



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TEMA:

**Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación
OTDM.**

AUTOR:

Landa Llerena, Johnnathan Daniel

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de

INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

19 de septiembre 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de Integración Curricular fue realizado en su totalidad por el Sr. **Landa Llerena Johnnathan Daniel** como requerimiento para la obtención del título de **INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DE CARRERA

M. Sc. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Landa Llerena, Johnnathan Daniel**

DECLARO QUE:

El trabajo de integración curricular, **Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación OTDM**, previo a la obtención del Título de Ingeniero 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 del Trabajo de Integración Curricular referido.

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

Landa Llerena, Johnnathan Daniel



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

AUTORIZACIÓN

Yo, **Landa Llerena, Johnnathan Daniel**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Integración Curricular: Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación OTDM, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 19 días del mes de septiembre del año 2022

EL AUTOR

Landa Llerena, Johnnathan Daniel

REPORTE DE URKUND

URKUND Fernando Palacios Meléndez (edwin_palacios)

Documento	TIC LANDA LLERENA.docx (D143678753)
Presentado	2022-09-06 11:34 (-05:00)
Presentado por	fernandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión Urkund del TIC Daniel Landa Mostrar el mensaje completo 1% de estas 26 páginas, se componen de texto presente en 4 fuentes.

Lista de fuentes	Bloques	Enlace/nombre de archivo
+	>	UNIVERSIDAD ESTATAL DE BOLÍVAR / D56631897
+		Universidad Católica de Santiago de Guayaquil / D13773433
+		ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO / D5720...
+		UNIVERSIDAD DE GUAYAQUIL / D130502563
+		ESCUELA POLITÉCNICA DEL LITORAL / D15235008
+		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE MACHALA / D13072056

1 Advertencias. Reiniciar. Compartir

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

TEMA: Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación OTDM.

AUTOR: Landa Llerena, Johnnathan Daniel

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de INGENIERO EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR: M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

8 de septiembre 2022

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DEDICATORIA

Este trabajo de titulación está dedicado a mi abuelita o como le dijo de cariño Mami Clarita Flores, ella siempre ha estado para mí desde que tengo memoria y siempre ha sido mi apoyo incondicional para todo, me ha inculcado valores, enseñanzas, respeto y sobre todo cariño. Me ha dado las fuerzas para poder cumplir con mis metas y propósitos en la vida y para poder culminar con el trabajo de titulación con dedicación y paciencia.

Te dedico el trabajo de titulación por creer en mi desempeño, esfuerzo y sobre todo en mis habilidades y conocimientos adquiridos a lo largo de mi formación profesional.

EL AUTOR

Landa Llerena, Johnnathan Daniel

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi madre, hermanos y Tío Gonzalo que me han dado el estímulo para poder culminar mi carrera profesional a lo largo de esta etapa de estudios. Para mi Tío Gonzalo agradecerle por todos los consejos dados para que continúe con los estudios, porque es un factor muy indispensable en la vida. Le agradezco a todos por su ayuda incondicional para poder cumplir con mi culminación del trabajo de titulación, por su paciencia y comprensión a la hora de mi elaboración y redacción del trabajo.

EL AUTOR

Landa Llerena, Johnnathan Daniel



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

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

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f.

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESUS

DECANO

f.

M. SC. VELEZ TACURI, EFRAIN OLIVERIO

COORDINADOR DEL ÁREA

f.

M. Sc. ROMERO ROSERO, CARLOS BOLIVAR

OPONENTE

Índice General

Índice de Figuras	XI
Índice de Tablas.....	XIII
RESUMEN	XIV
Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Integración Curricular	2
1.1 Introducción	2
1.2 Antecedentes.....	3
1.3 Definición del Problema.....	3
1.4 Justificación del Problema	4
1.5 Objetivos del Problema de Investigación	4
1.5.1 Objetivo General	4
1.5.2 Objetivos Específicos	4
1.6 Hipótesis.....	4
1.7 Metodología de Investigación	4
Capítulo 2: Fundamentación Teórica de las redes de fibra óptica	6
2.1 Fibra Óptica	6
2.2 Estructura de cable de fibra óptica	7
2.3 Ventajas de Transmisión de fibra óptica.....	7
2.3.1 Inmunidad a las interferencias electromagnéticas	9
2.3.2 Seguridad de los datos.....	10
2.3.3 Facilidad de instalación	10
2.4 Diferencia entre fibra monomodo y multimodo	11
2.4.1 Fibra Multimodo.....	12
2.4.2 Fibra monomodo	16
2.5 Redes Pasivas.....	17
2.6 Componentes de la red PON.....	19
2.6.1 Terminal de línea óptica (OLT).....	20
2.6.2 Unidad de red óptica (ONU).....	21
2.6.3 Terminal de red óptica (ONT).....	21
2.6.4 Red de distribución óptica (ODN).....	22
2.7 Evolución de la normalización de las redes PON	22
2.8 Técnicas de multiplexación para redes PON.....	25
2.8.1 Multiplexación Por División De Tiempo Óptico.....	25
2.8.2 Multiplexación por división de longitud de onda	26

Capítulo 3: Análisis de NG-PON2.....	27
3.1 Estándares PON de próxima generación (NG-PON2).....	27
3.2 Arquitectura NG-PON2	28
3.2.1 Planes de longitud de onda para NG-PON 2	30
3.2.2 Parámetros de interfaz óptica Downstream	31
3.3 Arquitectura de NG-PON2 utilizando OptiSystem.....	32
3.3.1 Simulación propuesta de TWDM basada en NG-PON2.....	33
3.3.2 Simulación propuesta de OTDM basada en NG-PON 2	38
3.4 Evaluación de los resultados de simulación	41
3.4.1 Tasa de error de bits (BER, Bit Error Rate).....	41
3.5 Rendimiento de los resultados de simulación propuesta.....	42
Conclusiones	52
Recomendaciones	53
Bibliografía	54

Índice de Figuras

Capítulo 2

Figura 2.1: Detalles del cable de fibra óptica	6
Figura 2.2: Estructura de la fibra óptica, mostrando su constitución.....	7
Figura 2.3: Espectro de pérdidas de la fibra LEAF de Corning. El espectro de bajas pérdidas se divide en varias bandas	9
Figura 4: Planta externa y acometida interna	11
Figura 2.5: Tipos de cables de fibra óptica: (a) cable de fibra monomodo de índice escalonado, (b) cable de fibra multimodo de índice escalonado	12
Figura 2.6: Fibra Multimodo	13
Figura 2.7: Propagación de luz en una fibra óptica de índice escalón.	15
Figura 2.8: Dispersión de una fibra multimodo de índice escalón.....	15
Figura 2.9: Propagación de la luz en una fibra monomodo.....	16
Figura 2.10:Fibra Monomodo.....	17
Figura 2.11: Arquitectura de una red PON genérica.	18
Figura 2.12: Sistemas y elementos PON	20
Figura 2.13: Modelo de OLT Huawei Smart AX MA5800 Fuente:(YCICT, 2017b).....	20
Figura 2.14: Modelo de un ONT Huawei HG8245H FTTH Fuente: (YCICT, 2017a).....	21
Figura 2.15: Arquitectura de una red PON genérica.	25
Figura 2.16:OTDM	26
Figura 2.17: WDM.....	26

Capítulo 3

Figura 3.1: Evolución de Redes Ópticas Pasivas	27
Figura 3.2: Arquitectura general para la coexistencia del sistema NG-PON2 con los PON heredados.....	28
Figura 3.3: Arquitectura detallada de una TWDM-PON	29
Figura 3.4: Arquitectura de red TWDM-PON	30
Figura 3.5: Simulación NG-PON2 TWDM.....	34
Figura 3.6: WDM Analizador	35
Figura 3.7:OLT Transmisor	35

Figura 3.8: Red de distribución óptica (ODN)	36
Figura 3.9: PIN photodetector	36
Figura 3.10: Unidad de red óptica.....	37
Figura 3.11: Filtro de paso bajo Bessel.....	37
Figura 3.12: Fuente láser de onda continua	39
Figura 3.13: Simulación NG-PON2 OTDM	40
Figura 3.14: BER Analyzer	41
Figura 3.15: Simulación TWDM 1	42
Figura 3.16: Simulación TWDM 2	43
Figura 3.17: Simulación TWDM 3	44
Figura 3.18: Simulación OTDM 1	45
Figura 3.19: Simulación OTDM 2.....	46
Figura 3.20: Simulación OTDM 3.....	47
Figura 3.21: Simulación TWDM 100 km	48
Figura 3.22: Simulación OTDM 100 Km	49

Índice de Tablas

Capítulo 2

Tabla 2.1: Banda de longitud de onda	8
Tabla 2.2: Fibras ópticas multimodo (MM)	14
Tabla 2.3: Fibra óptica Monomodo (SM).....	17
Tabla 2.4: Estándares internacionales PON	23

Capítulo 3

Tabla 3.1: Bandas de longitud de onda Downstream NG-PON2	31
Tabla 3.2: Parámetros de la interfaz óptica por encima de 9,95328 Gb/s.....	31
Tabla 3.3: Parámetros de evaluación TWDM.....	33
Tabla 3.4: Parámetros de evaluación OTDM	38
Tabla 3.5: Tiempo de retado para los canales de transmisión	39
Tabla 3.6: Simulación TWDM 1	42
Tabla 3.7: Simulación TWDM 2	43
Tabla 3.8: Simulación TWDM 3	44
Tabla 3.9: Simulación OTDM 1	45
Tabla 3.10: Simulación OTDM 2.....	46
Tabla 3.11: Simulación OTDM 3.....	47
Tabla 3.12: Simulación TWDM.....	48
Tabla 13: Simulación OTDM	49
Tabla 3.14: Comparación 1 de TWDM y OTDM	50
Tabla 3.15: Comparación 2 de TWDM y OTDM	51

RESUMEN

En este trabajo de titulación se analiza el comportamiento de una red óptica pasiva está reconocida como la red por excelencia prometedora para satisfacer la necesidad prevista de OAN, ya que soporta la red central, la red metropolitana y los servicios de fibra hasta la red. Sin embargo, se enfrenta un problema de la creciente dependencia del ancho de banda de transmisión. los sistemas como GPON y su predecesor XGPON son las tecnologías más implementadas alrededor del mundo de las telecomunicaciones, pero debido a la gran demanda de los usuarios finales y al ancho de banda más amplio que los servicios de comunicación requieren habitualmente, la capacidad de los sistemas PON llegaron su máximo aforo y apareció NGPON2. La solución de mayor ancho de banda y número de participantes. Las técnicas de multiplexación utilizadas en el presente de las comunicaciones de fibra óptica son el principal mecanismo para el desenvolvimiento de la ingeniería de red empleando diferentes variables, como la frecuencia, tiempo, espacio o polaridad, dependiendo el enfoque tiene capacidad para brindar mejoras en el cambio de velocidad de información. Las ventajas de G.989.x en la implementación incluyen la capacidad de aumentar gradualmente el ancho de banda para satisfacer la demanda, aprovisionar canales según sea necesario utilizando la arquitectura de transmisión y selección, para reutilizar partes importantes de GPON y estándares y tecnologías de componentes 10G GPON y admitir acceso abierto utilizando múltiples OLT.

Palabras claves: Red de telecomunicaciones, Fibra óptica

Capítulo 1: Descripción General del Trabajo de Integración Curricular

En este capítulo, se muestra la descripción general del proyecto de trabajo de integración curricular.

1.1 Introducción

La red de acceso óptico (OAN, Optical Access Network) presente y futura necesita un mayor ancho de banda, una gran velocidad de datos y confidencialidad, un alto número de usuarios de datos manejan diversas aplicaciones desde las corporaciones hasta los usuarios particulares, como internet de banda ancha a gran velocidad y servicios de aprendizaje electrónico (Kumari et al., 2020).

La red óptica pasiva (PON, Passive Optical Network) está reconocida como la red por excelencia prometedora para satisfacer la necesidad prevista de OAN, ya que soporta la red central, la red metropolitana y los servicios de fibra hasta la red (FTTx). Sin embargo, se enfrenta un problema de la creciente dependencia del ancho de banda de transmisión. En consecuencia, la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU, International Telecommunication Union) ha elaborado dos normas que admiten una mayor velocidad de transmisión de bajada. XG-PON proporciona compatibilidad e incrementa la velocidad de bajada, Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 gigabits (NG-PON2, 40-Gigabit-capable Passive Optical Networks) tiene la misma capacidad, pero no tiene afinidad con la tecnología anterior (Horvath et al., 2017).

NG-PON2 es una tecnología de red de fibra óptica basada en la tecnología PON estandarizada por ITU-T G.989 que presenta diversas ventajas sobre GPON y XGPON. El principio de la arquitectura NG-PON2 surgió con el objetivo de incorporar todos los tipos de prestaciones (multiservicios) en una sola red, tanto los servicios radioeléctricos como los de banda ancha fija (Susanto et al., 2007).

1.2 Antecedentes

En el presente las redes de acceso alámbrico a través de fibra óptica, en las telecomunicaciones tiene como reto cumplir con efectividad los nuevos servicios como Internet de alta velocidad, VoIP e IPTV se ha focalizado en solicitar el requerimiento de un gran ancho de banda exigido por parte de las corporaciones y usuarios particulares.

La nueva generación de redes de acceso presenta una respuesta fascinante para dar soporte al gran ancho de banda e inducir esta variedad de servicios las redes NG-PON2, corresponden a la segunda fase propuesta del desarrollo de la tecnología NG-PON, mantiene atributos semejantes a sus tecnologías antecesoras con el objetivo de tener afinidad de las ODN presentes, esta tecnología va más lejos de prestaciones corporativas que demandas un mayor ancho de banda.

1.3 Definición del Problema

En la actualidad los sistemas como GPON y su predecesor XGPON son las tecnologías más implementadas alrededor del mundo de las telecomunicaciones, pero debido a la gran demanda de los usuarios finales y al ancho de banda más amplio que los servicios de comunicación requieren habitualmente, la capacidad de los sistemas PON llegaron su máximo aforo y apareció NGPON2. Como solución de mayor ancho de banda y número de participantes. Algunas técnicas de multiplexación utilizadas en el presente de las comunicaciones de fibra óptica son el principal mecanismo para el desenvolvimiento de la ingeniería de red empleando diferentes variables, como la frecuencia, tiempo, espacio o polaridad, dependiendo el enfoque tiene capacidad para brindar mejoras en el cambio de velocidad de información.

¿Cómo afecta el uso de la multiplexación óptica por división de tiempo en la tecnología de nueva generación NG-PON2?

¿Cuáles son las ventajas o desventajas del uso de la multiplexación óptica por división de tiempo sobre la multiplexación recomendada por la ITU-T con el estándar G989?

1.4 Justificación del Problema

En el sector de las telecomunicaciones desde el desarrollo de la tecnología NG-PON2 se desenvuelven diferentes temas de estudio comparativo entre sus tecnologías antecesoras. En el presente trabajo de investigación tiene como finalidad el análisis y evaluación del desempeño de la técnica de multiplexación OTDM en la tecnología de nueva generación NG-PON2 cuyo principal objetivo es la provisión de servicios robustos. La corroboración de este estudio es con la ayuda de datos teóricos y prácticos sobre el desempeño de la multiplexación OTDM en NG-PON2.

1.5 Objetivos del Problema de Investigación

1.5.1 Objetivo General

Analizar y evaluar la tecnología de próxima generación NG-PON2 utilizando la multiplexación por OTDM.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Exponer el origen y la evolución de las redes de acceso alámbrico de fibra óptica.
2. Describir los métodos de multiplexación utilizados para las comunicaciones de fibra óptica
3. Evaluar el método de multiplexación OTDM utilizando la herramienta OptiSystem.

1.6 Hipótesis

Este proyecto de trabajo de integración curricular se fundamenta en el análisis y evaluación de la red de próxima generación NG-PON2 utilizando técnicas de multiplexación OTDM. La aplicación de la multiplexación por división de tiempo perfecciona la operatividad de NG-PON2.

1.7 Metodología de Investigación

El desarrollo de la experiencia de este trabajo de integración curricular se basa en el método científico de examinar los problemas de este trabajo y proporcionar herramientas para la toma de decisiones. Básicamente se utiliza

el método de investigación cuantitativo, que incluye los tres métodos de investigación mencionados: diagnóstico, investigación e interpretación.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica de las redes de fibra óptica

En este capítulo, se muestra la fundamentación teórica del trabajo de integración curricular.

2.1 Fibra Óptica

En la figura 2.1 se muestra características de la fibra óptica los cuales son esencialmente guías de ondas de luz, soportadas por el núcleo y el revestimiento que rodea el núcleo. Ambos están hechos de materiales transparentes, tanto vidrio como plástico, pero el índice de refracción del revestimiento es más bajo que el índice de refracción del núcleo, por lo que cuando la luz viaja a través de la fibra, el rayo sale del núcleo y se refracta (Blake, 2004).

