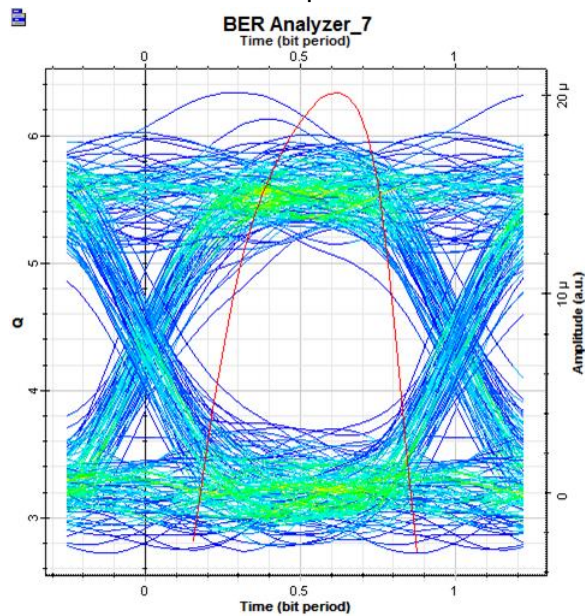


Figura 3. 6: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 1 para 1 km.  
Elaborado por: Autor.

Como ya se mencionó, a medida que aumenta la potencia, la BER y el factor Q tienen mejores valores; y debido a una alta relación S/N disminuye la BER y aumenta el factor Q, tal como se observan en las figuras 3.7 y 3.8. Cuando se aumentan los valores de BER hay menos distorsión.



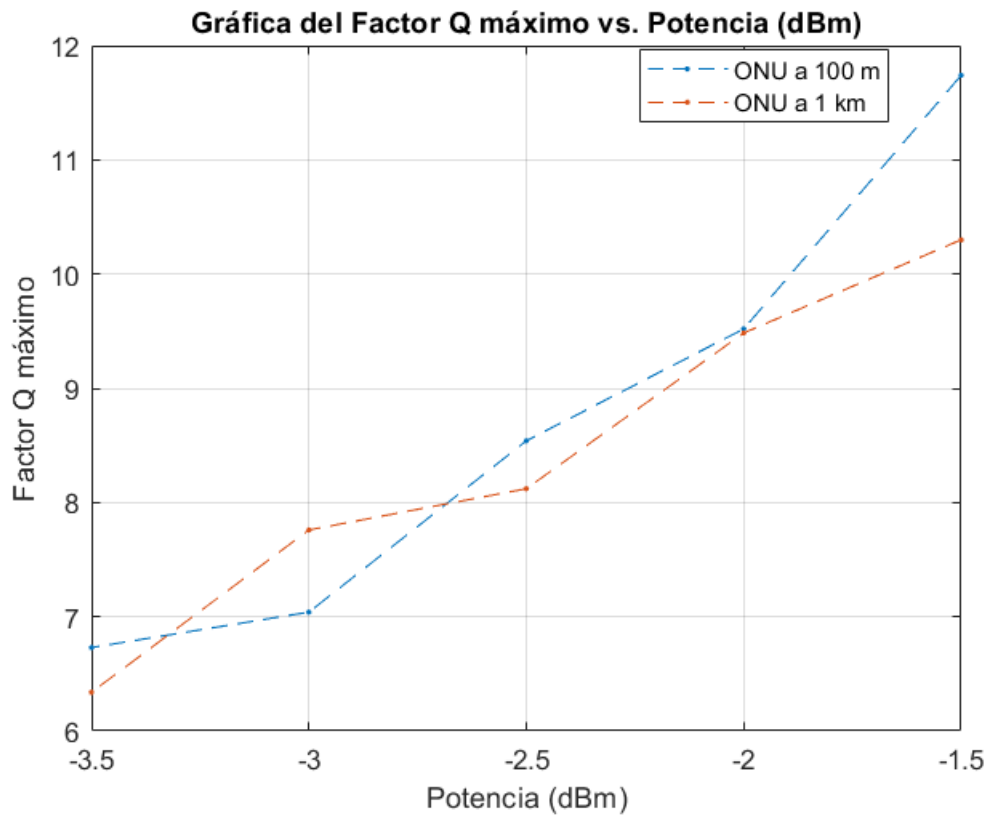


Figura 3. 7: Variaciones del factor Q vs. potencia de transmisión en escenario 1.  
Elaborado por: Autor.

