

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y  
ELECTRÓNICA**

**ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAS TECNOLOGÍAS DE  
REDES DE ACCESO ÓPTICAS GPON Y XGS- PON**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**EDGAR MAURICIO MACAS TOPÓN**

**edgar.macas@epn.edu.ec**

**DIRECTORA: M.Sc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ**

**maria.jimenez@epn.edu.ec**

**Quito, Febrero 2022**

## **AVAL**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edgar Mauricio Macas Topón, bajo mi supervisión.

---

**M.Sc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ**  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Edgar Mauricio Macas Topón, declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración dejo constancia de que la Escuela Politécnica Nacional podrá hacer uso del presente trabajo según los términos estipulados en la Ley, Reglamentos y Normas vigentes.



---

Edgar Mauricio Macas Topón

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo a mis padres y abuelos quienes me han apoyado para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ya que ellos siempre han estado presentes para apoyarme moral y psicológicamente.

*Edgar Macas*

## **AGRADECIMIENTO**

El principal agradecimiento es a Dios, quien me ha guiado y me ha dado la fortaleza para seguir adelante.

A mi familia por su constante apoyo a lo largo de mis estudios y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

*Edgar Macas*

# ÍNDICE DE CONTENIDO

AVAL.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	II
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	X
ABSTRACT.....	XI
1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.2 ALCANCE .....	3
1.3 MARCO TEÓRICO .....	3
1.3.1 FIBRA ÓPTICA.....	4
1.3.1.1 TIPOS DE FIBRA ÓPTICA.....	4
1.3.1.2 VENTANAS DE TRANSMISIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA .....	6
1.3.1.3 ATENUACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA .....	7
1.3.1.4 DISPERSIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA.....	9
1.3.1.4.1 DISPERSIÓN CROMÁTICA .....	9
1.3.1.4.2 DISPERSIÓN POR MODO POLARIZADO .....	10
1.3.2 FIBRA HASTA LA X (FTTX).....	11
1.3.3 CABLES DE FIBRA ÓPTICA .....	13
1.3.3.1 FIBRAS NORMALIZADAS .....	13
1.3.3.2 FIBRA MONOMODO ESTÁNDAR.....	13
1.3.3.3 FIBRA BASADA EN LA ITU-T G.657.....	15
1.3.3.4 CABLE EXTERIOR (PROTECTOR) .....	16
1.3.4 TÉCNICAS DE MULTIPLEXADO.....	17
1.3.5 RED DE ACCESO ÓPTICO .....	19

1.3.5.1	CLASIFICACIÓN DE LAS REDES DE ACCESO DE FIBRA ÓPTICA .....	19
1.3.6	REDES PON.....	19
1.3.6.1	COMPONENTES DE UNA RED PON .....	20
1.3.6.2	ESTÁNDARES DE LA FAMILIA PON (XPON) .....	21
1.3.7	ESTÁNDAR GPON.....	23
1.3.7.1	ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR GPON.....	24
1.3.7.2	CONTENEDORES DE TRANSMISIÓN (T-CONT – TRANSMISSION CONTAINER) .....	27
1.3.7.3	MÉTODO DE ENCAPSULACIÓN GEM.....	29
1.3.8	ESTÁNDAR XGS-PON.....	30
1.3.8.1	ARQUITECTURA DEL ESTÁNDAR XGS-PON.....	31
1.3.8.1.1	MÉTODO DE ENCAPSULACIÓN XGEM.....	32
1.3.9	ELEMENTOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA .....	33
1.3.9.1	EMPALME POR FUSIÓN.....	33
1.3.9.2	CONECTORES DE FIBRA ÓPTICA .....	33
1.3.9.3	PIGTAIL .....	33
1.3.9.4	PATCHCORDS.....	34
1.3.9.5	ATENUADORES ÓPTICOS .....	34
1.3.9.6	CAJA DE EMPALME .....	34
1.3.9.7	MANGAS.....	34
1.3.9.8	PUNTO DE ACCESO A LA RED O NAP ( <i>NETWORK ACCESS POINT</i> ) .....	34
1.3.9.9	CABLE DROP ÓPTICO.....	34
2.	METODOLOGÍA.....	36
2.1	ANÁLISIS TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA GPON .....	36
2.1.1	ESTRUCTURA GPON.....	36
2.1.2	SERVICIOS SOPORTADOS.....	38

2.1.3	LONGITUDES DE ONDAS.....	38
2.1.4	ESPECIFICACIONES DE ATENUACIÓN DE LA ODN.....	40
2.1.5	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.....	41
2.1.6	NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA DE LOS DIPOSITIVOS OLT Y ONU.....	42
2.1.7	ALCANCE .....	43
2.1.8	DIVISIÓN DE POTENCIA ÓPTICA.....	43
2.1.9	ARQUITECTURAS TÍPICAS DE SISTEMAS .....	44
2.1.10	INTEGRACIÓN DE LOS SERVICIOS.....	46
2.1.11	MULTIPLEXACIÓN Y ENCAPSULAMIENTO DE DATOS.....	47
2.1.12	EXTENSIÓN DE ALCANCE.....	51
2.2	ANÁLISIS TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA XGS-PON.....	52
2.2.1	ESTRUCTURA XGS-PON.....	52
2.2.2	SERVICIOS SOPORTADOS.....	53
2.2.3	LONGITUDES DE ONDAS.....	54
2.2.4	ESPECIFICACIONES DE ATENUACIÓN DE LA ODN.....	54
2.2.5	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.....	55
2.2.6	NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA DE LOS DIPOSITIVOS OLT Y ONU.....	55
2.2.7	ALCANCE .....	56
2.2.8	DIVISIÓN DE POTENCIA ÓPTICA.....	56
2.2.9	ARQUITECTURAS TÍPICAS DE SISTEMAS .....	57
2.2.10	INTEGRACIÓN DE LOS SERVICIOS.....	60
2.2.11	MULTIPLEXACIÓN Y ENCAPSULAMIENTO DE DATOS.....	63
2.2.12	EXTENSIÓN DE ALCANCE.....	65
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	69
3.1	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA GPON Y LA TECNOLOGÍA XGS-PON	69



3.1.1	ESTRUCTURA .....	69
3.1.2	COMPARACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS .....	71
3.1.2.1	SERVICIOS SOPORTADOS.....	71
3.1.2.2	LONGITUDES DE ONDA.....	72
3.1.2.3	ESPECIFICACIONES DE ATENUACIÓN DE LA ODN.....	72
3.1.2.4	VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN.....	73
3.1.2.5	NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA DE LOS DISPOSITIVOS OLT Y ONU ...	74
3.1.2.6	ALCANCE .....	75
3.1.2.7	DIVISIÓN DE POTENCIA ÓPTICA.....	75
3.1.3	ARQUITECTURAS DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS .....	75
3.1.4	INTEGRACIÓN DE SERVICIOS Y TRÁFICO DE DATOS.....	76
3.2	ANÁLISIS DE LA COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON EN LAS REDES ACTUALES .....	78
3.2.1	LINEAMIENTOS Y ESCENARIOS TÉCNICOS DE COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON.....	78
3.2.2	TENDENCIAS PARA LA COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON A NIVEL MUNDIAL	85
3.2.3	ACTUALIZACIÓN DE LAS REDES ÓPTICAS DE BANDA ANCHA EN ECUADOR.....	88
3.2.3.1	SITUACIÓN ACTUAL DE ECUADOR EN RELACIÓN A LOS SISTEMAS ÓPTICOS DE BANDA ANCHA.....	88
3.2.3.2	GPON EN ECUADOR .....	91
3.3	XGS-PON EN EL MUNDO .....	93
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	94
4.1	CONCLUSIONES .....	94
4.2	RECOMENDACIONES.....	95
5.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	96
6.	ANEXOS.....	100

ANEXO A. PARÁMETROS DE LA CAPA DEPENDIENTE DEL MEDIO FÍSICO– GPON100	
ANEXO B. PARÁMETROS DE LA CAPA DEPENDIENTE DEL MEDIO FÍSICO – XGS-PON .....	110
ANEXO C. PARÁMETROS DE LAS LONGITUDES DE ONDA EN GPON.....	113

## RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como propósito realizar un análisis técnico comparativo entre los estándares de redes de acceso ópticas pasivas GPON (*Gigabyt Passive Optical Network*) y XGS-PON (*X-roman numeral Gigabyt Symmetric PON*), tomando en cuenta los principales parámetros que faciliten la diferenciación y descripción de la coexistencia entre estas dos tecnologías.