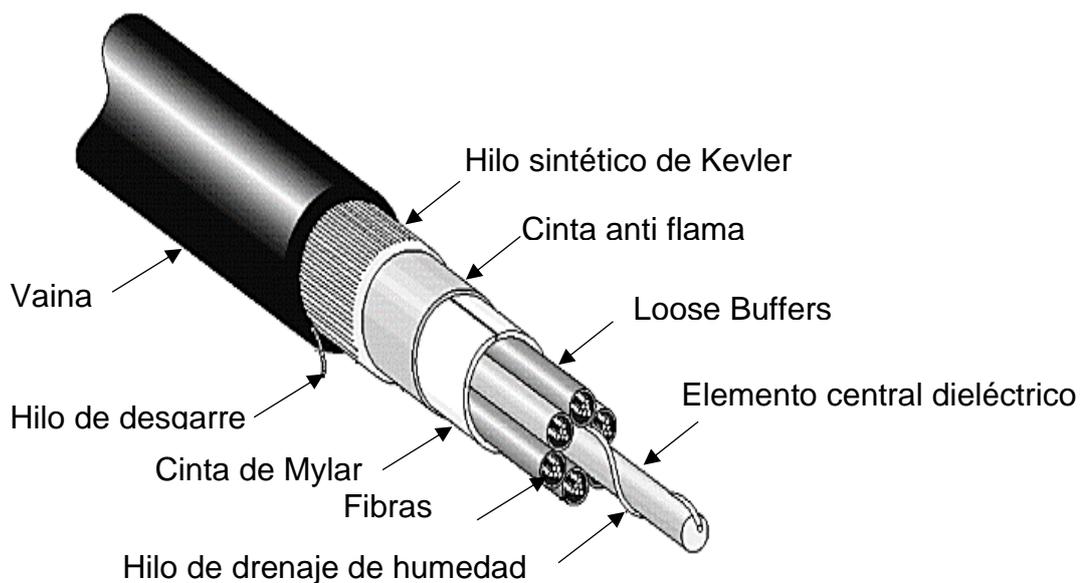


Figura 2.1: Detalles del cable de fibra óptica

Fuente: (Andrade, 2020)

La fibra óptica son hilos muy finos de vidrio bastante puro, de 5 a 10 micrones de diámetro. Para poder soportar esto, se rodea de más vidrio o plástico durante la fabricación, pero este vidrio o plástico no guía la luz exterior. Ciertamente, ambas partes de la fibra están formadas intencionadamente por diferentes índices de refracción, por lo que cuando la luz se apaga, el cristal exterior actúa como un espejo, devolviendo el destello al interior (Huidobro Moya, 2006).

La fuente de luz enciende, apaga o alterna dos niveles de potencia diferentes para la transmisión digital. Las fibras reales que se utilizan en las comunicaciones ópticas son hilos delgados de vidrio o plástico. También es más fácil construir un sistema full-dúplex con dos fibras, una en cada dirección, en lugar de enviar señales en ambas direcciones a través de la misma fibra.

2.2 Estructura de cable de fibra óptica

Cuando la luz entra, queda atrapada en su interior, lo que se conoce como núcleo. En otras palabras, es factible porque después de la propagación, se generan reflexiones continuas del haz mientras atraviesa el núcleo de la fibra (Gallardo Vásquez, 2015).

En la figura 2.2 se muestra la estructura de la fibra óptica:

- Núcleo: La señal óptica permanece segura en el interior del núcleo sin poder escapar, gracias a la parte exterior, de los reflejos internos generados por el revestimiento que la recubre.
- Revestimiento: Su función es atrapar los rayos en el núcleo. Por otro lado, su bajo índice de refracción ayuda a meditar sobre la luz y se mantiene en el interior.
- Cubierta protectora: Protege el núcleo y la cubierta de daños mecánicos.

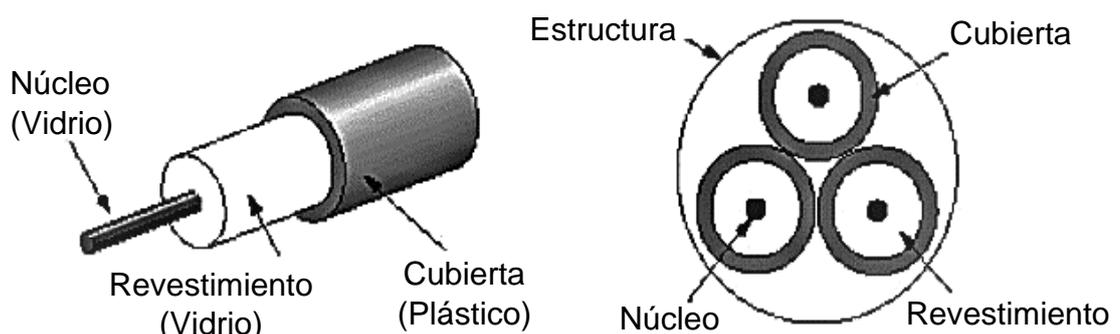


Figura 2.2: Estructura de la fibra óptica, mostrando su constitución.

Fuente: (Gallardo Vásquez, 2015)

2.3 Ventajas de Transmisión de fibra óptica

En teoría, los cables de fibra óptica tienen un ancho de banda amplio, una gran capacidad de transmisión y una larga distancia de transmisión. Los

cables de fibra óptica, por otro lado, también son livianos, y todas estas características los convierten en un medio ideal para la transmisión de datos y pueden transportar señales de teléfono y televisión. La organización ITU-T ha dividido el sistema de comunicación de fibra óptica en seis bandas, O, E, S, C, L y U6.

La fibra multimodo de 850 nm se denomina primera ventana y la fibra monomodo de banda O se denomina segunda banda. La banda C se llama la tercera ventana, la banda L se llama la cuarta ventana y la banda E se llama la quinta ventana. La tabla 2.1 muestra las bandas de longitud de onda tanto para el cable de fibra óptica multimodo como para el cable de fibra óptica monomodo.

Tabla 2.1: Banda de longitud de onda

Banda de frecuencia	Ventana	Rango de λ (nm)	Rango de frecuencia (Thz)
/	1	850(770-910)	/
Banda original	2	1260-1360	237,9-220,4
Banda extendida	5	1360-1460	220.4-205.3
Banda de λ corta	/	1460-1530	205.3-195.9
Banda convencional	3	1530-1565	195,9-191,6
Banda de λ más larga	4	1565-1625	191,6-184,5
Banda de λ ultra larga	/	1625-1675	184,5-179,0

Fuente: (Thyagarajan & Ghatak, 2007)

En los primeros días de la comunicación por fibra óptica, los LED se usaban como fuente de luz debido a su bajo costo. Los cables de fibra óptica multimodo que funcionan a 850 nm y 1300 nm son la primera opción para construir redes pequeñas, y los cables de fibra óptica monomodo que funcionan a 1310 nm y 1550 nm utilizando láseres como fuentes de luz construyen grandes redes.

Si hay muchas ventanas disponibles para los cables ópticos monomodo, los cables de fibra óptica realizarán una transmisión de ultra alta velocidad al transmitir simultáneamente señales de diferentes longitudes de onda mediante la adopción de la tecnología multiplexación por división de longitud de onda (WDM, Wavelength Division Multiplexing), abriendo la posibilidad sacar al máximo rendimiento de la fibra monomodo.

La figura 2.3 muestra la dependencia típica de la atenuación de la fibra (coeficiente de pérdida por unidad de longitud) en función de la longitud de onda de una fibra óptica de sílice típica. Puede verse que la pérdida es 0,25 dB/km a una longitud de onda de 1550 nm.

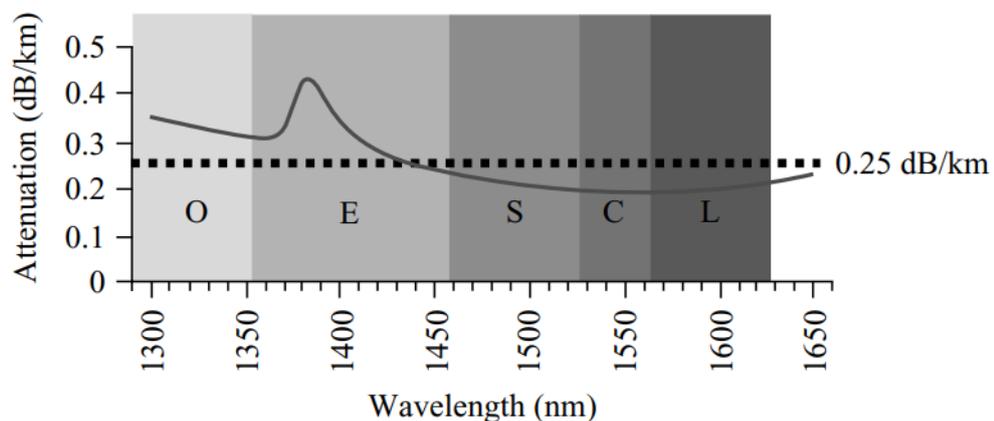


Figura 2.3: Espectro de pérdidas de la fibra LEAF de Corning. El espectro de bajas pérdidas se divide en varias bandas
Fuente: (Thyagarajan & Ghatak, 2007)

2.3.1 Inmunidad a las interferencias electromagnéticas

La interferencia electromagnética (IEM) es un tipo común de perturbación que surge de una de las propiedades fundamentales del electromagnetismo. La IEM ocurre en el cable coaxial cuando la corriente fluye a través del conductor. Las fibras ópticas son inmunes a estos IEM porque la señal se transmite como luz, no como corriente eléctrica. Por lo tanto, pueden transportar señales a través de lugares donde el IEM bloquearía la transmisión.

2.3.2 Seguridad de los datos

El campo magnético y la inducción de corriente no solo generan ruido en los conductores que llevan la señal, sino que también permiten que se filtre información a través de los conductores. Se puede aplacar el problema protegiendo el cable como se hace con un cable coaxial, pero el blindaje puede hacer que la señal se filtre lo suficiente. No se irradia ningún campo magnético alrededor de la fibra óptica. El campo electromagnético está confinado en la fibra.

Es imposible interceptar la señal transmitida por fibra sin interrupción. Penetrar físicamente una fibra óptica requiere una gran habilidad para evitar que sea detectada. Por lo tanto, la fibra óptica es el medio más seguro y disponible para transferir datos confidenciales.

2.3.3 Facilidad de instalación

El aumento de la capacidad de transmisión de un cable generalmente hace que el cable sea más grueso y rígido. Estos cables gruesos pueden ser difíciles de instalar en edificios existentes que deben enrutarse a través de paredes y conductos. Los cables de fibra óptica son pequeños y flexibles, lo que facilita su instalación. También puede seguir la misma ruta que un cable eléctrico sin captar un ruido excesivo. Una forma de simplificar la instalación en edificios existentes es pasar los cables a través de conductos de ventilación. La ventaja de los cables de fibra es que requieren materiales ignífugos más pequeños y, por lo tanto, más baratos. Los cables de fibra óptica son pequeños, livianos y flexibles, lo que los hace fáciles de usar para instalaciones temporales o portátiles.



Figura 4: Planta externa y acometida interna

Elaborado por: Autor

2.4 Diferencia entre fibra monomodo y multimodo

La computación en la nube y los servicios web continúan impulsando la demanda de ancho de banda, aumentando las tasas de transferencia de datos de 1 y 10 Gb/s a 100 Gb/s y más en centros de datos y redes empresariales. Esta mayor velocidad puede llevar a los diseñadores de sistemas a creer que la fibra monomodo es cada vez más ventajosa que la fibra multimodo en sectores focalizados. Sin embargo, las velocidades de Ethernet más altas no significan automáticamente que la fibra monomodo sea la opción correcta.

Si bien la fibra monomodo tiene la ventaja del ancho de banda y las distancias más largas, la fibra multimodo admite fácilmente la mayoría de las distancias requeridas para las redes empresariales y los centros de datos, incluidos los costos generales, un costo significativamente menor que el multimodo (Cully, 2019). Por tanto, como se muestra en la figura 2.4 existen tres tipos comunes de cables de fibra óptica, que se enumeran a continuación. La conveniencia de cada tipo para una aplicación concreta depende de las características del cable de fibra óptica.

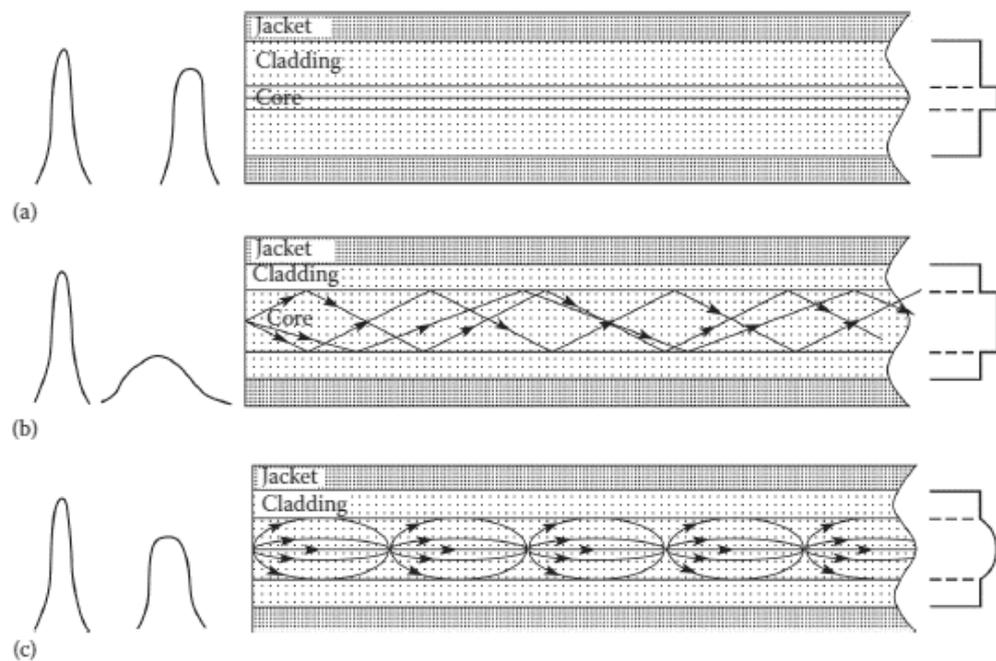


Figura 2.5: Tipos de cables de fibra óptica: (a) cable de fibra monomodo de índice escalonado, (b) cable de fibra multimodo de índice escalonado

Fuente: (Al-Azzawi, 2017)

2.4.1 Fibra Multimodo

Los cables de fibra óptica multimodo tienen núcleos de gran diámetro que permiten la propagación de diferentes tipos de luz. Esto aumenta la proporción de reflejos de luz que ocurren cuando la luz pasa a través del núcleo, lo que permite que se transmitan más datos durante un período de tiempo. Esta aplicación se usa comúnmente para aplicaciones de audio/video, datos y de corto alcance en redes LAN. Las señales de RF de banda ancha que suelen utilizar las compañías de cable no se pueden transmitir a través de fibras multimodo.

Las fibras multimodo son fibras que pueden propagar múltiples tipos de luz. El número máximo de modos ópticos (trayectorias de rayos) que pueden existir en el núcleo de una fibra se puede determinar matemáticamente mediante la siguiente expresión (número de modos en una fibra):

$$M = \frac{1}{\frac{2D(n_1^2 - n_2^2)^{0.5}}{\lambda}}$$

Donde, D es el diámetro del núcleo, n_1 es el índice de refracción del núcleo, n_2 es el índice de refracción del revestimiento, y λ es la longitud de onda de luz. Para una fibra multimodo el número de modos puede ser fácilmente superior a 1000. El número de modos que existen realmente depende de otras características de la fibra y se puede reducir durante la propagación.

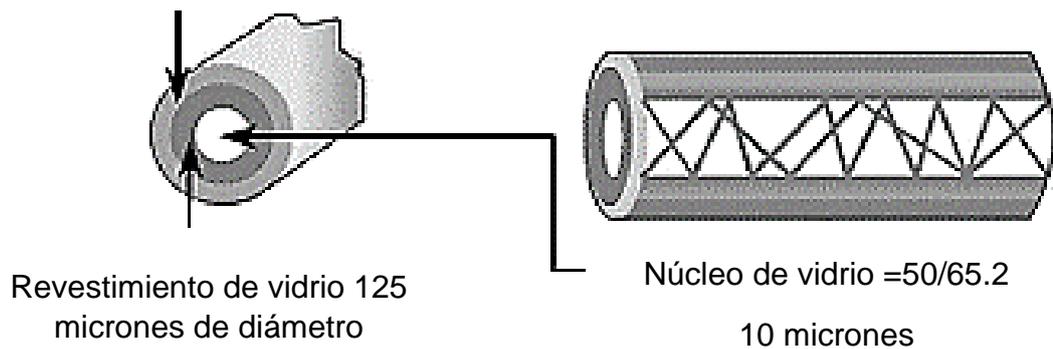


Figura 2.6: Fibra Multimodo
Fuente: (Bernal, 2018)

Las fibras multimodo se utilizan normalmente en aplicaciones de comunicación a corto plazo (normalmente menos de unos pocos kilómetros). La electrónica de terminales es económica y, por lo general, fácil de construir. Los LED se utilizan generalmente como fuente de luz. Debido al gran tamaño del núcleo de la fibra multimodo, es fácil de conectar y tiene un mayor margen de error que los componentes menos precisos.