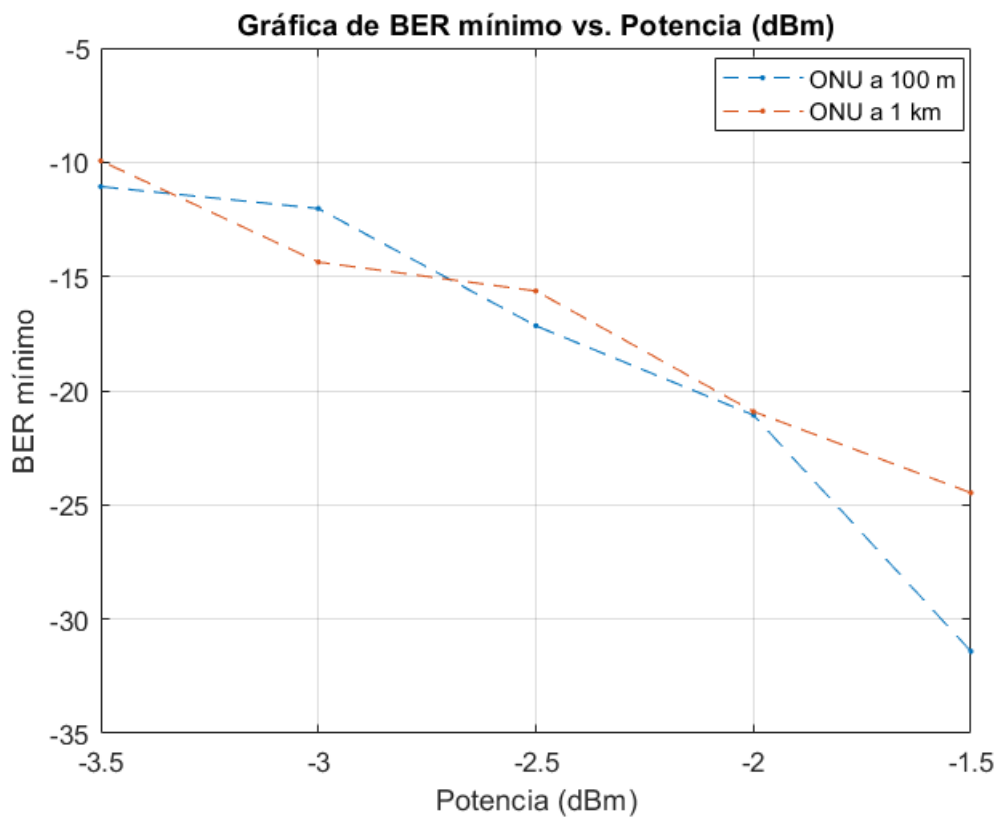


Figura 3. 8: Variaciones de BER vs. potencia de transmisión en escenario 1.  
Elaborado por: Autor.

### 3.8.2. Análisis de resultados de simulación del escenario 2.

En este escenario se realizaron varias pruebas de simulación variando la longitud del enlace entre 10 y 40 km para las ONUs con relación a la separación con el splitter (divisor óptico) en la que se obtiene la BER mínima y el factor Q máximo en el segundo escenario de simulación. En las tablas 3.3 y 3.4 se muestran los datos recopilados de las cuatro pruebas realizadas para una separación de 100 m y 1 km entre la ONU y el splitter para el rango de enlace de 10 a 40 km.

Tabla 3. 3: Resultados obtenidos del escenario de simulación 2 de las ONUs a 100 m del divisor óptico.

<b>Distancia (km)</b>	<b>BER mínimo</b>	<b>Factor Q máximo</b>
10	$8,49 \times 10^{-123}$	23,54
20	$1,26 \times 10^{-50}$	14,92
30	$4,15 \times 10^{-22}$	9,60
40	$1,09 \times 10^{-10}$	6,35

Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 4: Resultados obtenidos del escenario de simulación 2 de las ONUs a 1 km del divisor óptico.