En el primer capítulo, se presenta un compendio de consideraciones teóricas en las cuales sustenta el trabajo de investigación, en pro de describir los diferentes términos, tecnologías y elementos que permiten la consolidación del conocimiento en base a las redes de acceso óptico, fibra óptica, redes PON y su evolución, redes FTTx y elementos de redes ópticas.

En el segundo capítulo, se expone una extracción y síntesis técnica basadas en las normativas de las familias ITU-T (*Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union*) G.984.x e ITU-T G.9807.x, así como las que se desligan de estas, que representan un punto focal para realizar el análisis comparativo con bases técnicas y un estudio de coexistencia.

El tercer capítulo se toma en cuenta los resultados de los anteriores capítulos y se genera una discusión en torno a la comparación de tecnologías GPON y XGS-PON, en términos de estructura. Además, se realiza una comparación de parámetros técnicos: servicios soportados, longitudes de onda, etc. Finalmente se realiza un análisis de coexistencia entre las dos redes y se realiza un análisis de XGS-PON en el mundo.

Por último, se presentan las conclusiones y recomendaciones que se desglosan del trabajo de investigación realizado.

**PALABRAS CLAVE:** GPON, XGS-PON, Redes Ópticas, PON, ITU G.984.x, ITU.G.9807.x

## **ABSTRACT**

The purpose of this degree work is to carry out a comparative technical analysis between the passive optical access network standards GPON (Gigabyt Passive Optical Network) and XGS-PON (X-roman numeral Gigabyt Symmetric PON), considering the main parameters that facilitate the differentiation and description of the coexistence between these two technologies.

In the first chapter, a compendium of theoretical considerations is presented on which the research work is based, to describe the different terms, technologies and elements that allow the consolidation of knowledge based on optical access networks, fiber optics, PON networks and their evolution, FTTx networks and optical network elements.

In the second chapter, an extraction and technical synthesis based on the regulations of the ITU-T families (Telecommunication Standardization Sector of International Telecommunication Union) G.984.x and ITU-T G.9807.x, as well as those that are separated from these, which represent a focal point to carry out the comparative analysis with technical bases and a study of coexistence.

The third chapter considers the results of the previous chapters, and a discussion is generated around the comparison of GPON and XGS-PON technologies, in terms of structure. In addition, a comparison of technical parameters is made supported services, wavelengths, etc. Finally, an analysis of coexistence between the two networks is carried out and an analysis of XGS-PON in the world is carried out.

Finally, the conclusions and recommendations that are broken down from the research work carried out are presented.

**KEYWORDS:** GPON, XGS-PON, Optical Networks, PON, ITU G.984.x, ITU.G.98.

# 1. INTRODUCCIÓN

Las telecomunicaciones han revolucionado la calidad de vida en los últimos años, permitiendo establecer comunicación en casi cualquier parte del mundo, al mismo tiempo, disponer de un acceso ilimitado a todo tipo de información, siendo la herramienta principal el Internet, que permite la intercomunicación global entre dos o más personas. La demanda de servicios con mejores prestaciones cada día aumenta a nivel residencial, empresarial y educativo, lo que ha conducido al desarrollo de nuevas y diversas tecnologías permitiendo una evolución constante en los sistemas tanto inalámbricos como alámbricos.

En los sistemas alámbricos se utilizan cables físicos para el transporte de los datos, mientras que, para los inalámbricos se realiza por medio del espacio libre. Para los sistemas alámbricos se identifican ventajas como: mayor seguridad en la transmisión de los datos, mayores velocidades de transmisión, baja interferencia del medio ambiente, entre otros factores; mientras que los sistemas inalámbricos, ofrecen mayor movilidad, instalaciones más sencillas, un menor costo en mantenimiento. La proliferación de ambos tipos de sistemas ha sido masiva.

En virtud de esto, además de la globalización y la necesidad de un mundo conectado, ambos sistemas han evolucionado, formando una red interconectada mixta, en la cual los proveedores de servicios ofrecen tanto opciones alámbricas como inalámbricas dependiendo de las necesidades del cliente, además, las redes internas que los operadores han desarrollado, están enmarcadas en redes de transporte y acceso por fibra óptica, que ofrecen una mayor capacidad y velocidad de transmisión sobre los demás tipos de medios de transmisión, asimismo permite una mayor seguridad de los datos y minimiza las interferencias producto del medio ambiente.

Por lo que, los sistemas alámbricos que han presentado un mayor despliegue son los que ofrecen las redes de acceso basadas en fibra óptica, sobre todo las redes basadas en elementos pasivos, llamadas Redes Ópticas Pasivas (PON- *Passive Optical Network*), las cuales se han desarrollado a nivel mundial, aumentando sus prestaciones con relación al ancho de banda y mejores velocidades de transmisión desde su creación. La red de acceso óptica pasiva con mayor crecimiento es la denominada GPON, que ofrece capacidades de gigabit, desarrollada en el año 2004.

La evolución de la familia PON ha estado orientada a proveer mejoras que conlleven a la incorporación de nuevos servicios a los usuarios y soporte de diferentes redes de la familia FTTx (*Fiber to the x*), por lo cual, para el año 2016 la ITU (*International Telecommunication Union*), como organismo regulador internacional de las telecomunicaciones, presenta los estándares XGS-PON que ofrece mejoras sobre GPON y es compatible con ella, XGPON (*10-Gigabit-capable PassiveOptical Network*) y NGPON2 (*40-Gigabit-Capable PassiveOptical Networks 2*), siendo esta última tecnología, la que está en la palestra internacional por sus bondades para sentar las bases alámbricas para el desarrollo de la 5G de redes móviles y la masificación de IoT.

Es conveniente mencionar, que la evolución y adecuación de las redes PON actuales se debe realizar de forma gradual, en fases que ofrezcan una coexistencia y compatibilidad para extender la cobertura geográfica de este tipo de redes sin afectar a los clientes. En virtud de esto, este trabajo tiene como propósito realizar un análisis técnico comparativo entre los estándares GPON y XGS-PON, en base a sus principales parámetros que permita establecer diferencias marcadas, con similitudes que evidencien las mejoras ofrecidas y conlleven a una migración gradual y su coexistencia. El análisis se enfoca en la revisión de la familia de recomendaciones de la ITU-T G.984.x referente al estándar GPON y a la familia de la ITU-T G.9807.x para el estándar XGS-PON.

## **1.1 OBJETIVOS**

El objetivo general de este Proyecto Técnico es realizar un análisis técnico comparativo entre los estándares de redes de acceso ópticas pasivas GPON y XGS-PON, tomando en cuenta los principales parámetros que faciliten la diferenciación y descripción de la coexistencia entre estas dos tecnologías.

Los objetivos específicos del Proyecto Técnico son:

- Describir los fundamentos teóricos y los principios básicos de las tecnologías PON.
- Estudiar los parámetros técnicos de las tecnologías GPON y XGS-PON basado en las normativas ITU G.984.x e ITUG.9807. x.

- Realizar un análisis técnico comparativo entre las tecnologías de acceso GPON y XGS-PON en base a sus principales parámetros (arquitectura, protocolos y modelo de capas).
- Analizar la coexistencia entre las tecnologías XGS-PON y GPON.

## **1.2 ALCANCE**

Se realizará un estudio detallado desde el punto de vista teórico de las tecnologías GPON y XGS-PON como redes de acceso hacia el usuario. Posteriormente, se realizará un análisis técnico comparativo entre los dos estándares ITU G.984.x (GPON) e ITU G.9807.x (XGS-PON), tomando en cuenta las características técnicas como: administración y mantenimiento del sistema, técnicas de asignación de ancho de banda, calidad de servicio, velocidades de transmisión, longitudes de onda de trabajo, cantidad de usuarios por puerto PON, índice de división del divisor óptico (*Splitter*), distancia máxima de alcance y seguridad.

Se analizarán las capas físicas y capas de enlace en donde se encuentran las subcapas de convergencia de transmisión o TC (*Transmission Convergence*), se identificará el tipo de tramas y protocolos que utiliza cada una de estas tecnologías de última milla. Del mismo modo, se analizarán estrategias para la coexistencia de ambas tecnologías, donde se revisará los distintos escenarios de migración, la arquitectura de referencia para la coexistencia entre XGS-PON y GPON, los elementos que permiten la coexistencia, entre otros aspectos.

En este Trabajo de Titulación no se incluirá un diseño de red GPON o XGS-PON, ni un estudio de factibilidad. Tampoco se generará un producto final demostrable.