Hay dos tipos de fibras multimodo: fibras de índice escalonado y fibras de índice graduado. Tienen diferentes perfiles de índice de núcleo y revestimiento (Cerde, 1998). En la Tabla 2.2 se presenta diferentes tipos de fibra multimodo diámetros de núcleo 50 o 62.5 μm con un revestimiento de 125 μm , además las distancias a soportar en función de tipo de enlace.

Tabla 2.2: Fibras ópticas multimodo (MM)

Clase de fibra	Tipo de fibra	Enl. 1Gb/s		Enl. 1Gb/s 10 Gb/s Serie	Enl. 10 Gb/s 1300 nm WWDM	Enl. 40 Gb/s 850 nm
		850 nm	1300 nm			
11801		1000BASE SX LX		10GBASE- SR	10GBASE- LX4 o LRM	40GBASE- SR4 100GBASE- SR10
OM-1 62.5 µm 200/500 MHz. Km	Standard	250 m	550 m	33 m	300 m	N/A
OM-2 50 µm 500/500 MHz. Km	Standard Max-Cap-BB- OM2+	550 m 750 m	550 m 550 m	82 m 150 m	300 m 300 m	N/A
OM-3 50 µm 1500/500 MHz. Km	MaxCap-OM3- MaxCap-BB- Om3 EMB=2000/500 MHz Km	1000 m	550 m	300 m	300 m	100 m
OM-4 50 µm 3500/500 MHz. Km	MaxCap-OM4 MaxCap-BB- OM4 EMB=4700/500 MHz Km	1100 m	550 m	550 m	300m	150 m

Elaborado por: Autor

2.4.1.1 Fibra de índice escalón

La fibra de índice escalonado es una fibra óptica con diferentes índices de refracción de núcleo y revestimiento, pero es uniforme. El índice de refracción cambia rápidamente en el límite del revestimiento del núcleo. El confinamiento de la luz en la fibra de índice escalonado se debe a las características de reflexión en el límite del revestimiento del núcleo.

Su origen radica en la diferencia en el índice de refracción de los materiales. En esta figura 2.6 muestra, los rayos se reflejan en este límite y se propagan a lo largo de la fibra.

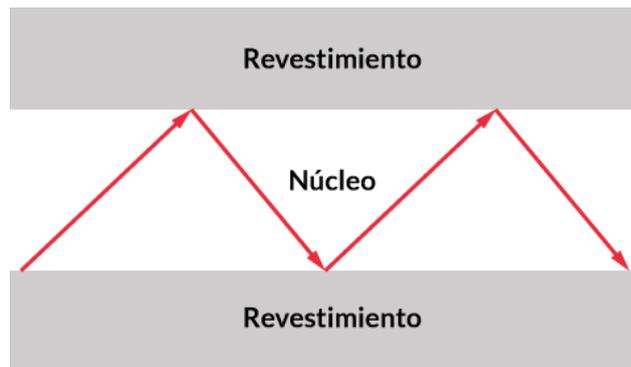


Figura 2.7: Propagación de luz en una fibra óptica de índice escalón.
Fuente: (Martínez, 2018)

Los rayos recorren caminos muy diferentes dentro del núcleo de la fibra. Los rayos llegan a su destino en tiempos diferentes porque cada rayo debe recorrer una distancia diferente. Como resultado, el pulso de transmisión crece con el tiempo. En la figura 2.7, los rayos de luz de d_1 , d_2 , y d_3 empiezan de datos debido a que esta es inversamente proporcional a la anchura del pulso. Un pulso más ancho significa que se pueden enviar menos pulsos por segundo, lo que resulta en una disminución de ancho de banda de transmisión.

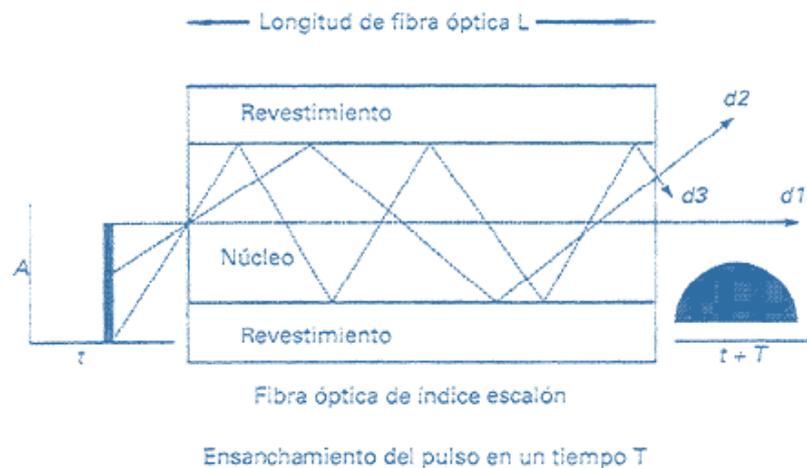


Figura 2.8: Dispersión de una fibra multimodo de índice escalón.
Fuente: (Cerde, 1998)

Este es el factor principal que limita la velocidad de transmisión de datos en una fibra multimodo:

$$\text{velocidad de transmisión de datos} \propto \frac{1}{\text{anchura del pulso}}$$

2.4.2 Fibra monomodo

El cable de fibra óptica monomodo tiene un núcleo diametral diminuto que posibilita que únicamente se propague un modo de luz. Gracias a esto, la proporción de reflejos de luz creados mientras la luz pasa por medio del núcleo reduce, lo cual disminuye la atenuación y crea la función de que la señal viaje más lejos. Esta aplicación se utiliza típicamente en operaciones de extensa distancia y más grande ancho de banda por organizaciones de telecomunicaciones, CATV y colegios y universidades.

Una fibra monomodo es una fibra óptica en la que solo se propaga un modo de luz en la figura se observa un camino para los rayos de luz por el centro. Como se observa en la Figura 2.8 se logra reduciendo del diámetro del núcleo del número de la fibra hasta un tamaño que solo permite un modo y propagación. El tamaño del núcleo de la fibra monomodo está comprendido entre 8 y 10 μm (Cerde, 1998).

Fibra Monomodo (SMF)

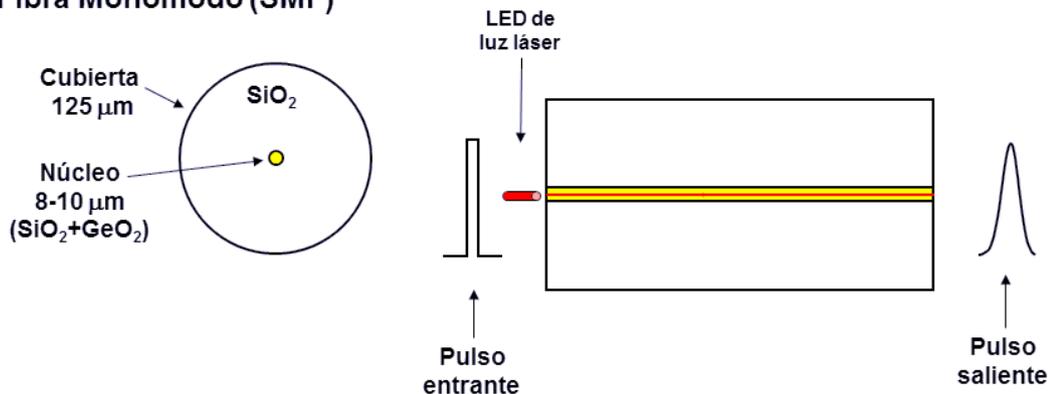


Figura 2.9: Propagación de la luz en una fibra monomodo

Fuente: (Turmero, 2016)

El perfil de índice de refracción de una fibra monomodo es similar al de una fibra multimodo de índice escalón. Debido al pequeño tamaño del núcleo, es muy difícil acoplar luz a la fibra. Para lograr este objetivo se usa frecuentemente un láser de estado sólido. Para todas las conexiones y empalmes de la fibra, se debe utilizar componentes de precisión mayor.

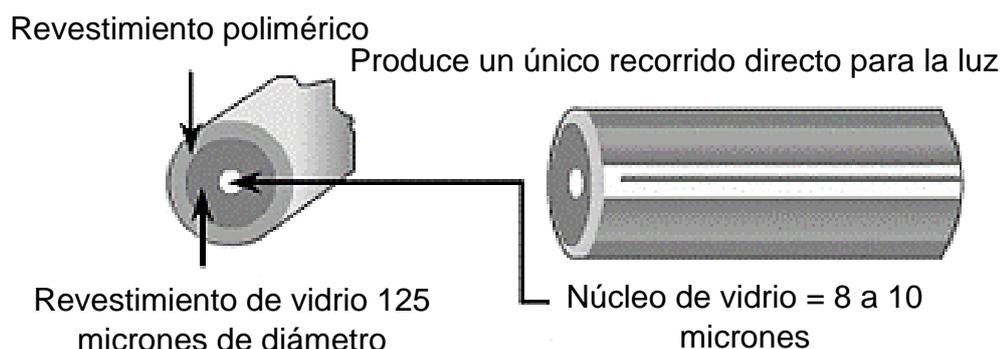


Figura 2.10:Fibra Monomodo

Fuente: (Bernal, 2018)

Al propagarse por un recorrido directo, se elimina el ensanchamiento del pulso debido a la dispersión modal. Esto permite velocidades de transmisión de datos mucho mayores sobre distancia más largas, por encima de 2 Gb/s son bastante frecuentes con fibras monomodo. En la siguiente Tabla 2.3 se describe los tipos de fibra monomodo con diámetro 9 a 10,1 μm y su revestimiento de 125 μm adicional el alcance máximo en función del tipo de enlace.

Tabla 2.3: Fibra óptica Monomodo (SM)

Clase de fibra	Tipo de fibra	Enl. 1Gb/s	Enl. 1Gb/s	Enl. 10 Gb/s	Enl. 40 Gb/s
11801		1310 nm	1310 nm 1550 nm	1300 nm 1550 nm	1310 nm
		100	1GBASE-LX 1GBASE-ZX	10GBASE-LR/LW 10GBASE-ER/EW	40GBASE-LR4
OS1 9 μm	Standard G652C	15 Km	10 Km 80 Km	10-25 Km 40-80 Km	
OS2 9μm	Standard G652D	15 Km	10 Km 80 Km	25 Km 80 Km	10 Km

Elaborado por: Autor

2.5 Redes Pasivas

Redes de fibra óptica cuyos componentes son enteramente pasivos en la red de distribución. Estas se denominan Red Óptica Pasiva (PON, Passive Optical Network). Permiten compartir una misma fibra entre varios usuarios. La PON típica están conformada por:

- Terminal de Línea Óptico (OLT, Optical Line Terminal) ubicado en la central
- Varios elementos pasivos de ramificación óptica, denominados Splitter.
- Varios Terminales de Red Óptica (ONT, Optical Network Terminal) también denominados Unidades de red óptica (ONU, Optical Network Units), los que se encuentran en la casa del usuario y presentan las interfaces hacia los dispositivos que con los cuales se hace uso del servicio.

Esta figura 2.10 muestra que la unidad central tiene una unidad OLT. Cada uno de estos cables, nacidos de estos cables de fibra óptica, puede transportar tráfico hasta el máximo de abonados y corresponde al puerto PON del dispositivo central. Estas fibras pueden tener una o más etapas de división. Esta figura muestra el caso de una red con dos niveles de divisores. El primer nivel tiene una relación 1: n. Luego, por cada fibra o alimentación "primaria", salen n fibras

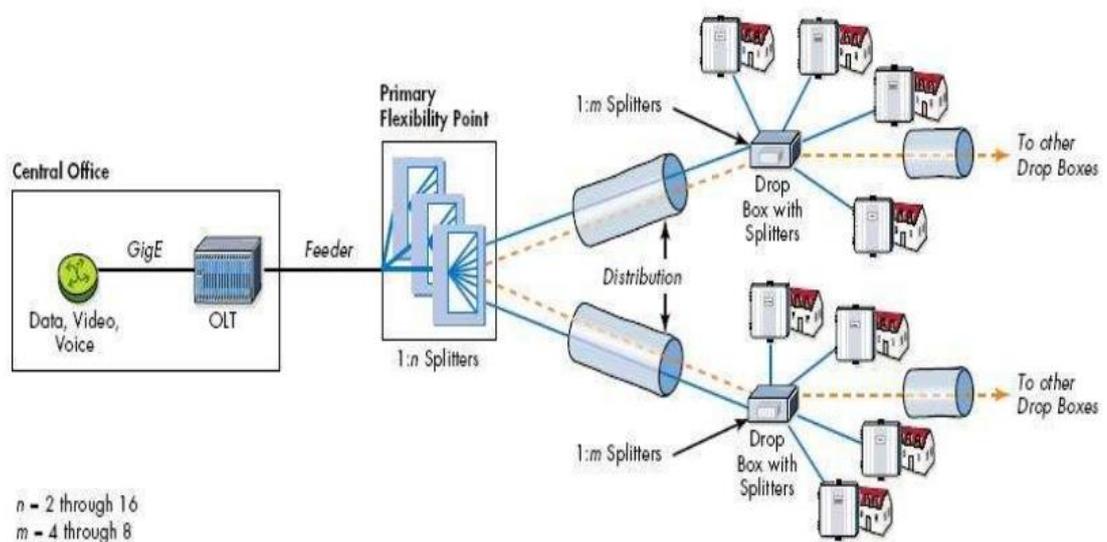


Figura 2.11: Arquitectura de una red PON genérica.

Fuente: (Abreu et al., 2009)

A partir de ahí, hay una etapa de conexión de cables llamada distribución. Ejecuta la segunda etapa del divisor, que por lo general también actúa como caja de entrega. Es decir, llega directamente al cliente desde allí mediante un cable de bajada de fibra óptica. Este procedimiento de enrutamiento generalmente se realiza reubicando la antena.

El terminal de abonado u ONU es el encargado de interactuar con el dispositivo PON central, terminar la conexión y normalmente proporcionar al usuario una interfaz Ethernet para servicios de datos a través de una interfaz telefónica con conectores RJ5 y RJ11 para cables UTP.

La interfaz telefónica mencionada es brindada gracias a la funcionalidad de Gateway de VoIP embebida en el propio equipo ONU. Para ello la ONU soporta el protocolo SIP y en algún caso H.248 para dialogar con la red NGN.

Las señales ópticas son transmitidas por una OLT con una longitud de onda de 192 nm y una ONT con una longitud de onda de 1310 nm. Es decir, el canal de enlace descendente usa la primera longitud de onda especificada y el canal de enlace ascendente usa la segunda longitud de onda. La señal de video de RF también se puede inyectar digitalizando y transmitiendo la señal de video de RF a través de un canal de enlace descendente con una longitud de onda de 155 nm.(Abreu et al., 2009)

2.6 Componentes de la red PON

Una PON consta de una unidad de red óptica (OLT, Optical Line Terminal) en la oficina de la empresa de telecomunicaciones que la proporciona y varias unidades de red óptica (ONU, Optical Network Units) cerca del usuario final. Actualmente, PON tiene dos estándares principales: red óptica pasiva habilitada para Gigabit (GPON) y red óptica pasiva habilitada para Ethernet (EPON).

Independientemente del tipo de PON, su estructura de topología básica es la misma. Los sistemas de red óptica pasiva Gigabit Ethernet (GEAPON) generalmente constan de una unidad de red óptica (OLT) en la sede del proveedor de servicios y varias unidades de red óptica (ONU) o unidades de red óptica cerca del usuario final. Las unidades de red óptica (ODN) se utilizan durante la transmisión entre OLT y ONU/ONT.

La distribución de estos factores se muestra en la Figura 2.9. Una PON consta de una OLT (terminación de línea óptica) en el sitio del proveedor de servicios, varias ONU (unidades de red óptica) cerca del usuario final y componentes pasivos conocidos como nodos (RN).