<b>Distancia (km)</b>	<b>BER mínimo</b>	<b>Factor Q máximo</b>
10	$1,36984 \times 10^{-94}$	20,6001
20	$3,31994 \times 10^{-45}$	14,0605
30	$7,15701 \times 10^{-23}$	9,77526
40	$7,52983 \times 10^{-10}$	6,04367

Elaborado por: Autor.

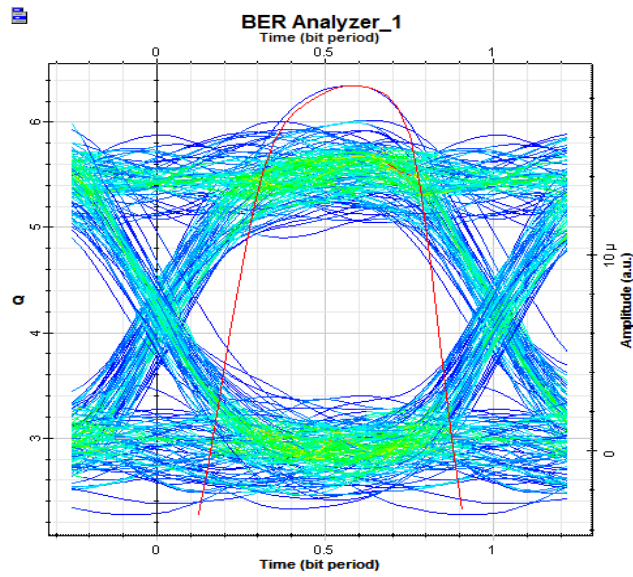


Figura 3. 9: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 2 para 100 m.  
Elaborado por: Autor.

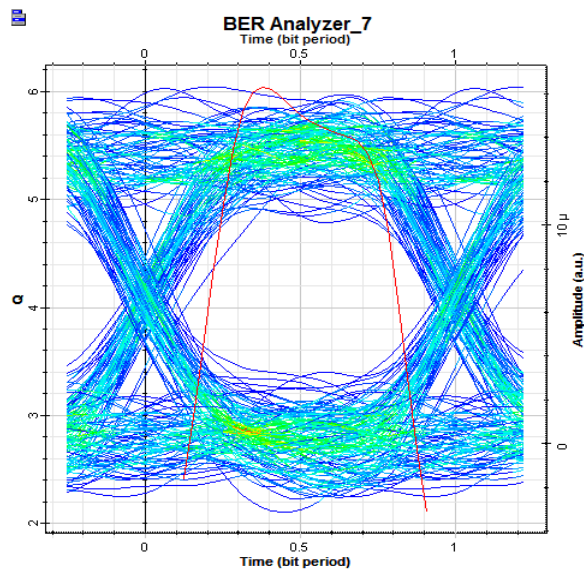


Figura 3. 10: Diagrama de ojo (BER y Factor Q) del escenario 2 para 1 km.  
Elaborado por: Autor.

Las figuras 3.9 y 3.20 muestran los diagramas de ojo obtenidos en la simulación del segundo escenario en el que se varía la longitud del enlace de transmisión. La figura 3.9 se observa que el valor del factor Q máximo es 6.35, mientras que la figura 3.10 se muestra un factor Q máximo de 6.04. Los resultados obtenidos (véanse las tablas 3.3 y 3.4) en el escenario de simulación 2 ilustran la BER y el factor Q tomando valores de distancia aleatorios (entre 10 y 40 km).

Al principio, los valores obtenidos de la BER no se ven afectados por la distancia del enlace óptico, y luego empiezan a incrementarse cuando se aumenta la distancia del enlace, tal como se observa en la figura 3.12. Por otro lado, los valores del factor Q se ven afectados por los valores de la distancia, es decir, que estos disminuyen cuando se incrementa la distancia del enlace debido a las pérdidas, tal como se muestra en la figura 3.11.