## **1.3 MARCO TEÓRICO**

El avance del sector de las Telecomunicaciones en Ecuador, dado el auge de la difusión de redes de acceso tanto inalámbricas como alámbricas para el año 2021, permitirá posicionar al país como un referente regional en conectividad, acceso y producción de los servicios de Tecnologías de la Información y Comunicación (TIC), de acuerdo con el Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador 2016-2021 [1].

Por otra parte, la globalización conlleva la implementación de tecnologías de última generación caracterizadas por mejores velocidades de transmisión, compatibilidad con tecnologías más

antiguas y mejores características que generen los cimientos para nuevas tecnologías. Las redes de acceso alámbricas actualmente difundidas en el territorio nacional utilizan la fibra óptica como medio de transmisión, como el caso de las Redes PON, ofreciendo una infraestructura que proporciona comunicación entre entidades, múltiples usuarios y localidades.

De acuerdo con lo antes mencionado, a continuación, se presenta un compendio de tópicos que permitan abordar el tema en estudio a fin de sentar las bases fundamentales que caractericen las redes de acceso de fibra óptica, sus tecnologías y topologías actuales, así como las normas internacionales que permitan establecer los criterios para el análisis técnico comparativo a posterior de los sistemas GPON y XGS-PON.

### 1.3.1 FIBRA ÓPTICA

La fibra óptica es un filamento de vidrio de alta pureza extremadamente compacto. La fibra óptica “es en esencia una guía de onda para luz” [2], que “consiste en un núcleo (*core*) y revestimiento (*cladding*) que rodea al núcleo, pero el índice de refracción del revestimiento es menor que el del núcleo, provocando que los rayos de luz no salgan de este, de modo que la luz se propaga por la fibra” [2].

En este sentido la fibra óptica es una delgada hebra de vidrio o silicio fundido que conduce la luz, constituida como se aprecia en la Figura 1.1.

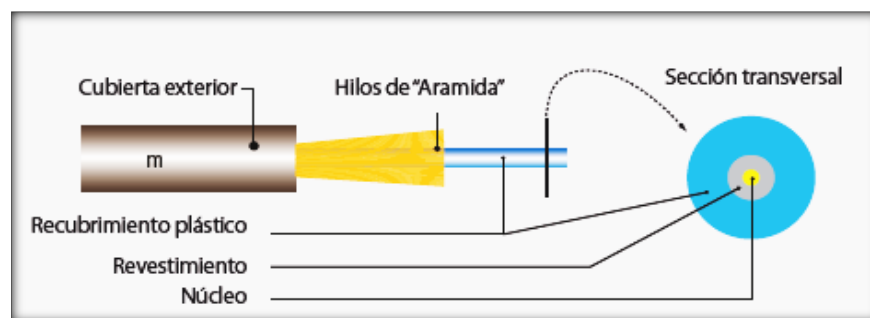


Figura 1.1. Composición de la Fibra Óptica [3].

#### 1.3.1.1 Tipos de Fibra Óptica

Según el modo de propagación de la luz en el interior del núcleo se clasifican en: monomodo y multimodo.



Las fibras monomodo poseen un núcleo de diámetro muy estrecho, de manera que solo permiten un modo de transmisión. Poseen una atenuación típica de entre 0,1 dB/Km y 0,4 dB/Km. El núcleo mide usualmente entre 8  $\mu\text{m}$  y 10  $\mu\text{m}$ , por lo que requiere un acoplamiento de la luz muy confinado y preciso.

Debido a la estrechez del diámetro, la luz se propaga siguiendo una trayectoria paralela al eje de la fibra, este hecho reduce la dispersión temporal de los pulsos ópticos. La fibra monomodo (Figura 1.2), ofrece tasas de transmisión de datos más elevadas y transmisiones a largas distancias, igualmente requiere una fuente de luz con un ancho espectral estrecho.



**Figura 1.2.** Fibra Óptica Monomodo [4].

En las fibras multimodo el diámetro del núcleo es amplio, por lo que es capaz de propagar varios modos de transmisión simultáneamente. Poseen una atenuación típica de entre 0,3 dB/Km y 1 dB/Km. El núcleo mide usualmente en torno a 50  $\mu\text{m}$  o 62,5  $\mu\text{m}$ , por lo que el acoplamiento de la luz en sus diferentes modos es más sencillo.

La fibra multimodo (Figura 1.3), tiene buen ancho de banda posibilitando altas velocidades en distancias medias. Las ondas de luz se dispersan en numerosos caminos, o modos, a medida que viajan a través del núcleo de la fibra. Sin embargo, en tramos de cable largos, los múltiples modos pueden causar elevada dispersión de los pulsos en el extremo receptor, lo que reduce su ancho de banda.



**Figura 1.3.** Fibra Óptica Multimodo [4].

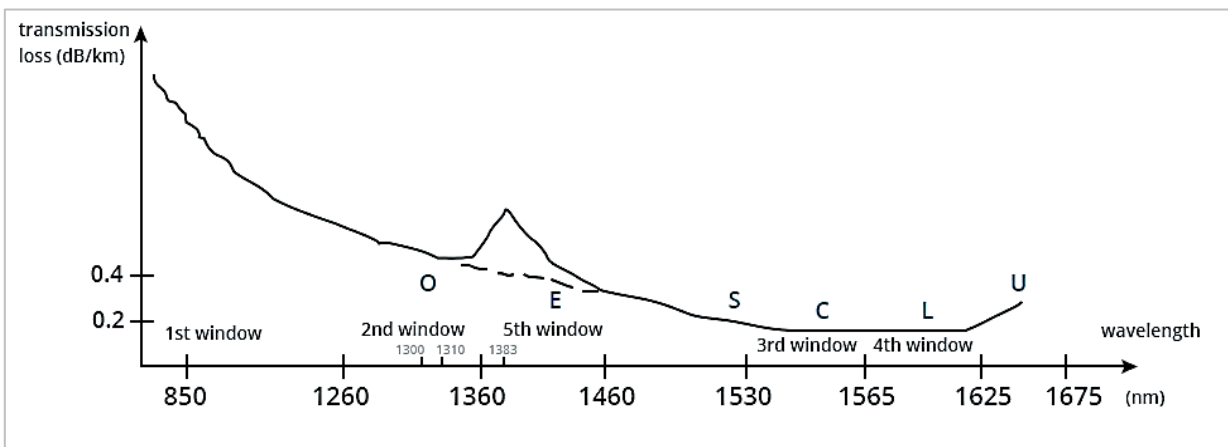
### 1.3.1.2 Ventanas de Transmisión de la Fibra Óptica

Las fibras ópticas presentan una menor atenuación (pérdida) en ciertas porciones del espectro lumínico, las cuales se denominan ventanas y corresponden a las longitudes de onda que se aprecian en la Tabla 1.1.

**Tabla 1.1.** Ventanas de Transmisión de la Fibra Óptica [5]

Ventana	Longitud de Onda de Operación (nm)
Primera	850
Segunda	1310
Tercera	1550
Cuarta	1625
Quinta	1470

El Suplemento 39 de la UIT-T serie G [6], indica que, dada las limitaciones de las bandas espectrales impuestas por los tipos de fibra óptica, fue realizado un estudio en el cual se incluye el uso de bandas de transmisión que van desde la segunda ventana clásica hasta los 1.675 nm, como se observan en la Figura 1.4 y se detallan en la Tabla 1.2.



**Figura 1.4.** Ventanas y Bandas de Transmisión para Fibra Óptica [7].

**Tabla 1.2.** Descripción de las Bandas Espectrales Monomodo [6]

<b>Banda</b>	<b>Descripción</b>	<b>Rango (nm)</b>
Banda O – Original	Longitud de onda especificado por la UIT-T G.652 y para redes ópticas pasivas especificadas en la UIT-T G.983.1.	1260 a 1360
Banda E – Extendida	Longitud de onda especificado por la UIT-T G.652.C, y en la UIT-T G.957.	1360 a 1460
Banda S – Longitud de Onda Corta	Adoptado por la fibra dada por la norma UIT-T G.655 y los sistemas UIT-T G.691. Utilizada comúnmente en los sistemas PON	1460 a 1530
Banda C – Convencional	Utilizado para bombeo óptico, amplificadores de fibra. Puede reservarse algunas longitudes de onda para el canal de supervisión óptico.	1530 a 1565
Banda L – Longitud de Onda Larga	Amplía el rango de longitudes de la Banda C, cuando esta no cumple con las necesidades de ancho de banda. Utilizada en los sistemas DWDM.	1565 a 1625
Banda U – Longitud de Onda Ultra Larga	Usado para funciones de monitoreo, identificación y pruebas, dado por la UIT-T L.302.	1625 a 1675

Dependiendo de la tecnología o topología utilizada en las redes de fibra óptica, es importante ubicar una longitud de onda conveniente, a fin de reducir las pérdidas y asegurar el envío y recepción de los datos (información), dado este criterio a lo largo de este trabajo se expondrán las longitudes de ondas en las cuales trabajan las tecnologías GPON y XGS-PON.