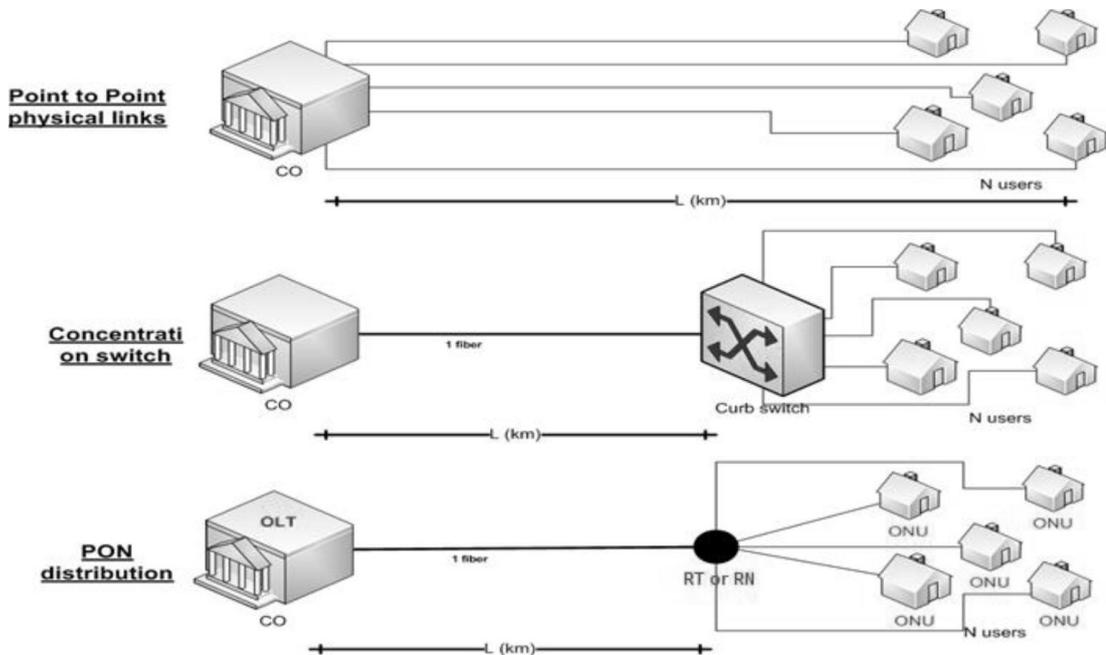


Figura 2.12: Sistemas y elementos PON
Fuente: (Micolta & Camilo, 2014)

2.6.1 Terminal de línea óptica (OLT)

Es un sistema que se encarga de administrar la estructura de la red FTTH, se instala en la central y se encarga de administrar el tráfico y ancho de banda del servicio. Funciona con alimentación de CC redundante y se le asigna una tarjeta para Internet entrante, una tarjeta GPON y otra para los sistemas de gestión integrados (Arbeláez et al., 2021). En la figura 2.12 se puede observar un terminal OLT modelo Huawei.



Figura 2.13: Modelo de OLT Huawei Smart AX MA5800
Fuente:(YCICT, 2017b)

2.6.2 Unidad de red óptica (ONU)

Las ONU convierten las señales ópticas transmitidas a través de fibras en señales eléctricas. Estas señales eléctricas se envían a participantes individuales. Generalmente, existe cierta distancia u otra red de acceso entre la ONU y la instalación donde se encuentra el usuario final.

La ONU también puede enviar, agregar y administrar diferentes tipos de datos de los clientes y enviarlos aguas arriba de la OLT. La preparación es un proceso de gestión de las Naciones Unidas que optimiza y reorganiza el flujo de datos para transferir datos de manera más eficiente.

El OLT admite la asignación de ancho de banda y los datos normalmente llegan en ráfagas desde el cliente, lo que permite una entrega fluida y transparente de los datos al OLT. Las ONU se pueden conectar utilizando una variedad de métodos y tipos de cables, que incluyen: B. Cable de par trenzado de cobre, cable coaxial. Usa fibra óptica o Wifi.

2.6.3 Terminal de red óptica (ONT)

En realidad, la ONT es lo mismo que la ONU en esencia. La ONT es un término de la UIT-T, mientras que ONU es un término del IEEE. Ambos se refieren al equipo del usuario en el sistema GEPON. En la práctica, sin embargo, hay una pequeña diferencia entre ONT y ONU según su ubicación. ONT está situada generalmente en las instalaciones del cliente. En la figura 2.13 se puede observar un modelo ONT.



Figura 2.14: Modelo de un ONT Huawei HG8245H FTTH
Fuente: (YCICT, 2017a)

2.6.4 Red de distribución óptica (ODN)

La ODN es el medio de transmisión óptica para la conexión física de las ONU a las OLT. Su alcance es de 20 km o más. Dentro de la ODN, el cable de fibra óptica, los conectores de fibra óptica, los divisores ópticos pasivos y los componentes auxiliares colaboran entre sí. El ODN tiene específicamente cinco segmentos: la fibra de alimentación, el punto de distribución óptica, la fibra de distribución, el punto de acceso óptico y el divisor de fibra.

La fibra de alimentación va desde el marco de distribución óptica (ODF) en la sala de telecomunicaciones de la oficina central (CO) hasta el punto de distribución óptica para coberturas de larga distancia. La fibra de distribución distribuye fibras ópticas para las áreas de su lado desde el punto de distribución óptica hasta el punto de acceso óptico

El divisor de fibra conecta el punto de acceso óptico a los terminales (ONT), logrando así la repartición de la fibra óptica a los hogares de los usuarios. En resumen, el ODN es esencial para la transmisión de datos PON y su calidad afecta directamente al rendimiento, la confiabilidad y la escalabilidad del sistema PON.

2.7 Evolución de la normalización de las redes PON

El despliegue de redes de acceso óptico (OAN) representa uno de los desafíos tecnológicos más relevantes para los operadores de telecomunicaciones. Ya se han previsto grandes inversiones para reemplazar parcial o plenamente las redes de ingreso clásicas fundamentadas en el cobre, simultáneamente, se convirtió en un cuello de botella para la prestación de servicios de banda ultra ancha a consumidores residenciales y empresariales (Muciaccia et al., 2014).

El grupo Full Services Access Network (FSAN) ha desarrollado especificaciones técnicas que han sido la base de las normas del UIT-T se adjuntan en la siguiente tabla 2.4.

Tabla 2.4: Estándares internacionales PON

Tecnología	Estándar	Año	Tasa de bits Descendente [Gb/s]	Tasa de bits Ascendente [Gb/s]
BPON	ITU-T G.983/G.983.5	2001	≤ 1.25	≤ 0.625
EPON	IEEE 802.3ah	2004	1.25	1.25
10G-EPON	IEEE 802.3av	2009	10	1
GPON	ITU-T G.984	2004	2.5	1.25
XGPON	ITU-T G.987	2010	≤ 10	10
NG-PON2	ITU-T G.989.1	2013	40	10

Elaborado por: Autor

La PON de banda ancha (BPON) fue la primera norma completa definida por el UIT-T en 2001 (reorganizada en UIT-T G.983.1 ÷ G.983.5 en 2005), que tiene su origen en la PON ATM (APON) y proporciona una velocidad de transmisión de 155,52 ÷ 1244,16 Mb/s en sentido descendente y 155,52 ÷ 622,08 Mb/s en sentido ascendente, con 20 km de alcance disponible y hasta 64 usuarios finales.

En 2004, el IEEE introdujo Ethernet-PON (EPON), un estándar alternativo (IEEE 802.3ah, posteriormente incluido en el estándar general IEEE 802.3) que utiliza Ethernet como protocolo de transporte en lugar del protocolo ATM, de menor rendimiento, y que proporciona 1,25 Gb/s simétricos [9]. EPON se ha convertido rápidamente en el estándar más común en Asia y, en 2009, ha evolucionado en 10G-EPON (IEEE 802.3av) proporcionando 10 Gb/s de bajada y 1 Gb/s de subida.

La respuesta del UIT-T a la EPON es la PON con capacidad de gigabits (GPON). Este estándar (ITU-T G.984) se introdujo en 2004 y ha tenido un gran éxito en Europa y América. Admite varias opciones de velocidad de transmisión, pero suele ofrecer una velocidad de transmisión de 2488 Mb/s en sentido descendente y 1244 Mb/s en sentido ascendente, con un alcance de 30 km y hasta 128 usuarios finales.

En 2010 se estandarizó la XG-PON (ITU-T G.987) como la evolución natural de la GPON, que ofrece una tasa de bits de 10 Gb/s en sentido descendente y una tasa de bits de 2,5-10 Gb/s en sentido ascendente, con un alcance disponible de 20-60 km y 64-128 usuarios finales (el mayor alcance disponible y el mayor número de usuarios finales son requisitos contradictorios).

La evolución de las OAN en los próximos años, XG-PON ya ha sido seleccionada como la mejor candidata para las soluciones NG-PON1, es decir, la próxima generación de PON. El siguiente paso lo representarán las soluciones NG-PON2, cuyos requisitos del sistema ya han sido estandarizados por la norma ITU-T G.989.1 en 2013. NG-PON2 debe soportar al menos 40 Gb/s de capacidad agregada en sentido descendente y más de 10 Gb/s en sentido ascendente, con 40 km de alcance máximo de fibra pasiva y hasta 60 km utilizando eventualmente extensores de alcance, con más de 64 usuarios finales conectados por estas redes.

Además, las soluciones NG-PON2 deben garantizar la compatibilidad con los sistemas heredados GPON y XG-PON y con las ODN existentes, ahorrando inversiones en infraestructura de larga duración. En la Figura 2.14, se puede observar la coexistencia con las soluciones heredadas es absolutamente aconsejable en los concursos Brown Field, donde el despliegue rentable podría actuarse a través de la migración gradual a los nuevos estándares.

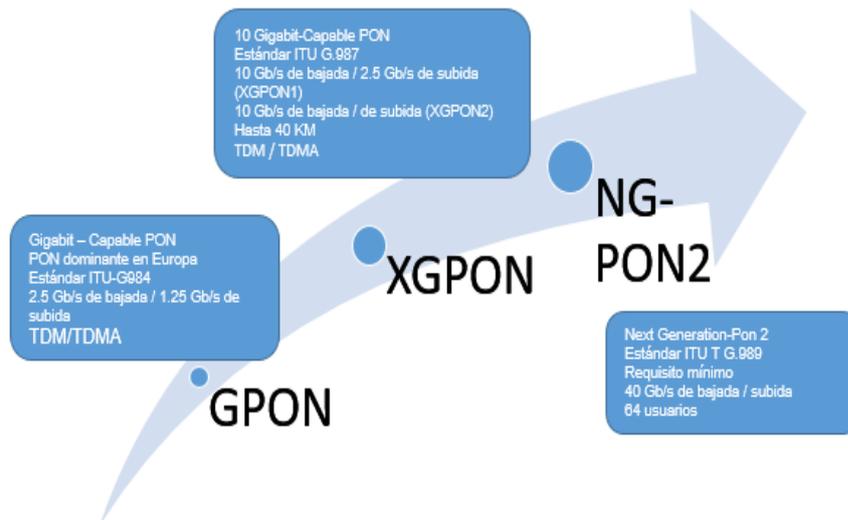


Figura 2.15: Arquitectura de una red PON genérica.

Fuente: (Muciaccia et al., 2014)

2.8 Técnicas de multiplexación para redes PON

La necesidad de multiplexar se debe a que en la mayor parte de las aplicaciones es más económico transmitir datos a velocidades altas por medio de una sola fibra que transmitir datos a velocidades más bajas por medio de diversas fibras. Hay prácticamente 2 maneras de incrementar la función de transmisión en una fibra multiplexación por división de tiempo óptico (OTDM) y Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) (Ramaswami et al., 2009).

2.8.1 Multiplexación Por División De Tiempo Óptico

En la actualidad, la mayor velocidad de transmisión de transmisión en los sistemas comerciales es la tecnología TDM de 40 Gb/s. Para llevar la tecnología TDM más allá de estas velocidades, los investigadores están trabajando en métodos para realizar la de multiplexación y demultiplexación por medios ópticos. Este enfoque se denomina multiplexación por división de tiempo (OTDM).

En la Figura 2.15 los experimentos de laboratorio han confirmado la multiplexación/demultiplexación de varios flujos de 10 Gb/s hasta un flujo de 250 Gb/s, aunque la implementación comercial de OTDM aún no es viable

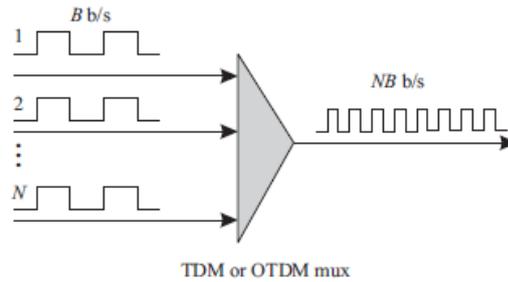


Figura 2.16:OTDM

Fuente: (Ramaswami et al., 2009)

2.8.2 Multiplexación por división de longitud de onda

La técnica multiplexación por división de longitudes de onda (WDM), es esencialmente lo mismo que la multiplexación por división de frecuencia (FDM). Transmite datos simultáneamente en varias longitudes de onda a través de una fibra. Estas longitudes de onda no interfieren entre sí siempre que se mantengan suficientemente separadas.

En la Figura 2.16 se muestra la WDM proporciona fibras virtuales, ya que hace que una sola fibra única parezca varias fibras "virtuales", en las que cada fibra virtual transporta un único flujo de datos. Los sistemas WDM están ampliamente desplegados hoy en día en redes de larga distancia y submarinas y submarinos, también se están desplegando en las redes metropolitanas.

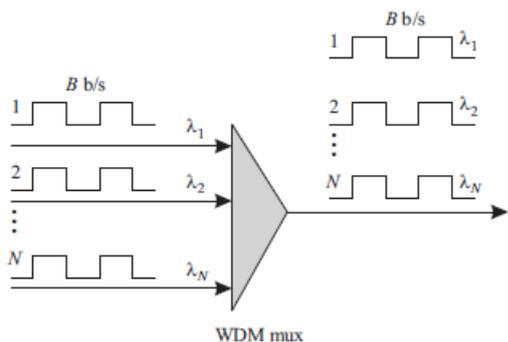


Figura 2.17: WDM

Fuente: (Ramaswami et al., 2009)

Capítulo 3: Análisis de NG-PON2

3.1 Estándares PON de próxima generación (NG-PON2)

La tecnología PON se desarrolló para satisfacer las necesidades de ancho de banda de los usuarios, como el Modo de Transferencia Asíncrono (ATM, Asynchronous Transfer Mode) en el estándar óptico pasivo de red (APON, (Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network) en ITU-T G.983.1 con tasa de datos de 155 Mbit/s; luego la Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (BPON, Broadband Passive Optical Network) estandarizada en ITU-T con G.983.3 a G.983.5, con velocidades de transmisión de 625 Mbps en las direcciones ascendente y descendente.

La Red óptica pasiva Gigabit (GPON, Gigabit Passive Optical Network) con 2,5 Gbit/s de bajada y 1,25 Gbit/s de subida con G.984.1 a G.984.5 estándar y también la Red óptica pasiva le apareció Ethernet (EPON, Ethernet Passive Optical Network) estandarizada por IEEE en el estándar 802.3ah denominado G-EPON para admitir 1 Gbit/s de subida y bajada simétrica. Se crean nuevas expectativas con la aparición de una demanda de tráfico progresiva, no solo de los clientes finales, sino también de los Proveedores de Servicios de Internet (ISP, Internet Service Provider), lo que da lugar a la necesidad de otras tecnologías como las recomendaciones IEEE802.3av denominadas redes ópticas Ethernet y apareció en recomendaciones de la UIT como NGPON1 a 10 Gbit/s y NGPON2 a 40 Gbit/s (Cando Torres, 2020).

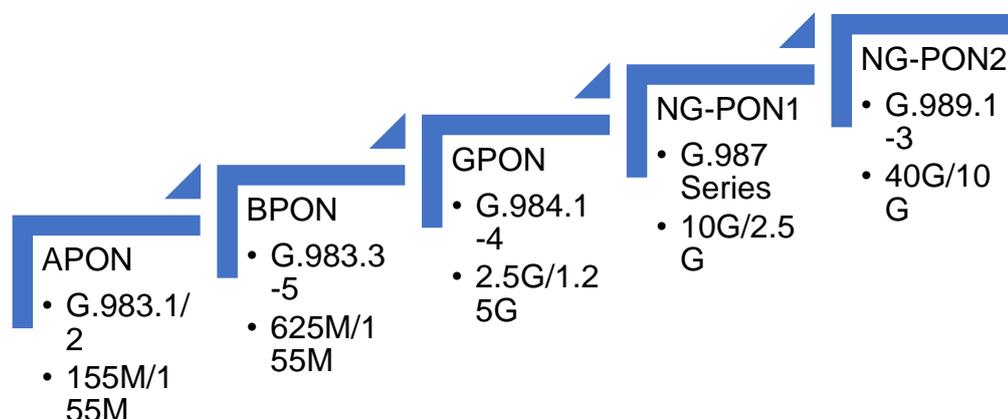


Figura 3.1: Evolución de Redes Ópticas Pasivas

Fuente: (Cando Torres, 2020)

3.2 Arquitectura NG-PON2

La Figura 3.2 muestra un escenario NG-PON2 y referencias para garantizar la coexistencia con los sistemas PON existentes. Las redes de distribución óptica (ODN) incluyen divisores de potencia y elementos de coexistencia (WDM) y, finalmente, extensores (Velásquez Micolta, 2014).