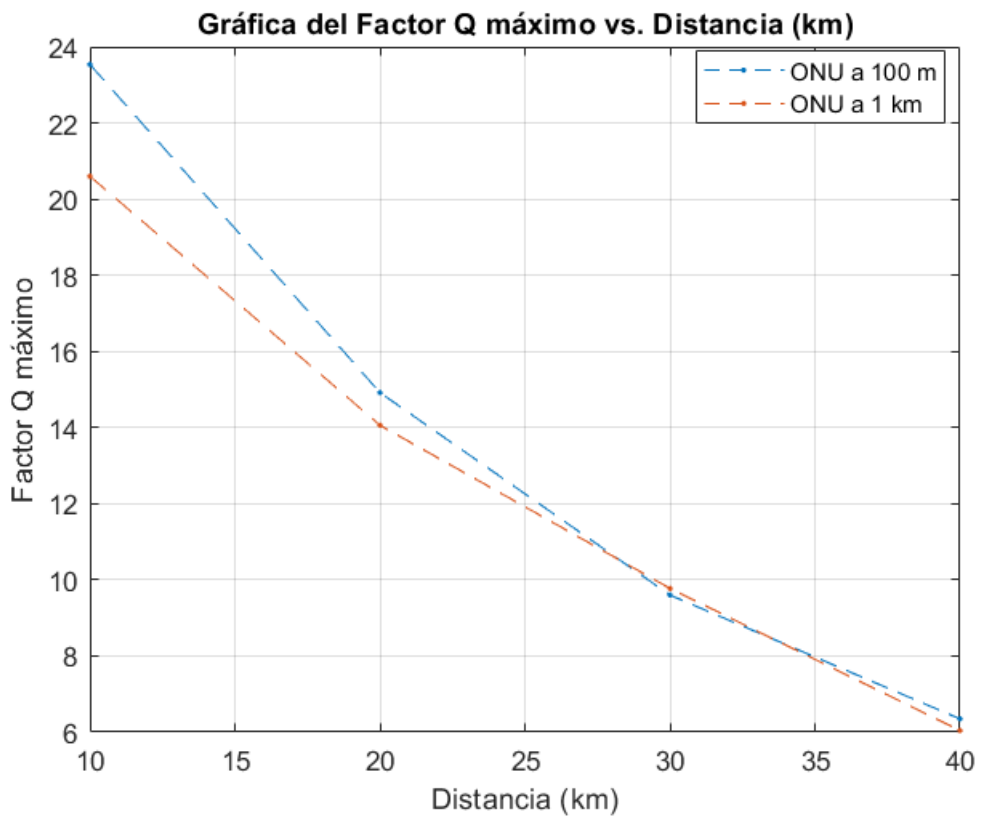


Figura 3. 11: Variaciones del factor Q vs. Distancia en escenario 2.  
Elaborado por: Autor.