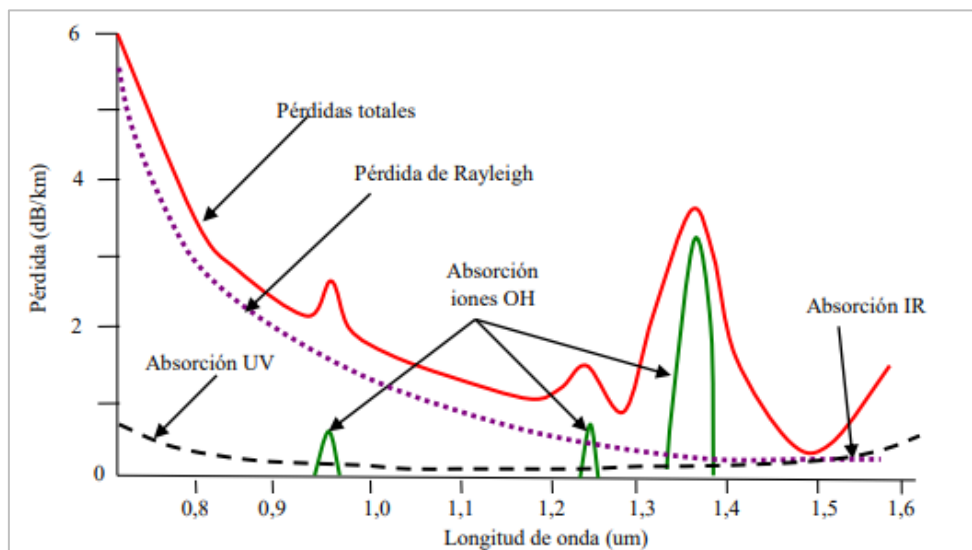
### **1.3.1.3 Atenuación de la Fibra Óptica**

La atenuación que presenta la luz al propagarse a lo largo de la fibra óptica es independiente de la velocidad de transmisión a la que se esté utilizando, y es variable con la longitud de onda [8]. Dentro de las causas que producen atenuación en una fibra óptica, se tiene: pérdidas debido a imperfecciones en la fibra, absorción y dispersión (*scattering*).

- Pérdidas por absorción, son causadas por las impurezas en el material de la fibra, que absorben parte de la luz y la convierten en calor.
  - Pérdidas Intrínsecas, se producen debido a la constitución molecular del material específico y su tendencia a absorción de la señal en longitudes de ondas determinadas. Se consideran las longitudes de onda entre 1300 y 1550 nm, las que ofrecen pérdidas mínimas para las fibras fabricadas con sílice [9].

- Pérdidas Extrínsecas, se originan por el grado de impureza presente en la fibra o contaminación de la fibra. Así como curvaturas o irregularidades de esta.
- Pérdidas por dispersión, son debidas a imperfecciones. El Scattering de Rayleigh se produce por irregularidades microscópicas del material en el proceso de fabricación, que difractan los rayos de luz que se propagan, haciendo que estos vayan en direcciones aleatorias provocando que parte de la potencia se escape por el revestimiento.
- Pérdidas por radiación, causadas por irregularidades en la fibra y pequeños dobleces o micro curvaturas que se convierten en discontinuidades.
- Pérdidas por curvatura, se dan cuando la fibra óptica es sometida a una curvatura para el tendido de una red. Los ángulos iniciales con los que la luz viaja se pierden y ocasionan que el principio de reflexión total no se cumpla [10] [11]. Este tipo de pérdidas se evita teniendo en cuenta el radio de curvatura, ya que esta hace variar a la atenuación exponencialmente. Para evitar estos efectos es necesario pasar del radio de curvatura crítico. Este radio de curvatura crítico es de diez o doce veces el diámetro exterior del cable [10] [11].

En la Figura 1.5 se pueden observar las pérdidas anteriormente descritas:



**Figura 1.5.** Curva de pérdidas de una fibra óptica debida a absorción y dispersión [12].

### **1.3.1.4      Dispersión de la Fibra Óptica**

Dispersión es el nombre que se le da al efecto físico donde los modos de la señal transmitida viajan a diferentes velocidades en la fibra y llegan al receptor en diferentes tiempos [13]. Esta es la causante del ensanchamiento de los pulsos de luz, mientras más distancia recorren las señales ópticas se produce una distorsión en las mismas. Provocando el solapamiento de los pulsos y reduciendo el ancho de banda [13].

Existen diferentes dispersiones dependiendo del tipo de fibra, en el caso de la fibra multimodo se tiene la dispersión modal. En cambio, para la fibra monomodo que es utilizada para redes PON por su alta capacidad de transmisión y gran alcance (en el orden de decenas de km), aparecen este tipo de dispersiones: [14].

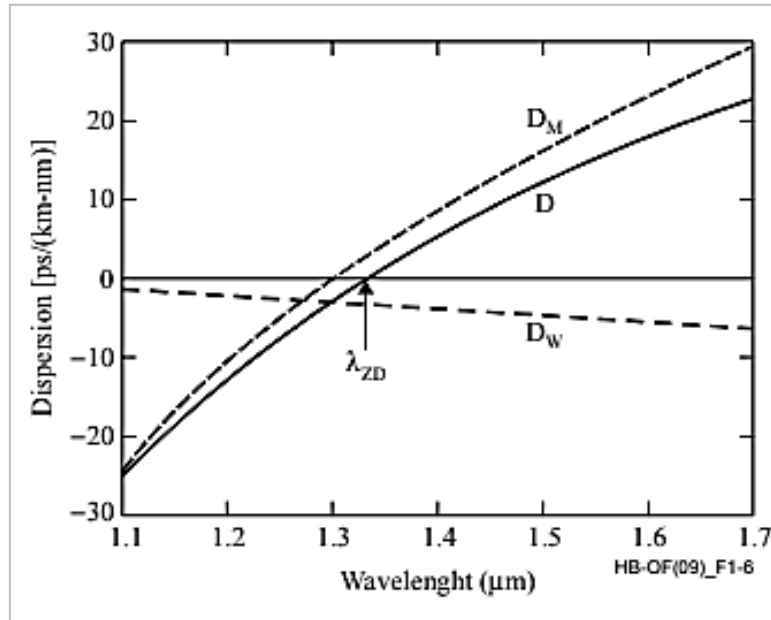
#### **1.3.1.4.1      Dispersión Cromática**

La dispersión cromática se presenta en las fibras monomodo y multimodo. Existen 2 tipos, la dispersión cromática de material y la dispersión cromática de guía de onda, ambos se miden mediante un parámetro denominado coeficiente de dispersión y su unidad se expresa en ps/nm\*km, para poder transmitir la señal óptica con parámetros ideales se espera que este tipo de dispersión sea pequeña [14].

La dispersión del material se produce porque el índice de refracción de la fibra óptica cambia, esto genera distintas longitudes de onda al utilizar una fuente de luz. Por lo tanto, los haces de luz con diferentes longitudes de onda viajan a diferentes velocidades, dando como resultado el ensanchamiento de pulsos en el receptor [12] [15].

La dispersión de guía de onda se da por la propagación complementaria de energía en el revestimiento de la fibra, ya que no toda la energía se propaga por el núcleo, así al tener el revestimiento de la fibra un índice de refracción diferente, los haces de luz viajan con diferentes velocidades cada uno, haciendo que el pulso llegue con un retardo al receptor [12].