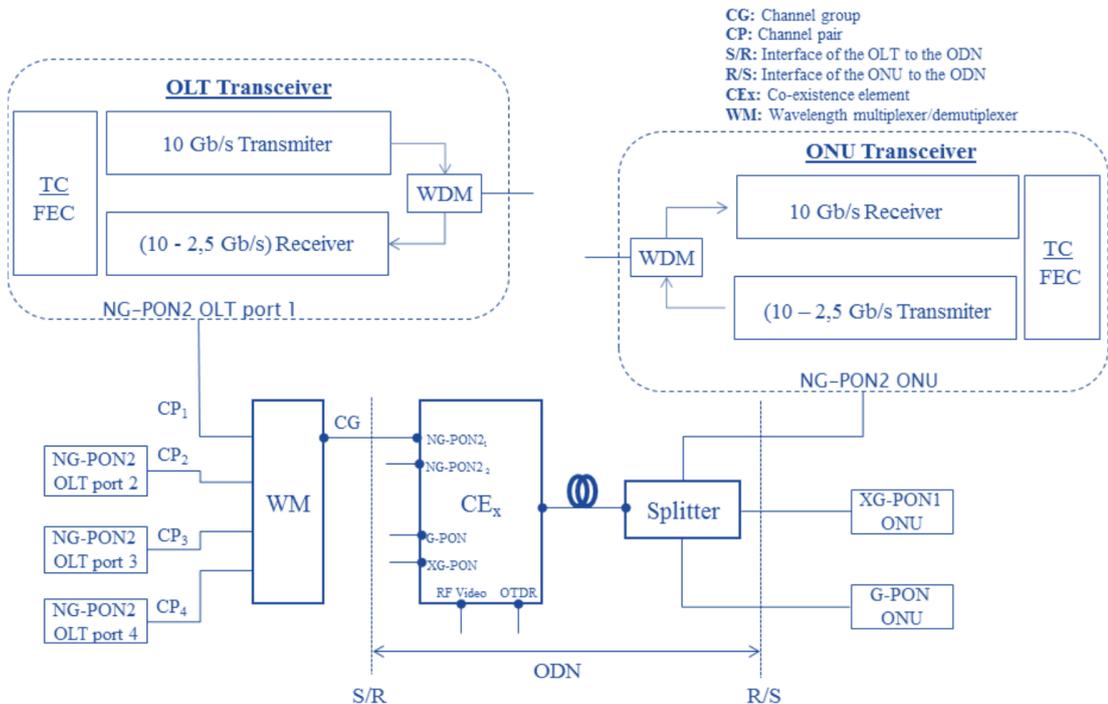


Figura 3.2: Arquitectura general para la coexistencia del sistema NG-PON2 con los PON heredados

Fuente: (Velásquez Micolta, 2014)

La ODN basada en splitter permite a los operadores implementar sistemas FTTH con inversiones en infraestructura a largo plazo. Además, algunos proveedores de servicios prefieren ODN heredados no selectivos de longitud de onda para una red de distribución perfecta sin barreras para las actualizaciones de longitud de onda flexibles y el uso futuro del espectro de fibra.

Los filtros en la ODN definen la asignación de longitudes de onda que limitan la flexibilidad y pueden aumentar la complejidad de la planificación de la red. Sin embargo, también se reconocen los beneficios de la partición de baja pérdida, y esa transparencia debe sopesarse frente a la posibilidad de requisitos de presupuesto de pérdida reducidos y seguridad física en ODN de longitud de onda selectiva (Chanclou et al., 2012).

La figura 3.3 muestra la arquitectura básica de un NG-PON2 en un entorno OLT único que utiliza tecnología TWDM. En el flujo descendente, se utilizan cuatro transmisores de longitud de onda fija de 10Gbit/s, uno por cada puerto OLT NG-PON2, con un espaciado de 100GHz en la banda L+. Estas longitudes de onda se multiplexan y se pueden amplificar como en la multiplexación anterior (Jianhe Gao et al., 2013).

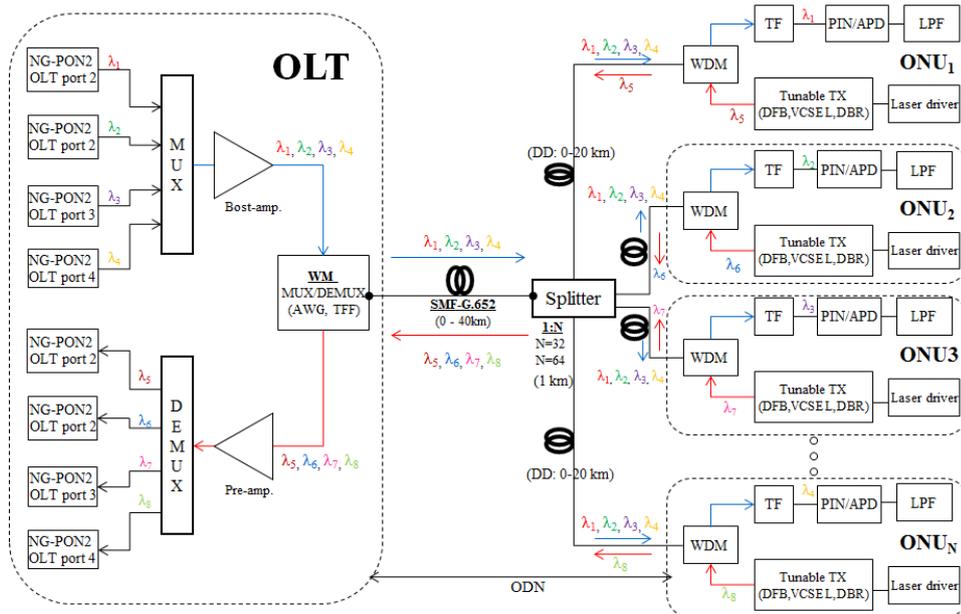


Figura 3.3: Arquitectura detallada de una TWDM-PON
Fuente: (Velásquez Micolta, 2014)

En la ONU se establece una distancia diferencial máxima de 40 km y su alcance es configurable (20 km - 40 km), lo que admitirá al menos 256 usuarios que pueden ser atendidos por un divisor de potencia de relación de división 1:64. Finalmente, en la ONU, otro filtro WDM aísla las señales directa e inversa y se debe usar un filtro sintonizable para seleccionar una longitud de onda específica para detectar fotodiodos PIN o APD de 10 Gb/s. Después de la detección óptica, se utilizará un filtro de paso bajo (LPF) para reducir el ruido generado por el amplificador de interferencia.

Por el contrario, la ONU Tx debe ser un dispositivo sintonizable (láser térmico DFB, VCSEL, DBR, etc.) para transmitir en diferentes longitudes de onda. La señal pasa por el filtro WDM al ODN, donde es ensamblada por el splitter y luego de 40 km de SMF, es filtrada por el WM, pre amplificada y demultiplexadas dentro del OLT.

Las ventajas de G.989.x en la implementación incluyen la capacidad de aumentar gradualmente el ancho de banda para satisfacer la demanda, aprovisionar canales según sea necesario utilizando la arquitectura de transmisión y selección, para reutilizar partes importantes de GPON y estándares y tecnologías de componentes 10G GPON y admitir acceso abierto utilizando múltiples OLT.

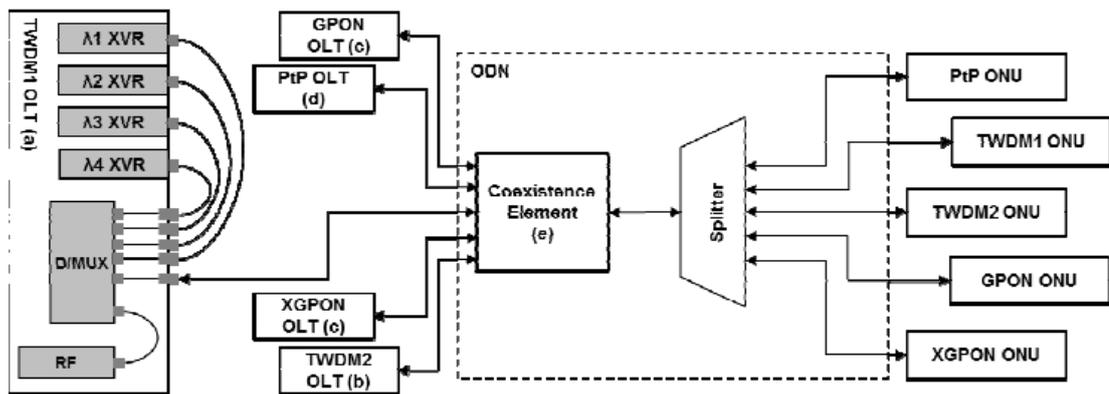


Figura 3.4: Arquitectura de red TWDM-PON

Fuente: (Murano, 2014)

En la figura 3.4 se muestra un ejemplo representativo de esta red, estos atributos dan como resultado una PON que puede coexistir con muchos esquemas de transmisión estándar comunes (Murano, 2014). La arquitectura de red TWDM-PON (a) Transceptores múltiples TWDM-OLT en detalle para resaltar los transceptores OLT individuales para un crecimiento incremental; (b) segundo TWDM-OLT para uso de acceso abierto; (c) OLT PON heredados que atienden a suscriptores de XG y GPON; (d) PtP WDM superpone puertos OLT; (e) factor de coexistencia para multiplexar y demultiplexar todos los puertos. El propio ODN permanece incoloro y se admiten todos los tipos de ONU.

3.2.1 Planes de longitud de onda para NG-PON 2

La siguiente tabla 3.1 especifica los planes de longitud de onda tanto para la PON TWDM como para la PON PtP WDM. El plan de longitudes de onda de NG-PON2 se especifica para permitir la coexistencia mediante la superposición de longitudes de onda con los sistemas PON heredados.

Tabla 3.1: Bandas de longitud de onda Downstream NG-PON2

Canal	Frecuencia central (THz)	Longitud de onda (nm)
1	187.8	1596.34
2	187.7	1597.19
3	187.6	1598.04
4	187.5	1598.89
5	187.4	1599.75
6	187.3	1600.60
7	187.2	1601.46
8	187.1	1602.31

Fuente: (Recommendation ITU-T G.989.2, 2019)

Los canales 1-4 se asignan a TWDM con cuatro longitudes de onda descendentes. Los canales 5-8 se asignan opcionalmente a TWDM y pueden ser utilizados por PtP WDM u otros sistemas cuando no están reservados para la expansión de TWDM. Los valores de frecuencia en esta tabla son normativos, mientras que los valores de longitud de onda son solo para información.

3.2.2 Parámetros de interfaz óptica Downstream

La siguiente tabla 3.2 de interfaz óptica descendente se aplican a longitudes de fibra entre 20 km y 40 km y de 1 a 8 canales TWDM

Tabla 3.2: Parámetros de la interfaz óptica por encima de 9,95328 Gb/s

OLT Transmisor		
Detalle	Unidad	Valor
Tarifa nominal de la línea	Gb/s	9.95328
Banda de longitudes de onda de funcionamiento	Nm	1596-1603

Frecuencia central de funcionamiento		THz	Tabla 3.1		
Separación de canales de funcionamiento		GHz	100		
Máxima excursión espectral		GHz	+/-20		
Código de línea	NRZ codificada				
Clase ODN		N1	N2	N3	N4
Potencia media de lanzamiento del canal mínimo	dBm	+3.0	+5.0	+7.0	+9.0
Potencia media de lanzamiento del canal máximo	dBm	+7.0	+9.0	+11.0	+11.0
Máximo de la DPM Downstream	dBm (15 GHz)				-63.7

Fuente: (Recommendation ITU-T G.989.2, 2019)

3.3 Arquitectura de NG-PON2 utilizando OptiSystem

El análisis de la simulación utilizando esta arquitectura, se utiliza la herramienta de programación OptiSystem, se realiza una comparación de multiplexación TWDM y OTDM para afinar la utilidad de la arquitectura NG-PON2, utilizando el BER Analyzer, en función del factor Q con su medida en dB y los diagramas de ojo.

La simulación se compone de tres componentes principales para una red PON, los cuales son los siguientes: el terminal de línea óptica (OLT) sirve para monitorear la transmisión de la red, la red de distribución óptica (ODN) que se utiliza para la distribución de información hasta el usuario final a través de elementos pasivos como combinadores NX1 o divisores 1XN, etc. Como último elemento la unidad de terminal óptica (ONU).

3.3.1 Simulación propuesta de TWDM basada en NG-PON2

A continuación, se toma como referencia la recomendación ITU-T 9.989 la tabla 3.3 muestra los parámetros utilizados para la simulación TWDM basada en NG-PON2 propuesta para el análisis de este documento.

Tabla 3.3: Parámetros de evaluación TWDM

Parámetros	Valores	
Bite rate	Upstream	10 Gb/s
	Downstream	40 Gb/s
TWDM-Longitudes de onda	Upstream	1524-1529 nm
	Downstream	1596-1602 nm
Espaciado de longitudes de onda	Upstream	0.85 nm
	Downstream	0.85 nm
Potencia de entrada	0-10 dbm	
Atenuación	0.2 dB/Km	
Dispersión	16.75 ps/ nm/Km	
Pendiente de dispersión	0.075 ps/nm ² /Km	
Sensibilidad	1 A/W	
Corriente latente	10 nA	
Ruido térmico	1.00e-23 W/Hz	
Frecuencia de corte de fibra	3.75e9 Hz	
Longitud de fibra	0-40 km	

Fuente: Autor

En la figura 3.5 muestra un sistema TWDM-PON con una distancia de transmisión 0 hasta 100 km. Esta simulación cuenta con tres secciones una Terminal de línea óptica (OLT), la red de distribución óptica (OND) como nodo remoto y 8 unidades de red óptica (ONU) como instalación de usuario final última milla.

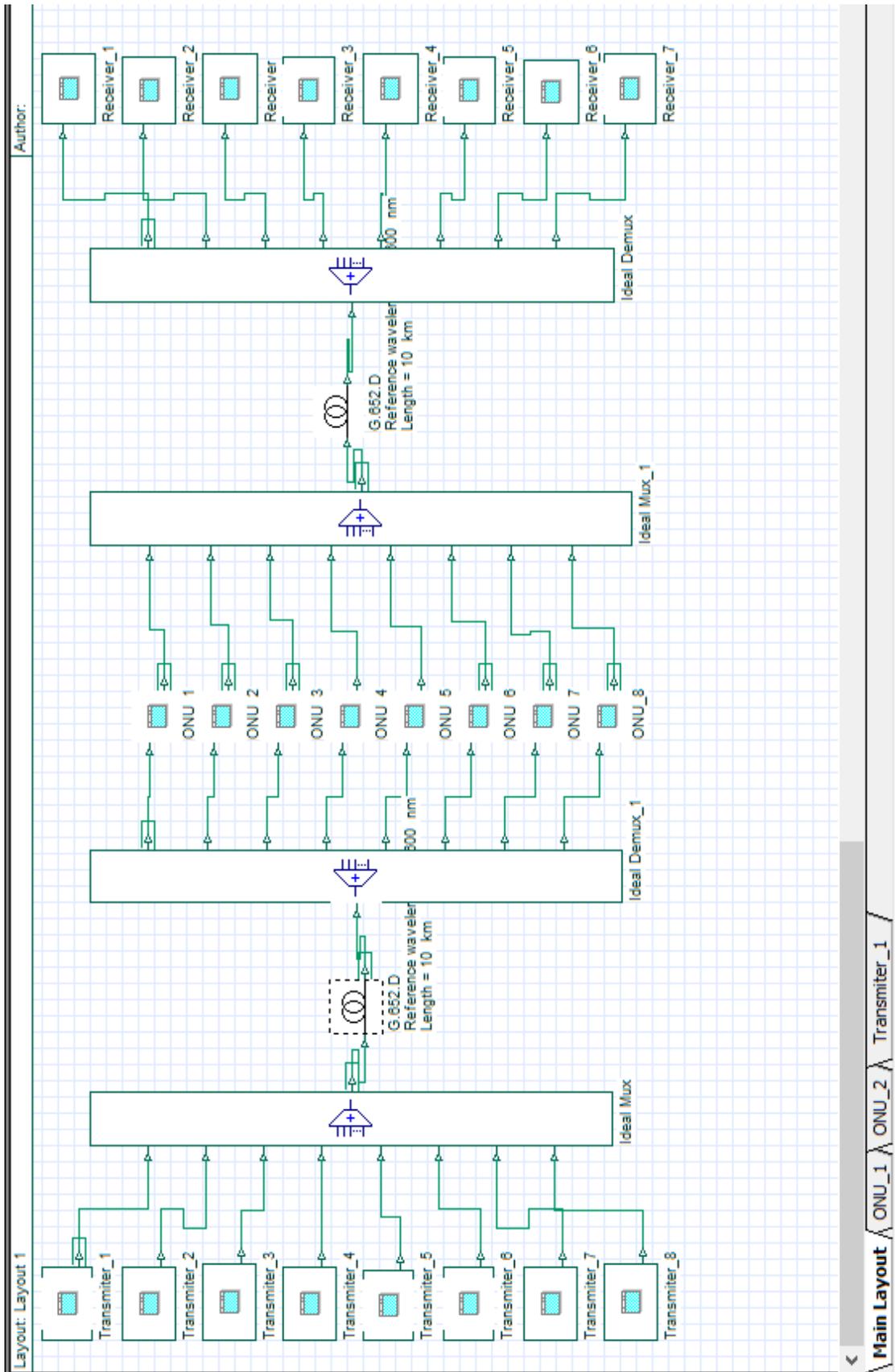


Figura 3.5: Simulación NG-PON2 TWDM

Fuente: Autor

3.3.1.1 Terminal de Línea Óptica OLT

La siguiente simulación de la OLT mostrada en la figura 3.6 en la sección que actúa como transmisor se utiliza la tabla 3.1 de longitud de onda con una separación de 0.85 nm en cada 1 de los 8 bloques que componen la transmisión downstream.