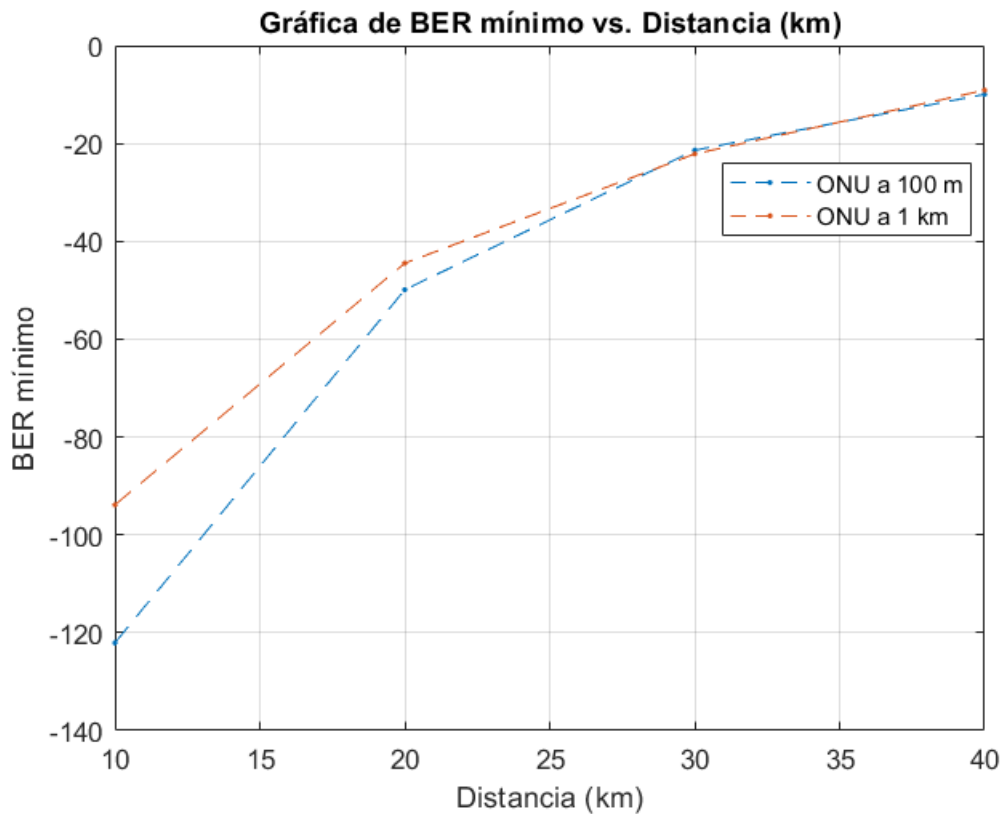


Figura 3. 12: Variaciones de BER vs. Distancia (km) para escenario 2.  
Elaborado por: Autor.

### 3.8.3. Análisis de resultados de simulación del escenario 3.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos de la BER mínima y el factor Q máximo a un enlace de 20 km y potencia de 0 dBm para varios valores de longitud de onda (véase la tabla 3.5). Se ha observado que las variaciones del factor Q y de la BER no se ajustan linealmente a la variación de la longitud de onda, tal como se ilustra en la tabla 3.5.

Tabla 3. 5: Resultados obtenidos del escenario de simulación 3.

Longitud de onda (nm)	BER mínimo	Factor Q máximo
1470	$3,39 \times 10^{-54}$	15,46
1480	$4,14 \times 10^{-53}$	15,29
1490	$1,86 \times 10^{-52}$	15,20
1500	$7,85 \times 10^{-50}$	14,80

Elaborado por: Autor.

### 3.8.4. Análisis de resultados de simulación del escenario 4.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para el enlace ascendente. Es decir, que se debe analizar la potencia variable con

longitudes de onda y de fibra fijas. Resultados de la BER mínima y el factor Q máximo a 1330 nm, 20 km para varios valores de potencia.

Tabla 3. 6: Resultados obtenidos del escenario de simulación 4.

<b>Potencia (dBm)</b>	<b>BER mínimo</b>	<b>Factor Q máximo</b>
2	$2,98248 \times 10^{-17}$	8,36587
1	$4,99393 \times 10^{-17}$	8,30457
0	$4,921 \times 10^{-11}$	6,46906
-1	$3,77257 \times 10^{-8}$	5,37712

Elaborado por: Autor.

### 3.8.5. Análisis de resultados de simulación del escenario 5.

En esta sección se muestran los resultados obtenidos para una longitud de fibra variable con relación a la longitud de onda y potencia fijas. Los resultados de la BER mínima y el factor Q máximo a 1330 nm, 0 dBm para varias longitudes de fibra se muestran en la tabla 3.7. En este escenario, al aumentar la distancia, la BER aumenta y el factor Q disminuye. Sin embargo, en la tabla se observa que la BER tiene un valor alto y el factor Q tiene un valor bajo más allá de 30 km.

Tabla 3. 7: Resultados obtenidos del escenario de simulación 5.

<b>Distancia del enlace (km)</b>	<b>BER mínimo</b>	<b>Factor Q máximo</b>
10	$1,31246 \times 10^{-30}$	11,4401
20	$9,33963 \times 10^{-15}$	7,6594
30	$5,60462 \times 10^{-07}$	4,86911
40	0,00131877	3,00662

Elaborado por: Autor.