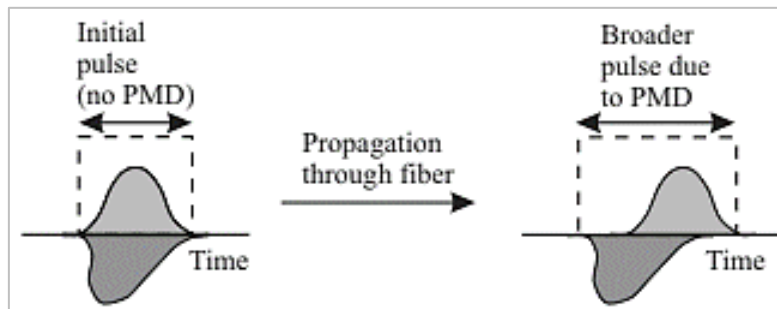
La dispersión de guía de onda tiene signo opuesto a la dispersión del material, esta propiedad se utiliza para que se cancelen entre sí. También esta propiedad se utiliza para desarrollar fibras monomodo con una dispersión nula alrededor de los 1300 nm. [14] [15]. En la Figura 1.6 se da un ejemplo de estas dos dispersiones.



**Figura 1.6.** Dispersión Total (D), Dispersión del material (DM) y Dispersión de guía de onda (DW) para una fibra monomodo [15]

#### 1.3.1.4.2 Dispersión por modo polarizado

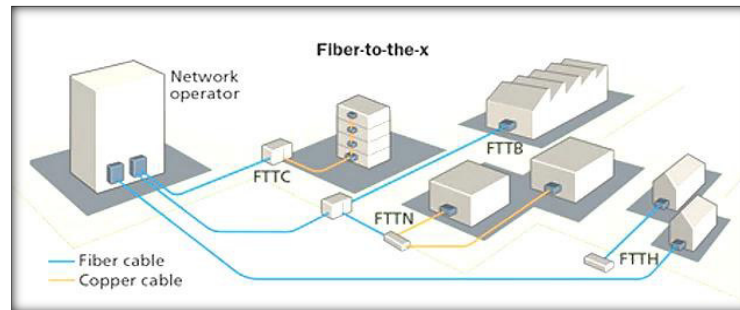
La dispersión por modo polarizado o PMD (*Polarization Mode Dispersion*), es un efecto que solo se origina en las fibras monomodo, se tiene por las diferencias en las constantes de propagación en el eje horizontal y el eje vertical de un modo, ocurre por las imperfecciones en la fabricación de las fibras ópticas, curvaturas o tensiones en la misma. Provocando un desplazamiento de los haces de luz con diferentes velocidades, logrando que lleguen al receptor en distintos tiempos como se puede ver en la Figura 1.7. Causando la distorsión de los pulsos, haciendo que el receptor no logre distinguir a los pulsos individualmente [14] [12].



**Figura 1.7.** Efecto de dispersión por modo de polarización [12].

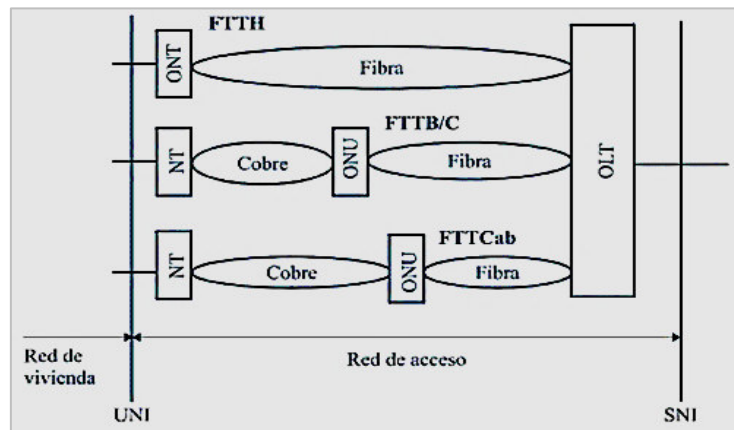
### 1.3.2 FIBRA HASTA LA X (FTTx)

FTTx (*Fiber To The x*), donde la x indica el punto hasta donde se realiza la red con cable de fibra óptica, a partir de este punto se utiliza cable de cobre dependiendo de la aplicación. Las redes de acceso de nueva generación acercan la fibra óptica a los usuarios finales, lo que permite velocidades muy superiores a las que se pueden alcanzar mediante el tradicional ADSL. Según la distancia entre la fibra y el usuario final se pueden distinguir varios tipos de despliegue, denominados de manera general como FTTx, como se observa en la Figura 1.8.



**Figura 1.8.** Representación de Redes FTTx [16]

Las redes FTTx, que generan los escenarios más comunes para el despliegue de las tecnologías PON son las redes FTTH, FTTB/C y FTTCab, como se observan en la Figura 1.9, referenciadas en la Recomendación ITU-T G.983.1 [17], que ofrece opciones de categorías de servicios de acuerdo con el tipo de escenario que permiten un despliegue e implementación adecuada. Estas arquitecturas poseen capacidades para el soporte de los servicios de banda ancha asimétricos y simétricos, redes de telefonía pública conmutada y redes digitales de servicios integrados.



**Figura 1.9.** Red FTTx en redes PON [17].

Para el caso las recomendaciones de las series ITU-T G.984.x, se despliegan principalmente las arquitecturas FTTH, FTTB, FTTC y para la serie ITU-T G.9807.x, además de las FTTH, FTTB y FTTC, se asocian las FTTCab, FTTO Y FTTCcell, las cuales son explicadas en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3.** Tipos de Redes FTTx [19]

TIPO DE RED		CARACTERÍSTICAS
FTTH	Fibra hasta el hogar	Topología de red donde el recorrido de la fibra óptica debe llegar hasta las instancias del abonado. La red de acceso entre el abonado y el último nodo de distribución puede realizarse con una o dos fibras ópticas dedicadas a cada usuario (una conexión punto-punto que resulta en una topología en estrella) o una red óptica pasiva que usa una estructura arborescente con una fibra en el lado de la red y varias fibras en el lado del usuario.
FTTB	Fibra hasta el Edificio	Se aplica sólo a aquellas propiedades que contienen múltiples espacios de trabajo. La fibra óptica termina antes de que realmente llegue a los suscriptores que viven o trabajan el espacio en sí.
FTTC	Fibra hasta la Acera ( <i>Curb</i> )	Ofrece la llegada con cable de fibra óptica hasta un equipo ubicado en el poste o equipo en acera más cercano al abonado.
FTTCab	Fibra hasta el Armario o Cabina	Permite que la fibra óptica llegue hasta un armario de distribución que sirve en un sector. El área servida por el armario es por lo general menos de 1.500m de radio y puede contener varios cientos de clientes. Si el armario atiende un área de menos de 300 m de radio, se convierte en una arquitectura FTTC.
FTTO	Fibra hasta la Oficina	La instalación de fibra llega hasta el interior de la oficina del cliente, es muy similar a FTTH pero ofrece configuraciones más específicas como plataformas de videoconferencia, VoIP, entre otras.
FTTCell	Fibra hasta la Celda	Permite la conexión de las estaciones base a la red de distribución óptica, en este caso la ONU es implementada por una unidad especial llamada Unidad de Backhaul Celular ( <i>CBU-Celular Backhaul Unit</i> )



### **1.3.3 CABLES DE FIBRA ÓPTICA**

Los cables de fibra óptica pueden ser analizados desde la composición interior, relacionado con las características técnicas de la fibra normalizada en su interior, y en relación a la protección y resguardo que ofrecen para estas.

#### **1.3.3.1 Fibras normalizadas**

Las fibras son normalizadas de acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T serie G, en las cuales se ofrece una caracterización técnica con el fin de fijar atributos como diámetro de la fibra, las longitudes de ondas de operación, los valores de dispersión, el coeficiente de atenuación asociado a las diferentes longitudes de onda en las que pueden operar, entre otras características.

Las fibras normalizadas, más utilizadas para las redes en estudio, son: SSMF (*Standard Single Mode Fiber*) normalizada por la ITU-T G.652 y la normada por la ITU-T G.657.

La Recomendación UIT-T G.657 tiene como objetivo exponer las mejoras en el rendimiento de flexión en comparación con la fibra monomodo ITU-T G.652 existente, mediante dos categorías de fibras monomodo, una de las cuales, la categoría A, es totalmente compatible con las fibras ITU-T G.652 y se pueden implementar en toda la red de transporte, así como en la red de acceso.

La categoría B, no necesariamente cumple con la Recomendación UIT-T G.652, pero tiene valores bajos de pérdidas por macro flexión a muy bajos radios de curvatura y está diseñada para su aplicación en la red de acceso dentro de edificios o cerca de los mismos. Estas fibras de categoría B son compatibles con el sistema Fibras UIT-T G.657.A (y UIT-T G.652.D) en redes de acceso [18].