Figura 3.6: WDM Analizador
Fuente: Autor

Se utilizan los siguientes componentes mostrados en la figura 3.7 una potencia entrada mínima de 0 dBm hasta una potencia máxima de entrada de 10 dBm, un Generador de secuencias de bits pseudoaleatorias con una velocidad de transmisión de 10 Gb/s seguido de un generador de impulsos no retorno a cero (NRZ, No Return to Zero), simplifica la decodificación del orden diferente de los bits de señal de encendido/apagado se considera la decodificación base básica que adapta la señal al sistema de transmisión en uso y un modulador NRZ Mach-Zehnder.

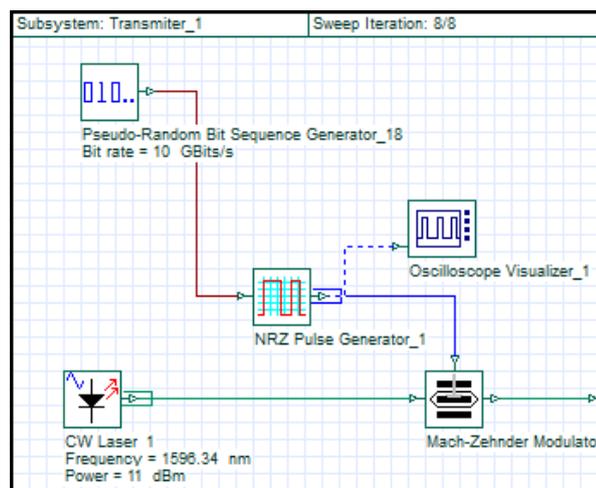


Figura 3.7: OLT Transmisor
Fuente: Autor

3.3.1.2 Red de Distribución Óptica OND

Es el principal medio de transmisión para este análisis se usará fibra óptica de 0 a 100 km entre la OLT y ONU, en la figura 3.8 se observa los parámetros utilizados siguiendo la recomendación de la normativa ITU-T G.652 donde se delimita la longitud de onda a utilizar además de la atenuación provocada por la misma.

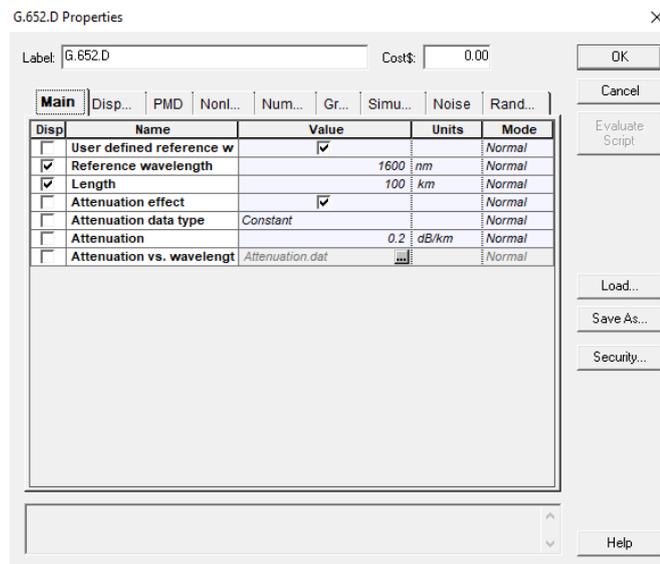


Figura 3.8: Red de distribución óptica (ODN)

Fuente: Autor

3.3.1.3 Unidad de red óptica ONU

En la unidad de red óptica como se muestra en la figura 3.10 se utiliza en cada ONU un fotodetector PIN, donde los pares de huecos de electrones que no se generan en la región de carga no son acelerados por el fuerte campo y por lo general, se recombinan antes de llegar a los terminales del fotodiodo, con los siguientes parámetros mostrados en la figura 3.9.

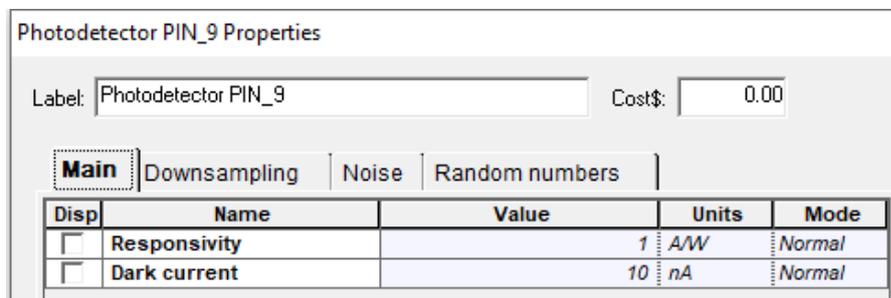


Figura 3.9: PIN photodetector

Fuente: Autor

Los dispositivos de filtro óptico son uno de los componentes importantes de un sistema de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) por esto se usa el elemento filtro óptico de Bessel adicional del filtro pasa bajos de Bessel por último se obtiene un regenerador óptico 3R convierte la información de fase de la señal BPSK en información de intensidad de luz, que es una técnica de demodulación de dominio óptico.

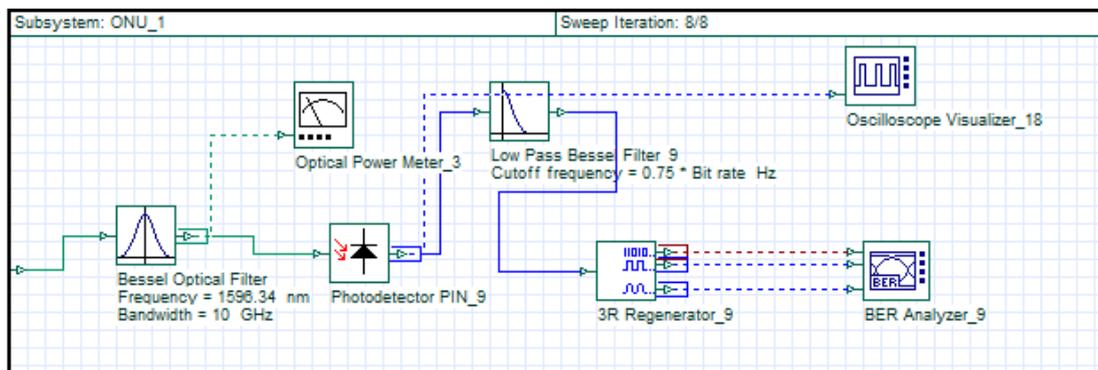


Figura 3.10: Unidad de red óptica
Fuente: Autor

En la figura 3.11 se observa los parámetros del filtro de paso bajo Bessel está sintonizado con una frecuencia de corte de 0,75, que corresponde al 75 de los componentes de frecuencia de una señal ideal.

Low Pass Bessel Filter_9 Properties

Label: Low Pass Bessel Filter_9 Cost\$: 0.00

Main Simulation

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff frequency	0.75 * Bit rate	5 Hz	Script
<input type="checkbox"/>	Insertion loss		3 dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Depth		100 dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Order		4	Normal

Figura 3.11: Filtro de paso bajo Bessel
Fuente: Autor

3.3.2 Simulación propuesta de OTDM basada en NG-PON 2

De acuerdo a la simulación propuesta de OTDM se utilizará los siguientes parámetros mostrados en la tabla 3.4

Tabla 3.4: Parámetros de evaluación OTDM

Parámetros	Valores	
Bite rate	Upstream	40 Gb/s
	Downstream	40 Gb/s
OTDM-Longitudes de onda	Upstream	1524 nm
	Downstream	1596.34 nm
Tiempo de retardo	0-3.5e-10 s	
Potencia de entrada	10 dbm	
Atenuación	0.2 dB/Km	
Dispersión	16.75 ps/ nm/Km	
Pendiente de dispersión	0.075 ps/nm ² /Km	
Sensibilidad	1 A/W	
Corriente latente	10 nA	
Ruido térmico	1.00e-23 W/Hz	
Frecuencia de corte de fibra	3.75e9 Hz	
Longitud de fibra	0-40 km	

Fuente: Autor

Consiguiente la transmisión de enlace downstream, se utiliza nuevamente un generador de secuencia de bits pseudoaleatorias (PRBS) combinado con un generador de impulsos sin retorno a cero (NRZ) generando un patrón de bits de 10 Gb/s.

Una fuente láser de onda continua con una potencia de entrada mínima de 0 dBm y una máxima de 10 dBm, operando a una longitud de onda de 1596.34 nm con un ancho de banda de 10 MHz como se muestra en la figura 3.12.

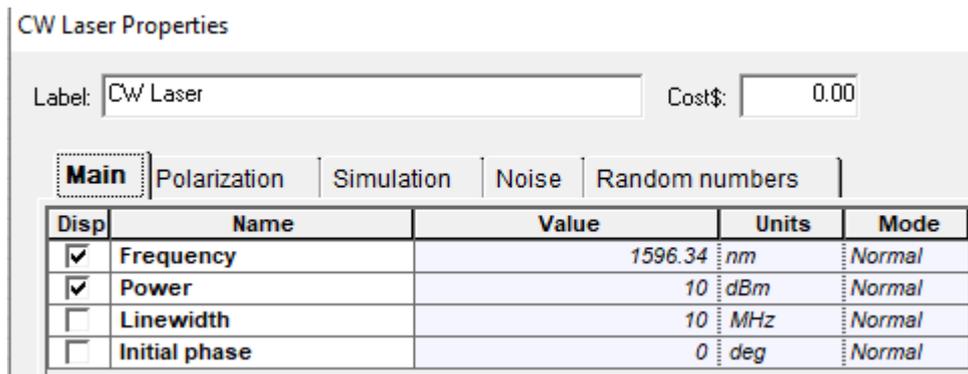


Figura 3.12: Fuente láser de onda continua
Fuente: Autor

Antes de la modulación por moduladores Mach-Zehnder (MZ) con una relación de extinción = 30 dB, cada canal de transmisión se asigna con un retardo de tiempo mostrado en la siguiente tabla 3.5 con una distancia de 5e-011 s.

Tabla 3.5: Tiempo de retado para los canales de transmisión

Canal	Longitud de onda (nm)	Frecuencia central (THz)	Tiempo de retardo (s)
1	1596.34	187.8	0
2	1596.34	187.8	5e-011
3	1596.34	187.8	1e-010
4	1596.34	187.8	1.5-010
5	1596.34	187.8	2e-010
6	1596.34	187.8	2.5e-010
7	1596.34	187.8	3e-010
8	1596.34	187.8	3.5e-10

Fuente: Autor

De acuerdo a los siguientes datos se obtiene 8 transmisores ubicados en la OLT con diferentes tiempos tiempo de retardo con una longitud de onda de 1596.34 nm alimentada por una por fuente de entra de 10 dBm como se muestra en la figura 3.13 a continuación.

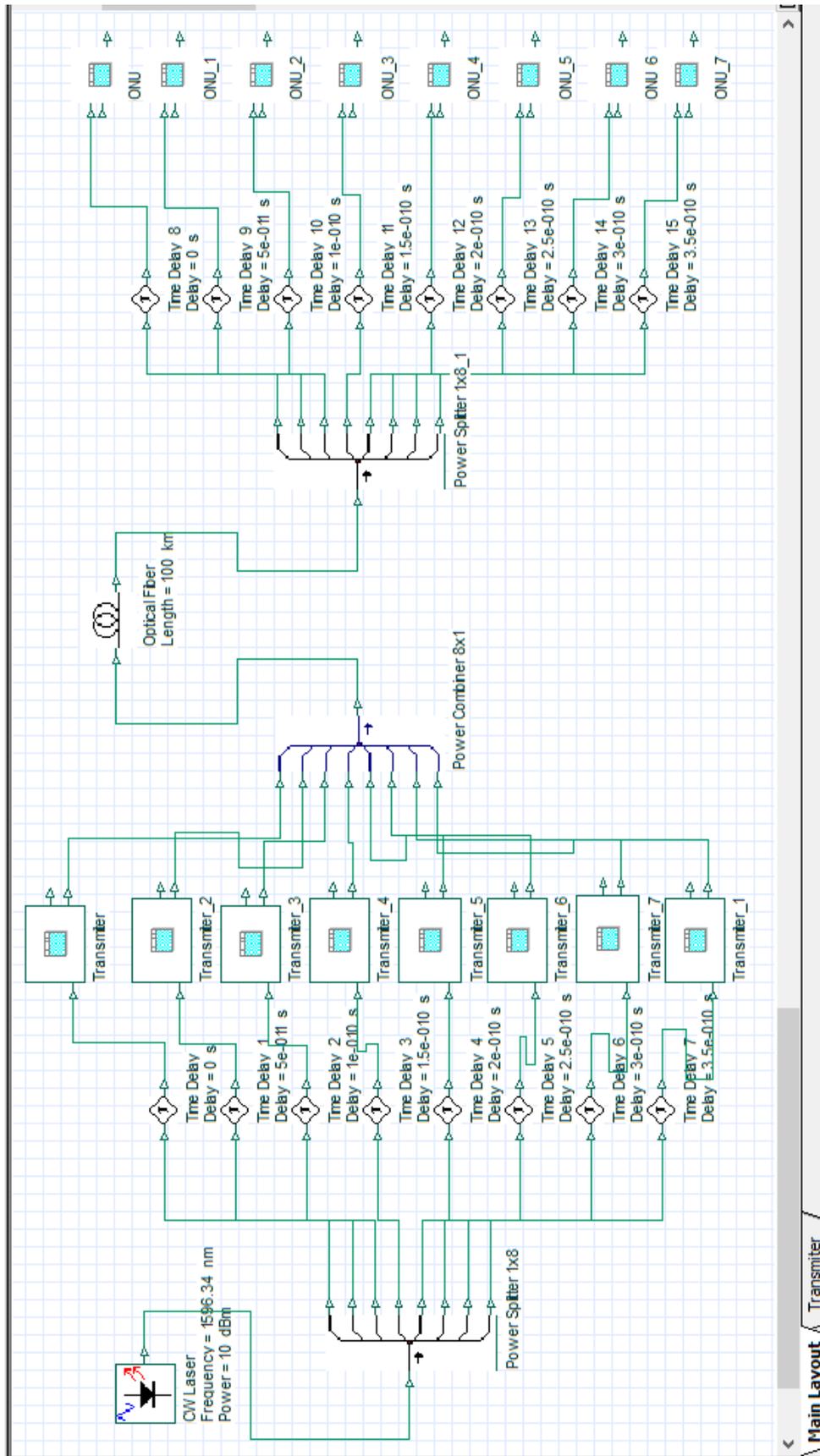


Figura 3.13: Simulación NG-PON2 OTDM

Fuente: Autor

3.4 Evaluación de los resultados de simulación

La evaluación del rendimiento de las arquitecturas TWDM y OTDM para la red pasiva NG-PON2 se obtiene información de las muestras obtenidas en el componente BER Analyzer.

3.4.1 Tasa de error de bits (BER, Bit Error Rate)

Uno de los cambios notorios en los modernos sistemas de comunicaciones digitales y su aportación a la ingeniería radioeléctrica es la necesidad de medir el rendimiento de extremo a extremo. La medida de ese rendimiento es la tasa de error de bits BER, que cuantifica la fiabilidad de todo el sistema de radio desde los bits de entrada hasta los bits de salida.