### 3.9. Implementación de un modelo de red GPON.

En esta sección se estudia y analiza el aspecto real de un modelo de red óptica pasiva con alta capacidad (GPON) añadiendo ruido en la señal recibida a nivel de la ONU. Para generar el ruido en la simulación de una GPON real se ha utilizado el componente "White Light Source", tal como se observa en la figura 3.13. En este apartado, se estudia el efecto del ruido en la calidad de la señal, no pudiendo superar los 20 km de alcance, fijando la velocidad descendente en 2.5 Gbps y la ascendente en 1.25 Gbps utilizando

una potencia de 0 dBm. La tabla 3.8 muestra los resultados obtenidos del escenario de simulación 5 entre 10 y 40 km de distancia del enlace óptico.

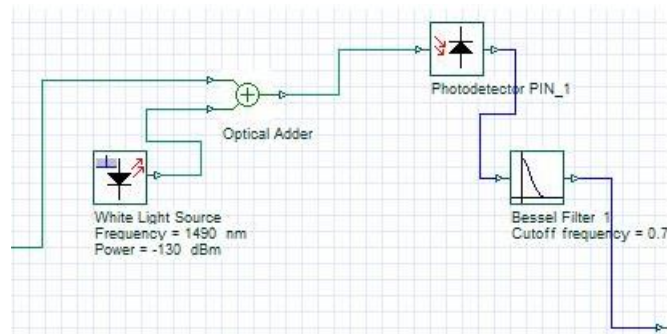


Figura 3. 13: Ruido blanco añadido en la ONU del sistema GPON propuesto.  
Elaborado por: Autor.

Tabla 3. 8: Resultados obtenidos del escenario de simulación 5.

Distancia del enlace (km)	BER mínimo	Factor Q máximo
5	$8,97 \times 10^{-22}$	9,50
10	$5,11 \times 10^{-15}$	7,72
15	$4,40 \times 10^{-12}$	6,80
20	$2,69 \times 10^{-09}$	5,81

Elaborado por: Autor.

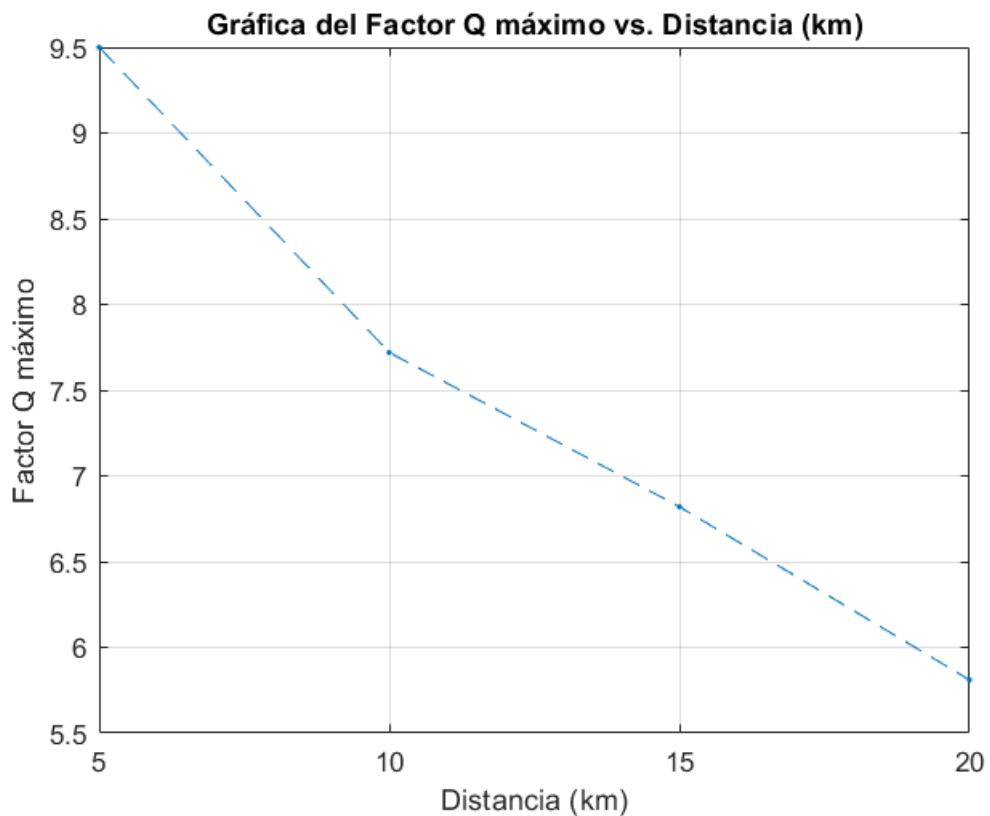


Figura 3. 14: Variación del factor Q vs. Distancia para el escenario 5.  
Elaborado por: Autor.