#### **1.3.3.2 Fibra Monomodo Estándar**

Las fibras SSMF son aquellas que operan en las ventanas de 1310 nm a 1550 nm, cuyos parámetros ópticos son los estipulados en la norma ITU-T G.652 [19]. Esta norma ofrece 4 subcategorías, G.652A, G.652B, G.652C y G.652D, de las cuales la G.652D es la que proporciona una menor dispersión de modo de polarización y es la más usada en los

despliegues de fibra óptica, dado su utilidad en las longitudes de onda de 1260 nm a 1625 nm, debido al bajo coeficiente de atenuación, para la longitud de onda de 1383 nm, en el pico de absorción de agua OH-. Las características del atributo de la fibra SSMF, se presentan en la Tabla 1.4.

**Tabla 1.4.** Atributos de la Fibra SSMF [19]

ATRIBUTO DE FIBRA			
ATRIBUTO	DETALLE	VALOR	UNIDAD
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310	nm
	Rango de valores nominales	8.6-9.2	$\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0.4$	$\mu\text{m}$
Diámetro del revestimiento	Nominal	125	$\mu\text{m}$
	Tolerancia	$\pm 0.7$	$\mu\text{m}$
Error de concentricidad del núcleo	Máxima	0.6	$\mu\text{m}$
No circularidad del revestimiento	Máxima	1	%
Longitud de onda de corte del cable	Máxima	1260	nm
Pérdida de macroflexión	Radio	30	nm
	Número de vueltas	100	
	Máximo a 1625 nm	0.1	dB
Tensión de prueba	Máximo	0.96	GPa
Parámetro de dispersión cromática (1260 nm a 1460 nm)	$\lambda_{0min}$	1300	nm
	$\lambda_{0max}$	1324	nm
	$S_{0min}$	0.073	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	$S_{0max}$	0.092	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
Ajuste Lineal (1460 nm a 1625 nm)	Máximo a 1550 nm	13.3	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1550 nm	18.6	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1625 nm	17.2	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1625 nm	23.7	ps/(nm <sup>2</sup> * km)
Coeficiente de atenuación	Máximo desde 1310 nm a 1625 nm	0.40	dB/km
	Máximo a 1383 $\pm$ 3 nm después del envejecimiento de hidrógeno	0.40	dB/km
	Máximo a 1530-1565 nm	0.30	dB/km
Coeficiente PMD	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Máximo PMD <sub>Q</sub>	0.20	ps/ $\sqrt{\text{km}}$

### 1.3.3.3 Fibra basada en la ITU-T G.657

La fibra basada en la norma ITU-T G.657 [20], es de tipo monomodo insensibles a la pérdida por flexión y ampliamente desplegada en las redes FTTH. Soporta radio de curvaturas muy bajos, ofreciendo resistencia a las pérdidas producto de las macro curvaturas. Las características del atributo de la fibra basada en la norma ITU-T G.657, se presenta en la Tabla 1.5.

**Tabla 1.5.** Atributos de la Fibra basada en la norma ITU-T G.657<sup>a</sup> [20]

ATRIBUTO DE FIBRA							
ATRIBUTO	DETALLE	VALOR					UNIDAD
Diámetro del campo modal	Longitud de onda	1310					nm
	Rango de valores nominales	8.6-9.2					μm
	Tolerancia	± 0.4					μm
Diámetro del revestimiento	Nominal	125					μm
	Tolerancia	± 0.7					μm
Error de concentricidad del núcleo	Máxima	0.5					μm
No circularidad del revestimiento	Máxima	1					%
Longitud de onda de corte del cable	Máxima	1260					nm
		ITU-T G.657.A1		ITU.T G.657.A2			
Pérdida de macroflexión	Radio	15	10	15	10	7.5	nm
	Número de vueltas	10	1	10	1	1	
	Máximo a 1550 nm	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	dB
	Máximo a 1625 nm	1	1.5	0.1	0.2	1	dB
		ITU-T G.657 category A					
Tensión de prueba	Mínimo	0.69					GPa
Parámetro de dispersión cromática (1260 nm a 1460 nm)	$\lambda_{0min}$	1300					nm
	$\lambda_{0max}$	1324					nm
	$S_{0min}$	0.073					ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	$S_{0max}$	0.092					ps/(nm <sup>2</sup> * km)
Ajuste Lineal (1460 nm a 1625 nm)	Máximo a 1550 nm	13.3					ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1550 nm	18.6					ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1625 nm	17.2					ps/(nm <sup>2</sup> * km)
	Máximo a 1625 nm	23.7					ps/(nm <sup>2</sup> * km)

Coeficiente de atenuación	Máximo desde 1310 nm a 1625 nm	0.4	dB/km
	Máximo a $1383 \pm 3$ nm después del envejecimiento de hidrógeno	0.4	dB/km
	Máximo a 1530-1565 nm	0.3	dB/km
Coeficiente PMD	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximo $PMD_Q$	0.2	ps/ $\sqrt{\text{km}}$

La selección del tipo de fibra depende del cómo y dónde de su uso, además de las condiciones de instalación de los cables. A continuación, se presentan en la Tabla 1.6, los tipos de fibra analizados y su recomendación de uso en referencia al rayo de curvatura, característica tomada en cuenta para una implementación más adecuada.

**Tabla 1.6.** Recomendaciones de Uso de las Fibras G.652 y G.657 [21]

NORMA ITU-T	RADIO MÍNIMO DE CURVATURA	RECOMENDACIÓN
G.652D	30mm	Planta externa
G.657 <sup>a1</sup>	10mm	Planta Externa
G.657 <sup>a2</sup> y G.657B2	7,5mm	Instalaciones internas
G.657B3	5mm	Cableado interno (posible manipulación por parte de los usuarios)

#### 1.3.3.4 Cable Exterior (Protector)

La fibra óptica es muy frágil, y para su uso, se encuentran agrupadas en cables, los cuales deben proveer de protección para mantener la integridad de las hebras de fibra óptica. Los cables de fibra óptica deben ser flexibles, resistentes a la humedad, al fuego, al agua, a las vibraciones, a la tracción y torsión, ser de bajo peso, facilitar la instalación, identificación, limpieza y empalme, entre otras características.

Entre los tipos de cables tenemos: cable blindado, cable auto soportado, cable dieléctrico auto soportado (*ADSS- AllDielectricSelf-Supporting*), entre otros, los cuales se presentan en la Tabla 1.7.

**Tabla 1.7.** Tipos de Cable Exterior (protector) [23]

TIPO	CARACTERÍSTICAS	USOS
Cable blindado	Cuenta con una coraza protectora de acero o <i>kevlar</i> , posee un interior de tipo tubo holgado. Presenta resistencia al aplastamiento y roedores.	Uso para exteriores, principalmente donde pudiese ser manipulado o aplastado, además de estar expuesto a roedores u otros animales.
Cable autoportado	Compuesto por un mensajero de acero inoxidable sujeto al cable de fibra óptica. Presenta hilos de aramida y elementos de fuerza central para soportar tensión.	Usado en tendido aéreo.
Cable dieléctrico autoportado	Tiene como refuerzo un elemento central y protección de aramida para las fibras. Contiene tubos holgados con gel para protección. Posee revestimiento extra de polietileno que envuelve al cable óptico dieléctrico y al elemento de sujeción externo, que le da la resistencia extra para la tracción. Ofrece resistencia al medio ambiente.	Usado para tendidos aéreos.

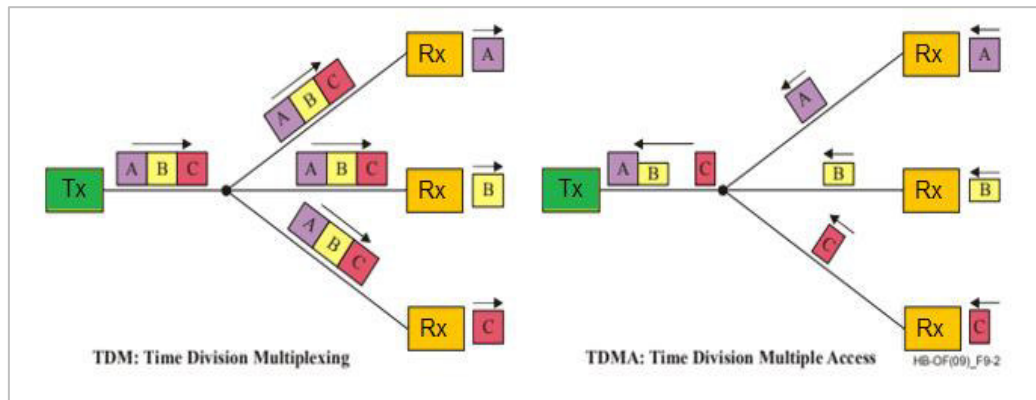
### 1.3.4 TÉCNICAS DE MULTIPLEXADO

En un sistema de comunicación de fibra óptica para obtener una comunicación bidireccional, se puede utilizar dos fibras independientes, esto se denomina dúplex por división de espacio, es un método sencillo y fácil de implementar, sin embargo, es una opción más costosa desde el punto de vista de inversión económica [22].