Cualquier análisis en profundidad de los procesos que afectan a la BER requiere un importante análisis matemático, el porcentaje de bits que poseen errores frente al número total de bits recibidos en una transmisión. Generalmente se expresa como 10 elevado a una potencia negativa.

En OptiSystem al utilizar el componente BER Analyzer se puede obtener los siguientes datos como BER, Factor Q y Diagrama de ojo en las 8 ONUS del prototipo utilizado en este estudio como se muestra en la figura 3.14. Con esta información da como resultado un total de 88 datos tomados entre las variaciones de potencia de entrada y longitud de fibra óptica entre la OLT y ONU en dirección downstream.

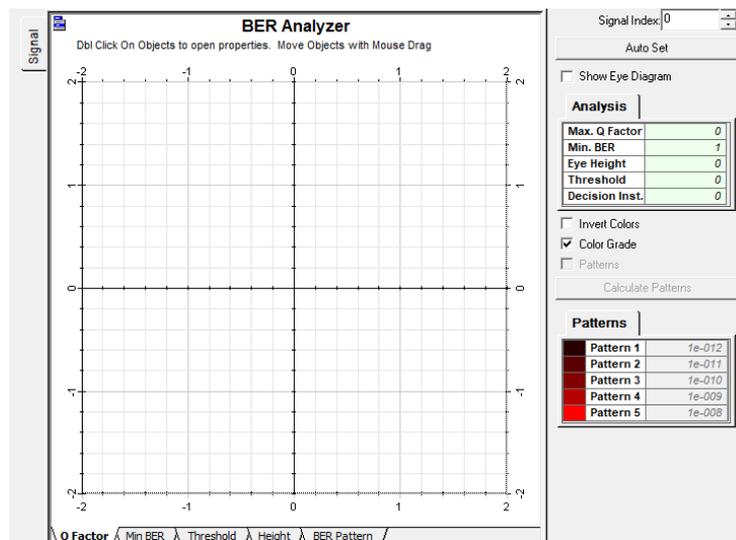


Figura 3.14: BER Analyzer

Fuente: Autor

3.5 Rendimiento de los resultados de simulación propuesta

Mediante la recolección de datos con la herramienta OptiSystem y su componente BER Analyzer estos datos en sus diferentes escenarios fueron acumulados en una hoja de Excel. A continuación, se muestra los datos obtenidos para cada caso se replantará mediante imágenes el punto inicial, medio y final de las simulaciones realizadas.

Para el primer caso mostrado en la figura se realiza la simulación propuesta de TWDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 0.1 km entre la OLT y ONU.

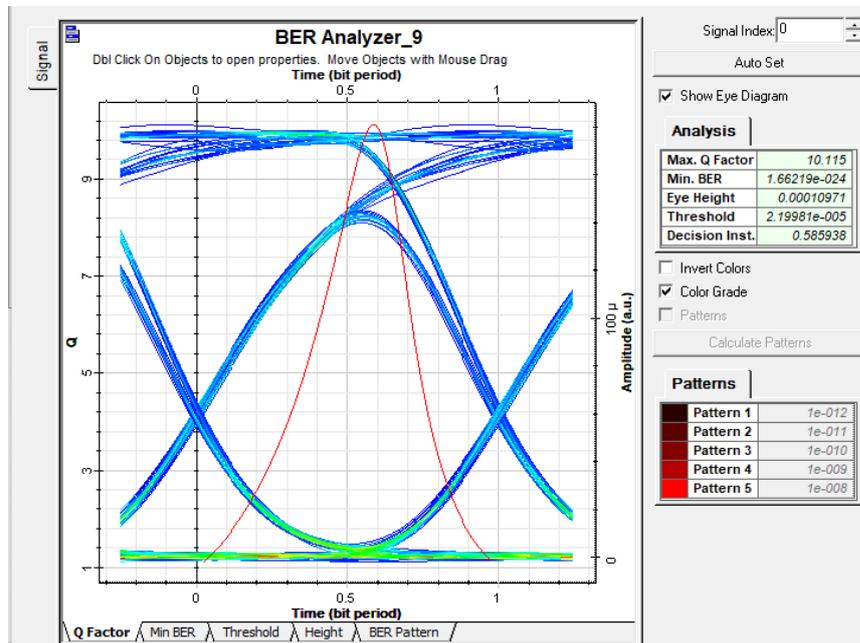


Figura 3.15: Simulación TWDM 1
Fuente Autor

En siguiente tabla 3.6 de análisis mostrada en la figura anterior se obtiene los siguientes datos

Tabla 3.6: Simulación TWDM 1

0.1 km-0dBm	
Factor Q	10,115
BER	1,66E-24
Diagrama de ojo	1.04E-4
Mejor instante de muestreo	0.585

Fuente: Autor

El segundo caso mostrado en la figura 3.16 se realiza la simulación propuesta de TWDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 20 km entre la OLT y ONU.

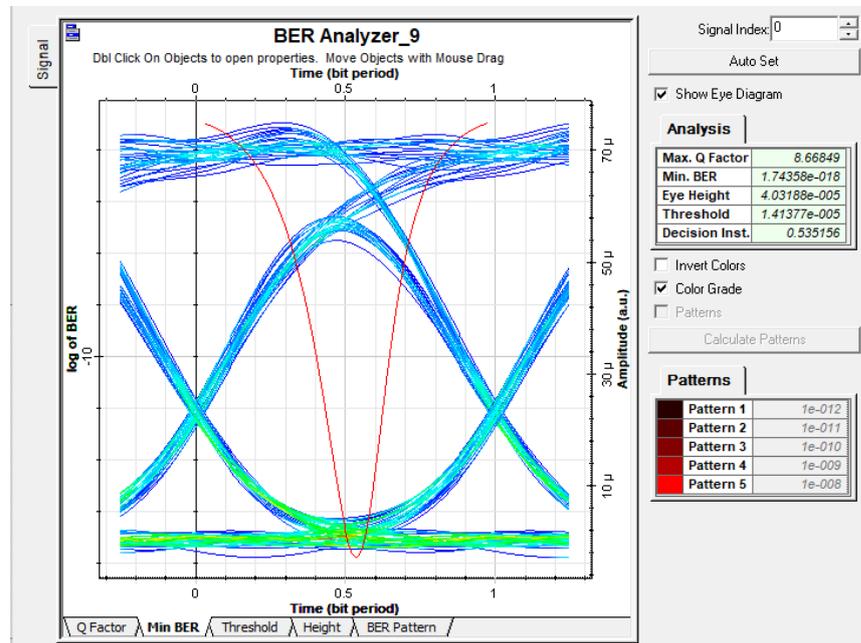


Figura 3.16: Simulación TWDM 2
Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.7 de análisis mostrada en la figura anterior se adquiere los siguientes datos

Tabla 3.7: Simulación TWDM 2

20 km-0dBm	
Factor Q	8,668
BER	1,74E-18
Diagrama de ojo	4.03E-5
Mejor instante de muestreo	0.535

Fuente: Autor

El tercer caso mostrado en la figura 3.17 se realiza la simulación propuesta de TWDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 100 km entre la OLT y ONU siendo este el punto más alejado para nuestro análisis.

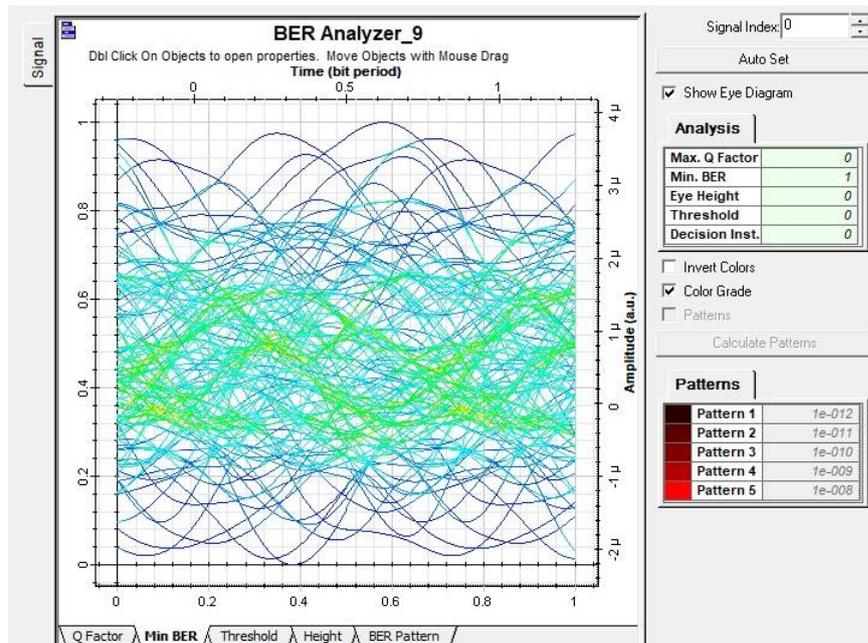


Figura 3.17: Simulación TWDM 3

Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.8 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.8: Simulación TWDM 3

100 km-0dBm	
Factor Q	0
BER	1
Diagrama de ojo	0
Mejor instante de muestreo	0

Fuente: Autor

Continuando con la serie de simulaciones realizadas se realiza el mismo procedimiento para la simulación propuesta OTDM basada en NG-PON2

Para el primer caso mostrado en la figura se realiza la simulación propuesta de OTDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 0.1 km entre la OLT y ONU.

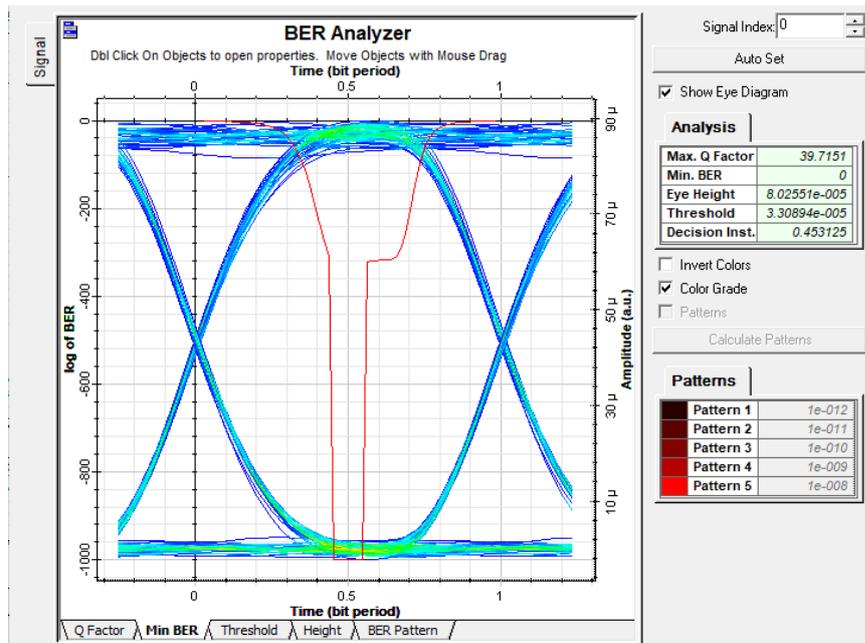


Figura 3.18: Simulación OTDM 1

Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.9 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.9: Simulación OTDM 1

0.1 km-0dBm	
Factor Q	39.71
BER	0
Diagrama de ojo	3.30E-5
Mejor instante de muestreo	0.453

Fuente: Autor

Para el segundo caso mostrado en la figura se realiza la simulación propuesta de OTDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 20 km entre la OLT y ONU.

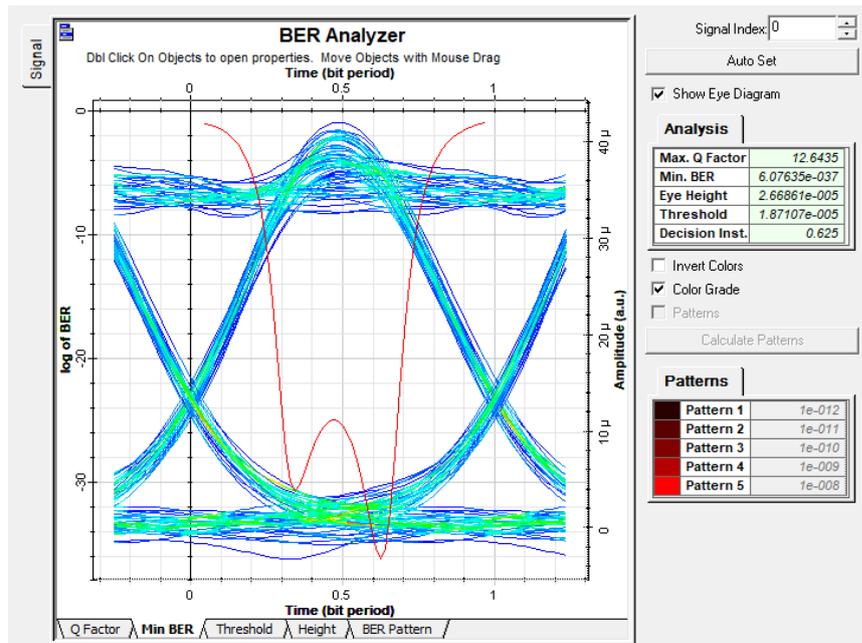


Figura 3.19: Simulación OTDM 2

Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.10 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.10: Simulación OTDM 2

20 km-0dBm	
Factor Q	12.643
BER	6.08E-37
Diagrama de ojo	1.87E-5
Mejor instante de muestreo	0.65

Fuente: Autor

Para el tercer caso mostrado en la figura 3.20 se realiza la simulación propuesta de OTDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 0 dBm a una distancia de 100 km entre la OLT y ONU siendo este el punto más alejado para nuestro análisis.

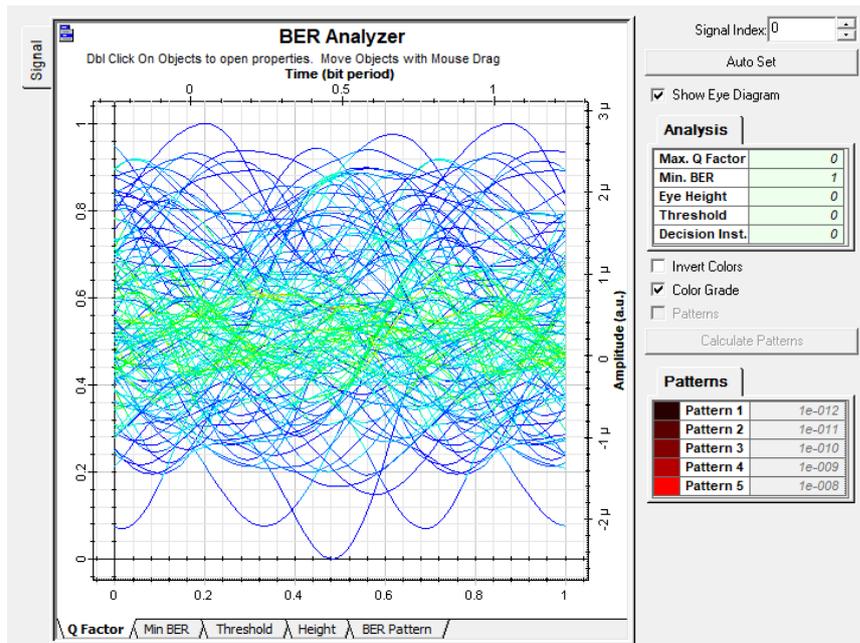


Figura 3.20: Simulación OTDM 3

Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.11 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.11: Simulación OTDM 3

100 km-0dBm	
Factor Q	0
BER	1
Diagrama de ojo	0
Mejor instante de muestreo	0

Fuente: Autor

Como se puede observar las propuestas TWDM y OTDM al llegar a los 100 Km llegamos al mismo valor de la tabla 3.9 por lo tanto se realiza 2 simulaciones más con una potencia de entrada de 10 dBm a una distancia máxima de 100 km.

Para el siguiente caso mostrado en la figura 3.21 se realiza la simulación propuesta de TWDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 10 dBm a una distancia de 100 km entre la OLT y ONU siendo este el punto más alejado para nuestro análisis.