## **Conclusiones.**

- La tecnología GPON minimiza los costes de la red, el consumo de energía y los requisitos de mantenimiento, y también proporciona más ancho de banda.
- Se analizó el rendimiento de GPON utilizando fibra compartida entre los datos de bajada y subida para 8 usuarios y un LTO utilizando el software OptiSystem tomando diferentes valores de potencia transmitida, longitud de cable de fibra y longitudes de onda de funcionamiento con múltiples escenarios.
- Se evaluaron los resultados obtenidos en función de la BER, el factor Q y el diagrama de ojo obtenido, y se observó que el escenario de la potencia afectó a la mayor parte de los resultados anteriores y posteriores en comparación con otros escenarios.



## **Recomendaciones.**

- Evaluación de una GPON de transmisión bidireccional de 10 Gbps basada en una sola fibra utilizando el software OptiSystem.
- Análisis de las tecnologías de redes ópticas pasivas de multiplexación por longitud de onda (WDM-PON) para las futuras redes de acceso

## Bibliografía

- Abdellaoui, Z., Dieudonne, Y., & Aleya, A. (2021). Design, implementation and evaluation of a Fiber To The Home (FTTH) access network based on a Giga Passive Optical Network GPON. *Array*, 10, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.array.2021.100058>
- Azodolmolky, S., & Tomkos, I. (2021). *A techno-economic study for active Ethernet FTTH deployments*.
- Bosternak, Z., & Roka, R. (2017). Approach of the T-CONT Allocation to Increase the Bandwidth in Passive Optical Networks. *Radioengineering*, 26(4), 954–960. <https://doi.org/10.13164/re.2017.0954>
- Bouchat, C., Dessauvages, C., Fredricx, F., Hardalov, C., Schoop, R., & Vetter, P. (2002). *WDM-upgraded PONS for FTTH and FTTBusiness*.
- Conde-Zhingre, L. E., Hernandez, W., Quezada-Sarmiento, P. A., & Navarro - Penaherrera, C. P. (2019). GPON as a contribution to the construction of Smart Cities. *2019 14th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*, 1–6. <https://doi.org/10.23919/CISTI.2019.8760705>
- Horvath, T., Munster, P., Oujezsky, V., & Bao, N.-H. (2020). Passive Optical Networks Progress: A Tutorial. *Electronics*, 9(7), 1081. <https://doi.org/10.3390/electronics9071081>
- Hu, X., Wang, L., Zhang, Z., & Chen, X. (2014). Heavy Traffic Feasible Hybrid Intracycle and Cyclic Sleep for Power Saving in 10G-EPON. *The Scientific World Journal*, 2014, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2014/497379>

- Jay, S., Plueckebaum, T., & Ilic, D. (2010). *Modelling the impact of Next Generation Access (NGA) on voice termination cost*.
- Optictimes. (2018). *The Nature and Advantages of PON Network*. Hangzhou Runzhou Fiber Technologies Co.,Ltd. <https://www.ftthtec.com/news/the-nature-and-advantages-of-pon-network-17772741.html>
- Radivojević, M., & Matavulj, P. (2017). Introduction. En M. Radivojević & P. Matavulj, *The Emerging WDM EPON* (pp. 1–34). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-54224-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-54224-9_1)
- Sanchez, M., Uruena, M., De La Oliva, A., Hernandez, J., & Bernardos, C. (2013). On providing mobility management in WOBANs: Integration with PMIPv6 and MIH. *IEEE Communications Magazine*, 51(10), 172–181. <https://doi.org/10.1109/MCOM.2013.6619581>
- Shah, P. M. A., Qureshi, S. S., Butt, R. A., Mahdaliza Idrus, S., & Mirza, J. (2021). Design and analysis of 5G network architecture with orthogonal frequency division multiple access based passive optical network. *Optical Fiber Technology*, 67, 102678. <https://doi.org/10.1016/j.yofte.2021.102678>
- Trinh, P. V., Dang, N. T., Thang, T. C., & Pham, A. T. (2016). Performance of All-Optical Amplify-and-Forward WDM/FSO Relaying Systems over Atmospheric Dispersive Turbulence Channels. *IEICE Transactions on Communications*, E99.B(6), 1255–1264. <https://doi.org/10.1587/transcom.2015EUP0004>
- Usman, A., Zulkifli, N., Salim, M. R., Khairi, K., & Azmi, A. I. (2020). Optical link monitoring in fibre-to-the-x passive optical network (FTTx PON): A comprehensive survey. *Optical Switching and Networking*, 39, 100596. <https://doi.org/10.1016/j.osn.2020.100596>