Otro método es la utilización de una sola fibra mediante técnicas de multiplexación en el dominio del tiempo o frecuencia. De esa manera se optimiza la transferencia de información sobre un enlace de comunicación de fibra óptica, multiplexando varias señales dentro de una sola fibra óptica. De igual forma, se puede utilizar eficientemente todo el ancho de banda disponible en la fibra. Existen varias estrategias de multiplexación, pero se resaltarán las 2 más utilizadas en las redes PON. Las cuales son la multiplexación por división de longitud de onda (*WDM- Wavelength Division Multiplexing*) y la multiplexación por división de tiempo (*TDM- Time Division Multiplexing*) [23].

TDM es una multiplexación en el dominio del tiempo, los usuarios transmiten sus datos por el mismo medio, pero en diferentes intervalos de tiempo, como se observa en la Figura 1.10. Los

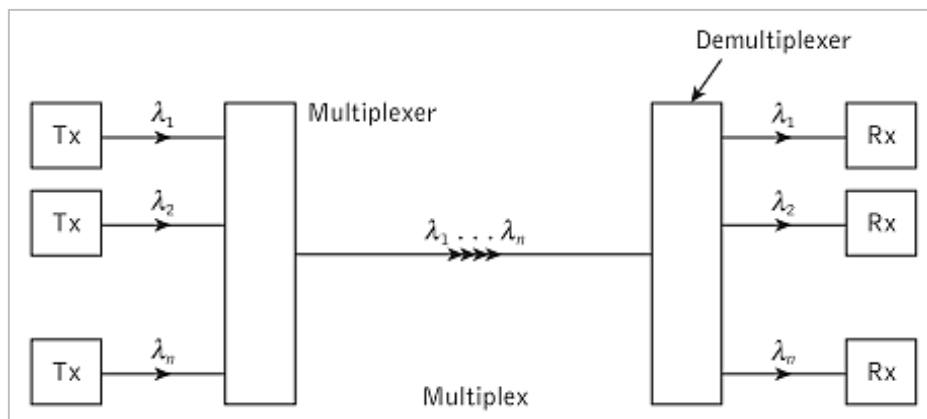
datos de los usuarios son ordenados en tramas y cada trama cuenta con un número determinado de slots o intervalos de tiempo para distinguir las señales de los usuarios. De esta forma se obtiene un mayor número de usuarios, pero haciendo que su ancho de banda sea limitado [23].



**Figura 1.10.** TDM y TDMA [15]

TDM es una multiplexación por división de longitud de onda, como se observa en la Figura 1.11, cada usuario transmite sus datos en una longitud de onda única en la fibra óptica, para la extracción de las señales multiplexadas se utilizan filtros ópticos por ejemplo filtros de rejilla de difracción o filtros de prismas.

Además este tipo de multiplexación ofrece una mayor velocidad, mejor ancho de banda y puede servir a una cantidad más alta de usuarios, de esa manera se explota con mayor eficiencia la capacidad de la fibra óptica, pero requiere transreceptores de costos muy elevados [13][23].



**Figura 1.11.** Multiplexación por división de longitud de onda [13].

El acceso a los canales están garantizados mediante el uso de mecanismo de TDMA (*Time Division Multiple Access*) y WDMA (*Wavelength Division Multiple Access*), estas dos técnicas permiten ingresar a los diferentes usuarios a la red [13].

### **1.3.5 RED DE ACCESO ÓPTICO**

Las redes de acceso óptico (OAN- *Optical Access Network*) “brindan servicios multimedia y sirven como backhaul que conecta las torres de redes inalámbricas con las redes centrales, donde la mayoría de estas utilizan arquitecturas pasivas” [24]. Pueden definirse como aquellas que contienen de forma total o parcial elementos ópticos y prestan servicios de acceso de banda ancha con mejores características que las conseguidas con otro tipo de medio de transmisión (tanto cableado como inalámbrico).

El despliegue de las redes de fibra óptica y su coexistencia con las redes de cobre, han permitido el desarrollo de las redes FTTx.

#### **1.3.5.1 Clasificación de las Redes de Acceso de fibra Óptica**

Las redes de acceso de fibra óptica se pueden clasificar de acuerdo a su proximidad al abonado o usuario, o por el empleo de elementos activos y/o pasivos en ella. La primera clasificación hace referencia al medio de transporte en el acceso a la última milla pudiendo ser éste, cobre, fibra óptica, o ambos, se denominan redes FTTx.

La segunda clasificación hace referencia a los elementos que conforman la red, pudiendo ser estos últimos elementos activos o pasivos. Las redes que se estudiarán en el presente trabajo son las redes conformadas por elementos pasivos llamadas redes PON, que en conjunto con la tecnología FTTx ofrecen las mejores prestaciones para la conectividad en el mundo y, en particular, en el Ecuador.

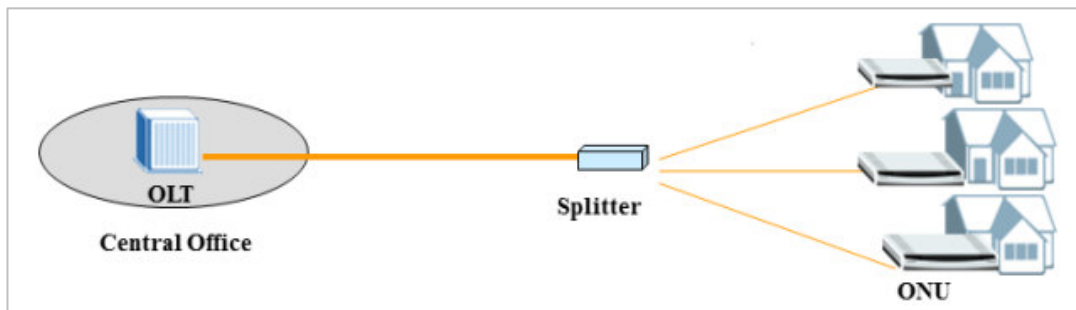
### **1.3.6 REDES PON**

Las redes de fibra óptica pasivas utilizan elementos pasivos en todo su trayecto hasta el abonado, con el fin de transportar datos desde el servidor hasta el cliente en un gran ancho de banda. Utilizan componentes pasivos que no necesitan de alimentación externa como es el caso del *splitter* óptico pasivo, el cual es el elemento principal en una red de fibra óptica que permite guiar el tráfico de la red en una topología árbol-rama.

Entre sus principales características se tiene que permiten incrementar la cobertura de la red desde los 20 km hasta los 60 km desde la central, lo cual es una ventaja sobre otras tecnologías de cobre como DSL que sólo cubre hasta 5.5 km. Asimismo, ofrecen mayor ancho de banda por usuario, debido a la naturaleza propia de la fibra óptica en comparación con las redes basadas en cobre y minimiza el despliegue de la fibra óptica en el bucle local por utilizar una topología de árbol-rama, lo cual simplifica la densidad del equipamiento de central, reduciendo el consumo. Lo anterior ofrece una mejora en la calidad del servicio y el mantenimiento de la red al emplear una arquitectura simplificada punto-multipunto.

### 1.3.6.1 Componentes de una Red PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por tres componentes: un OLT (*Optical Line Terminal*) que se ubica en la central, un divisor óptico (*splitter*) y un ONU (*Optical Network Unit*) que se ubica en el domicilio del abonado. Teniendo en cuenta esta conformación, como se puede ver en la Figura 1.12, todas las transmisiones de una red PON se realizan entre la unidad OLT, que se encuentra en el nodo óptico o central; y la ONU, localizada en el domicilio u oficina del usuario.