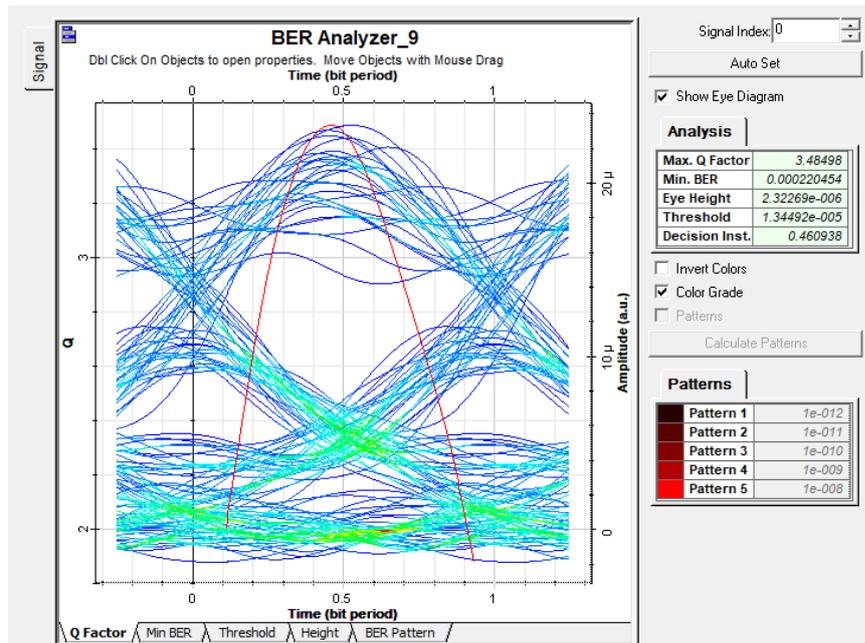


Figura 3.21: Simulación TWDM 100 km
Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.12 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.12: Simulación TWDM

100 km-10dBm	
Factor Q	3.489
BER	2.20E-4
Diagrama de ojo	1.34e-5
Mejor instante de muestreo	0.46

Fuente: Autor

A continuación, en este último caso mostrado en la figura 3.22 se realiza la simulación propuesta de OTDM basada en NP-PON2 con una potencia de entrada de 10 dBm a una distancia de 100 km entre la OLT y ONU siendo este el punto más alejado para nuestro análisis.

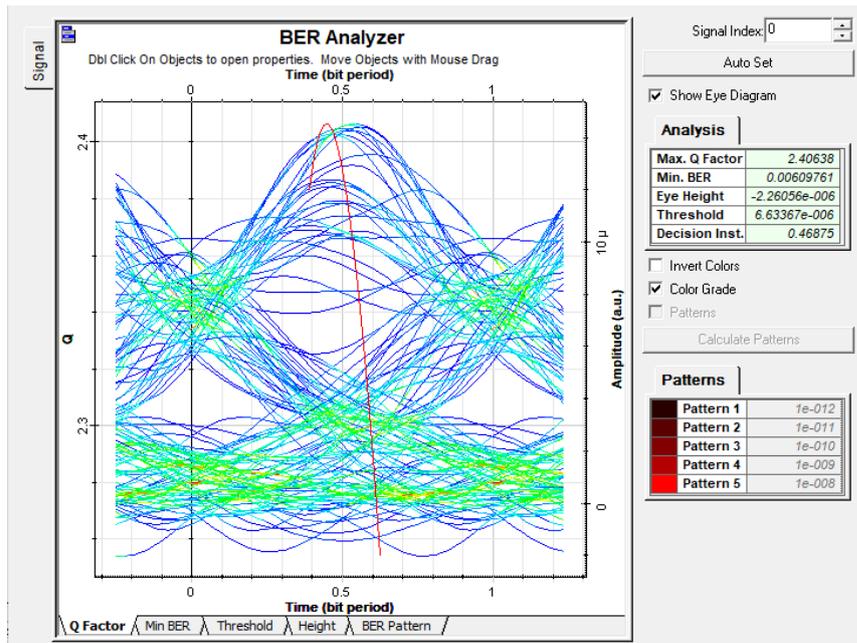


Figura 3.22: Simulación OTDM 100 Km
Fuente: Autor

En siguiente tabla 3.13 de análisis mostrada en la figura anterior muestra los siguientes datos

Tabla 3.13: Simulación OTDM

100 km-10dBm	
Factor Q	2.406
BER	6.09E-3
Diagrama de ojo	6.63E-5
Mejor instante de muestreo	0.46

Fuente: Autor

Con toda la información recolectada en de los prototipos TWDM y OTDM se obtuvo un total de 44 muestras solo evaluando la primer ONU a diferentes longitudes de fibra óptica hasta llegar a su máximo alcance 100 Km en este análisis.

Acto continuo se adjunta la primera tabla 3.14 de resultados comparando la arquitectura TWDM y OTDM a una potencia de entrada de 0 dBm

Tabla 3.14: Comparación 1 de TWDM y OTDM

Potencia de entrada		0 dBm		
Arquitectura	TWDM		OTDM	
Distancia (Km)	Factor Q	BER	Factor Q	BER
0.1	10.115	1.66E-24	39.715	0
0.5	10.111	1.70E-24	37.637	2.52E-310
1	10.042	3.52E-24	43.428	0
5	9.834	2.95E-24	32.459	1.95E-231
10	9.437	1.47E-21	22.920	1.44E-116
15	8.907	1.98E-19	15.781	2.08E-56
20	8.668	1.74E-18	12.643	6.08E-37
25	8.267	5.59E-17	11.013	1.63E-28
30	7.956	7.33E-16	8.458	1.35E-17
40	6.525	3.07E-11	6.078	6.07E-10
100	0	1	0	1

Fuente: Autor

La siguiente tabla 3.15 de resultados comparando la arquitectura TWDM y OTDM a una potencia de entrada de 10 dBm.

Tabla 3.15: Comparación 2 de TWDM y OTDM

Potencia de entrada		10 dBm		
Arquitectura	TWDM		OTDM	
Distancia (Km)	Factor Q	BER	Factor Q	BER
0.1	10.290	2.67E-25	81.214	0
0.5	10.262	3.58E-25	81	0
1	10.283	2.98E-25	84.638	0
5	10.154	1.10E-24	53.709	0
10	9.902	1.43E-23	31.362	3.33E-216
15	9.553	4.53E-22	22.229	8.84E-110
20	9.253	8.05E-21	17.03	2.46E-65
25	8.915	1.85E-19	14.562	2.41E-48
30	8.629	2.40E-18	11.638	1.27E-31
40	8.199	1.03E-16	9.421	2.05E-21
100	3.484	2.20E-04	2.406	6.09E-03

Fuente: Autor

Al analizar la tabla 3.15 con una potencia de entrada de 10 dBm los resultados muestran que la distancia de transmisión estable correspondiente al factor $Q \geq 6$ para OTDM y TWDM es de una distancia de 40 y 60 km. Los diagramas de ojos con la correspondiente altura de ojos para OTDM y TWDM PON en distancias de 20, 40 y 100 km de distancia se muestran en la Figura 3.21 y 3.22. Estos diagramas muestran que el factor Q máximo corresponde a una gran apertura de ojos, mientras que el factor Q mínimo corresponde a una a una pequeña apertura de ojos respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que la TWDM propuesta supera a OTDM y puede ser preferido para la transmisión de largo alcance.

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos en este análisis se puede observar que el despliegue de esta nueva generación de redes alámbricas con el estándar NG-PON2, ofrece velocidades más altas, flexibilidad para separar el tráfico en longitudes de onda desde 1596 a 1602 nm además de la capacidad de usar esta división para brindar diferentes calidades de servicio a los usuarios finales.

Se realizaron pruebas de estudio comparando mediante simulación la arquitectura de multiplexación recomendada por la ITU-T y el estándar G989.2 donde señala que TWDM es una multiplexación híbrida y tiene un enfoque para utilizar 4 canales para longitudes de onda que soporta velocidad de bajada hasta 40 Gb/s y una velocidad de subida de 10 Gb/s al realizar una comparación de con la multiplexación OTDM propuesta se observa que el rendimiento de esta arquitectura de depender tanto de la velocidad de Bits y de una longitud de onda adicional a medida que se aumenta la longitud de onda aumenta la BER en el sistema óptico.

Se concluye que TWDM es adecuado para aplicaciones de larga distancia, alta velocidad y bajo costo con baja potencia de entrada para aplicaciones NG-PON2. Ofreciendo un ancho de banda mejorado, eficiencia energética y un alcance mejorado por lo tanto se asume que tendría un costo general reducido en áreas remotas como zonas rurales y pueblos.

Recomendaciones

Simular la migración de la red alámbrica de G-PON a NG-PON2 mediante la plataforma OptiSystem, plantear la coexistencia de estas tecnologías mediante BER Analyzer.

Realizar un estudio económico del costo de la migración de redes alámbricas en nuestro país a corto y media plazo.

Analizar y simular arquitectura WDM-PON no simulada en este documento.

Mejorar la propuesta presentada en este documento para la multiplexación OTDM y sea capaz de competir con la recomendada TWDM.

Bibliografía

- Abreu, M., Castagna, A., Cristiani, P., Zunino, P., Roldós, E., & Sandler, G. (2009). *CARÁCTERÍSTICAS GENERALES DE UNA RED DE FIBRA ÓPTICA AL HOGAR (FTTH)*. 9.
- Al-Azzawi, A. (2017). *Fiber Optics: Principles and Advanced Practices, Second Edition*. CRC Press.
- Andrade, F. (2020, agosto 17). *¿Qué es el cable de fibra óptica?* Cablecom. <https://www.cablecom.com.ec/post/qué-es-el-cable-de-fibra-óptica>
- Arvelaez, J. M., León, D. G., & Pisco, A. Z. (2021). Diseño de un enlace de fibra óptica para la interconexión en la carrera de electrónica del Instituto Superior Tecnológico Simón Bolívar. *Cotopaxi Tech*, 1(1), 7-21.
- Bernal, S. (2018, marzo 1). *Tipo de fibra optica Capitulo 2 Multimodo (MM)*. solutionsfttx. <https://www.solutionsfttx.com/single-post/2018/03/01/tipo-de-fibra-optica-capitulo-2-multimodo-mm>
- Blake, R. (2004). *SISTEMAS ELECTRÓNICOS DE COMUNICACIONES*. Thomson Learning.
- Cando Torres, C. P. (2020). *Análisis comparativo entre NGPON2 y GPON para mejorar el desempeño de las redes pasivas de fibra óptica FTTH*. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14083>
- Cerda, L. M. C. (1998). *Instalaciones de fibra óptica: Fundamentos, técnicas y aplicaciones*. McGraw-Hill, Interamericana de España.

- Chanclou, P., Cui, A., Geilhardt, F., Nakamura, H., & Nettet, D. (2012). Network operator requirements for the next generation of optical access networks. *IEEE Network*, 26(2), 8-14. <https://doi.org/10.1109/MNET.2012.6172269>
- Cully, B. (2019, julio 23). *Choosing Between Single Mode vs Multimode Fibers*. OFS. <https://www.ofsoptics.com/single-vs-multimode-fiber/>
- Gallardo Vásquez, S. (2015). *Elementos de sistemas de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo.
- Horvath, T., Oujezsky, V., Munster, P., Vojtech, J., Havlis, O., & Sikora, P. (2017). Modified GIANT Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm of NG-PON. *Journal of Communications Software and Systems*, 13(1), 15-22.
- Huidrobo Moya, J. (2006). *Redes y servicios de telecomunicaciones*. Editorial Paraninfo.
- Jianhe Gao, Lei Wang, Huafeng Lin, Xiaoping Zhou, Dekun Liu, Effenberger, F., Ning Cheng, & Bo Gao. (2013). Flexible TWDM PON with Load Balancing and Power Saving. *39th European Conference and Exhibition on Optical Communication (ECOC 2013)*, 576-578. <https://doi.org/10.1049/cp.2013.1465>
- Kumari, M., Sharma, R., & Sheetal, A. (2020). Performance analysis of high speed backward compatible TWDM-PON with hybrid WDM–OCDMA PON using different OCDMA codes. *Optical and Quantum Electronics*, 52(11), 1-59. <https://doi.org/10.1007/s11082-020-02597-x>
- Martínez, J. L. (2018, agosto 20). *PRORED - La propagación de la luz en la fibra óptica*. PRORED. <https://www.prored.es/la-propagacion-de-la-luz/>

- Micolta, V., & Camilo, J. (2014). *Analysis of performances and tolerances of the second generation passive optical networks (NG-PON2) for FTTH systems = Análisis de rendimientos y tolerancias de redes ópticas pasivas de segunda generación (NG-PON2) para sistemas FTTH*. <https://www.cervantesvirtual.com/obra/analysis-of-performances-and-tolerances-of-the-second-generation-passive-optical-networks-ng-pon2-for-ftth-systems-analisis-de-rendimientos-y-tolerancias-de-redes-opticas-pasivas-861284/>
- Muciaccia, T., Gargano, F., & Passaro, V. (2014). Passive Optical Access Networks: State of the Art and Future Evolution. *Photonics*, 1, 323-346. <https://doi.org/10.3390/photonics1040323>
- Murano, R. (2014). Optical Component Technology Options for NGPON2 Systems. *Optical Fiber Communication Conference*, M3I.1. <https://doi.org/10.1364/OFC.2014.M3I.1>
- Ramaswami, R., Sivarajan, K., & Sasaki, G. (2009). *Optical Networks: A Practical Perspective*. Morgan Kaufmann.
- Recommendation ITU-T G.989.2. (2019). *G.989.2 : Redes ópticas pasivas con capacidad de 40 Gigabits 2 (NG-PON2): Especificación de capa dependiente del medio físico (PMD)*. <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.2/es>
- Susanto, T., Hartono, K. J., & Nainggolan, B. (2007). Riset Strategi Implementasi C-RAN di Telkomsel Melalui Kolaborasi Jaringan NG-PON2 di Telkom Akses Menggunakan Pendekatan Metode Strategic Situation Analysis. *Jurnal Manajemen Indonesia*, 17(1), 49-66. <https://doi.org/10.25124/jmi.v17i1.862>

Thyagarajan, K., & Ghatak, A. (2007). *Fiber Optic Essentials: Thyagarajan/Fiber Optic*. John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/9780470152560>

Turmero, P. (2016, abril 13). Transmisión por fibra óptica. *Monografias.com*.
<https://www.monografias.com/trabajos108/transmision-fibra-optica/transmision-fibra-optica>

Velásquez Micolta, J. C. (2014). *Analysis of performances and tolerances of the second generation passive optical networks (NG-PON2) for FTTH systems = Análisis de rendimientos y tolerancias de redes ópticas pasivas de segunda generación (NG-PON2) para sistemas FTTH* [Universidad Politécnica de Catalunya].
<https://babel.banrepcultural.org/digital/collection/p17054coll23/id/10/>

YCICT. (2017a). Huawei HG8245H FTTH Huawei ONT TERMINAL ÓPTICO ONU YCICT. *ycict*. <https://www.ycict.net/es/products/huawei-hg8245h-ftth/MA5683T> * SCUN://www.ycict.net/products/huawei-hg8245h-ftth/

YCICT. (2017b). Huawei SmartAX MA5800 X17 OLT Huawei MA5800 HUAWEI OLT YCICT. *ycict*. <https://www.ycict.net/es/products/huawei-smartax-ma5800-x17-olt/MA5683T> 2 * SCUN://www.ycict.net/products/huawei-smartax-ma5800-x17-olt/

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis y evaluación de NG-PON2 utilizando técnica de multiplexación OTDM.		
AUTOR(ES)	Landa Llerena Johnnathan Daniel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo		
CARRERA:	Ingeniería en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Ingeniero en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	19 de septiembre del 2022	No. DE PÁGINAS:	56
ÁREAS TEMÁTICAS:	Tecnología de la comunicación, Red de telecomunicaciones		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Fibra óptica, Internet		
<p>RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras): En este trabajo de titulación se analiza el comportamiento de una red óptica pasiva está reconocida como la red por excelencia prometedora para satisfacer la necesidad prevista de OAN, ya que soporta la red central, la red metropolitana y los servicios de fibra hasta la red. Sin embargo, se enfrenta un problema de la creciente dependencia del ancho de banda de transmisión. los sistemas como GPON y su predecesor XGPON son las tecnologías más implementadas alrededor del mundo de las telecomunicaciones, pero debido a la gran demanda de los usuarios finales y al ancho de banda más amplio que los servicios de comunicación requieren habitualmente, la capacidad de los sistemas PON llegaron su máximo aforo y apareció NGPON2. La solución de mayor ancho de banda y número de participantes. Las técnicas de multiplexación utilizadas en el presente de las comunicaciones de fibra óptica son el principal mecanismo para el desenvolvimiento de la ingeniería de red empleando diferentes variables, como la frecuencia, tiempo, espacio o polaridad, dependiendo el enfoque tiene capacidad para brindar mejoras en el cambio de velocidad de información. Las ventajas de G.989.x en la implementación incluyen la capacidad de aumentar gradualmente el ancho de banda para satisfacer la demanda, aprovisionar canales según sea necesario utilizando la arquitectura de transmisión y selección, para reutilizar partes importantes de GPON y estándares y tecnologías de componentes 10G GPON y admitir acceso abierto utilizando múltiples OLT.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593992612533	E-mail: daniel.ang96@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN: COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Nombre: Velez Tacuri, Efrain Oliverio		
	Teléfono: +593-99 408 4215		
	E-mail: efrain.velez@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			