Weinstein, S. (2016). Introduction to digital transmission. En *Academic Press Library in Mobile and Wireless Communications* (pp. 1–48). Elsevier.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398281-0.00001-6>

Yamashita, S., Ide, S., Mori, K., Hayakawa, A., Ueno, N., & Tanaka, K. (2002). Novel cell-AGC technique for burst-mode CMOS preamplifier with wide dynamic range and high sensitivity for ATM-PON system. *IEEE Journal of Solid-State Circuits*, 37(7), 881–886.  
<https://doi.org/10.1109/JSSC.2002.1015686>



Presidencia  
de la República  
del Ecuador



Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Encalada Sotomayor, Jefferson Paul** C.C: # 070332024-2 autor del trabajo de titulación: Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON), previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

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

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

Guayaquil, 10 de noviembre del 2021

f. \_\_\_\_\_

**Nombre: Encalada Sotomayor, Jefferson Paul**

C.C: 070332024-2

## **REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA**

### **FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN**

<b>TÍTULO Y SUBTÍTULO:</b>	Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)		
<b>AUTOR(ES)</b>	Encalada Sotomayor, Jefferson Paul		
<b>REVISOR(ES)/TUTOR(ES)</b>	M. Sc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; M. Sc. Zamora Cedeño, Néstor / M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
<b>INSTITUCIÓN:</b>	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
<b>FACULTAD:</b>	Sistema de Posgrado		
<b>PROGRAMA:</b>	Maestría en Telecomunicaciones		
<b>TÍTULO OBTENIDO:</b>	Magister en Telecomunicaciones		
<b>FECHA DE PUBLICACIÓN:</b>	10 de noviembre del 2021	<b>No. DE PÁGINAS:</b>	60
<b>ÁREAS TEMÁTICAS:</b>	Sistemas de Transmisión Ópticos, Comunicaciones Inalámbricas		
<b>PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:</b>	Radio, Fibra, Comunicaciones, Modulación, Multiplexación, Simulación		

RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):

En el presente documento se desarrolla la investigación del trabajo final de maestría denominado “Diseño de escenarios de simulación de la transmisión ascendente/descendente en una red óptica pasiva gigabit (GPON)”. Este tipo de transmisión se utiliza en las comunicaciones de fibra hasta el hogar, conocidas como FTTH en una GPON. La FTTH consiste en transportar una señal de comunicaciones por fibra desde el equipo de conmutación del operador o del ISP hasta el hogar o la empresa, sustituyendo la infraestructura de cobre existente, como los cables telefónicos y el cable coaxial. GPON utiliza un protocolo basado en IP y codificación ATM o GEM (método de encapsulación de GPON). Especifica velocidades de datos de hasta 2,5 Gbps y es muy flexible en cuanto a los tipos de tráfico que transporta. La GPON permite un servicio triple play (voz-datos-video) y es la base de la mayoría de las aplicaciones FTTP previstas en un futuro próximo.

<b>ADJUNTO PDF:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO
<b>CONTACTO CON AUTOR/ES:</b>	<b>Teléfono:</b> +593 98 625 6432	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:j83en@hotmail.com">j83en@hotmail.com</a>
<b>CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):</b>	<b>Nombre:</b> Manuel Romero Paz	
	<b>Teléfono:</b> 0994606932	
	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec">manuel.romero@cu.ucsg.edu.ec</a>	
<b>SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA</b>		
<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>		
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>		
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>		