**Figura 1.12.** Componentes de una red PON [25].

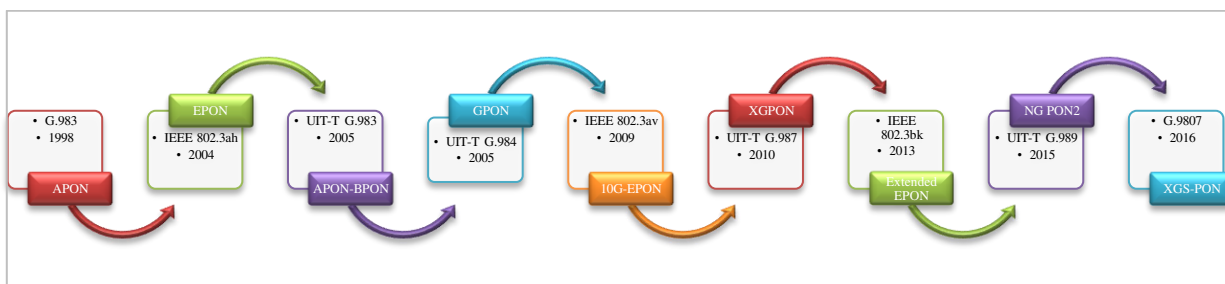
El término ONU se emplea para hacer alusión tanto a la ONU como a la ONT, entendiéndose por esta última como un caso particular, cuando la ONU es utilizada para FTTH e incluye la función de puerto de usuario, servicios de trasmisión y funciones de multiplexación de clientes [17]. Generalmente la unidad OLT se interconecta con una red de transporte que recoge las señales procedentes de varias OLTs y los encamina a la cabecera de la red.



### 1.3.6.2 Estándares de la Familia PON (xPON)

Los estándares de la familia PON son un conjunto de documentos que definen la estructura técnica y lógica de las distintas maneras de implementar una red PON dependiendo de las tecnologías utilizadas. En esta perspectiva, se utiliza el denominador común xPON, y todos los fabricantes deben cumplir las recomendaciones indicadas para cada estándar para garantizar la interoperabilidad.

Los estándares xPON más relevante son: APON (*Asynchronous Transfer Mode PON*), BPON (*Broadband PON*), GPON, 10G-EPON, XGPON, NGPON2, Extended EPON y XGS-PON, tal como se muestra en la siguiente Figura 1.13.



**Figura 1.13.** Estándares xPON.

El primer estándar fue aprobado en 1998 por la ITU-T bajo la recomendación G.983 [17] llamado PON y propuesta para el despliegue de redes de acceso basadas en las redes FTTx, con características que superen las capacidades de RDSI (Red Digital de Servicios Integrados) y RDSI-BA (Red Digital de Servicios Integrados de Banda Ancha), representando una tecnología heredada en referencia a la actual.

APON se caracteriza porque su transmisión en el canal descendente está compuesta por ráfagas de celdas ATM, la desventaja de este estándar es que carecía de soporte a servicios de video, partiendo de velocidades máximas de 155 Mbps a 622 Mbps, distribuidas entre todas las unidades de redes ópticas (ONU).

Por otro lado, BPON, está basado en APON con la ventaja de presentar canales simétricos de hasta 622 Mbps y canales asimétricos de 155 Mbps para el canal ascendente y 622 Mbps para el descendente, por lo tanto, fue concebido con la particularidad de brindar soporte de banda ancha. Sin embargo, mientras su despliegue se popularizaba en EEUU y Japón, aparecieron los estándares EPON y GPON [26].

Con el fin de emplear Ethernet de forma nativa sobre redes PON para FTTH surge el estándar IEEE 802.3ah, conocido como EPON que usa una tasa de transmisión simétrica de 1.25 Gbps. La evolución del sector de las Telecomunicaciones conllevó a opciones con velocidades superiores, por lo cual la ITU-T certificó el estándar G.984 [26] conocido como GPON a una velocidad de 2.4 Gbps para la bajada y 1.2 Gbps para la subida. GPON define la gestión centralizada, un canal ascendente cifrado y tramas GEM (*GPON Encapsulation Method*) que reemplazaron a ATM.

Con el incremento de los servicios que soportaban estas redes, así como de las necesidades de unas velocidades superiores, para el 2009 se publica el estándar IEEE 10G-EPON el cual permite un modo de transmisión simétrico con velocidad de 10 Gbps y uno asimétrico de 10 Gbps de bajada y 1 Gbps de subida, compatible con su antecesor EPON, por lo que es llamado NG-EPON (*Next Generation EPON*). Por su parte, la ITU-T publicó la recomendación G.897 en la cual se describen dos opciones, una para una velocidad de bajada de 10 Gbps y una subida de 2.5 Gbps llamada XGPON1 y una segunda con transmisión simétrica de 10 Gbps llamada XGPON2.

Para 2013, la IEEE introduce un refrescamiento del estándar 802.3, el 802.3bk conocido como Extended EPON PDM (*Physical Medium Dependent*) con presupuestos ópticos variados en función de las divisiones y velocidades 1G-EPON, 10/1G-EPON o 10/10G-EPON. Dado el progreso de las redes PON, la Recomendación ITU-T G.989 [27] publicada en el 2015 ofrece una combinación de canales TWDM, que combina TDM y WDM, conocido como NGPON2 con velocidades de 40 Gbps.

Como parte de los esfuerzos para crear estándares compatibles con GPON, XGPON y NGPON2 se crea en el 2016, la recomendación ITU-T G.9807.1 [28] conocido como XGSPON, tecnología amparada en NGPON2.

A partir del 2017, empresas fabricantes e importantes del sector han ofrecido prototipos que permiten la unificación de los estándares de la IEEE e ITU en pro de la proliferación y adecuación de las redes PON, asimismo como ha sucedido en la evolución de las generaciones de la Telefonía Móvil Celular, los esfuerzos se encaminen a un estándar único. Para el 2019 IEEE publicó una enmienda de la recomendación 802.3ca que soporta velocidades simétricas de 25 Gbps, 50 Gbps y 100 Gbps [29].

### 1.3.7 ESTÁNDAR GPON

La ITU define las redes GPON como “las redes de fibra óptica pasiva con capacidad de Gigabit” [26], estandarizada en el conjunto de recomendaciones ITU-T G.984.x, las cuales presentan 6 recomendaciones individuales que ofrecen un compendio de información técnica para el estudio de dicho estándar.

En la recomendación G984.1 [26] se especifican los elementos que constituyen la arquitectura de red, la cual varía dependiendo de si el sistema de red de acceso local es activa o pasiva, y si su arquitectura es punto a punto o punto a multipunto. Entre las arquitecturas disponibles se encuentran: FTTH, FTTB/C y FTTCab.

La recomendación G984.2 [30] se basa en las características de transmisión de la Red de Distribución Óptica (ODN – *Optical Distribution Network*) y los tipos de transmisión que pueden ser tanto ascendentes como descendentes en una misma fibra óptica o en dos fibras, en donde la señal digital tiene velocidades nominales de 1244.16 Mbps (sentido descendente), 155.52Mbps (sentido ascendente) hasta 2488.32 Mbps (sentido ascendente y descendente). Las longitudes de onda recomendadas son de 1480-1500 nm en sentido descendente y 1260-1360 nm para el sentido ascendente. La recomendación indica los parámetros de interfaz óptica, para todas las velocidades tanto ascendentes como descendentes, asimismo los mecanismos para la optimización en la transmisión de la ODN, como la corrección de errores y los niveles de potencia de transmisión.

En la recomendación G984.3 [31] se describen las características de la capa de convergencia de transmisión y hace referencia a la capacidad de las redes de acceso flexible para proveer altas capacidades para servicios de banda ancha y banda estrecha que opera en los rangos de bajada de 2.48832 Gbps y de 1.24416 Gbps o 2.48832 Gbps de subida. Incluye especificaciones para mecanismos de TDMA de subida, operación de la capa física, de los canales de administración y mantenimiento, los métodos de activación de la ONU, los esquemas de corrección de errores y la seguridad.

Las especificaciones para la interfaz de control y gestión de la ONU se exponen en las recomendaciones ITU-T G.984.4 [32] y G.984.5 [33], esta última además define los rangos de longitudes de onda reservados para servicios adicionales que permitan el despliegue de redes PON en futuras aplicaciones y así maximizar el desempeño de la ODN.

Dado que la longitud máxima (o alcance físico) de una red GPON es de 20 Km, la recomendación G.984.6 [34] ofrece parámetros de interfaces y arquitectura para la integración de regeneradores o amplificadores en el enlace óptico entre la OLT y la ONU, para así producir un alcance físico de hasta 60 Km.

En general, el estándar GPON, ofrece servicios de voz, datos y videos con tasas de transferencia para tráficos simétricos y asimétricos, de estructura de trama escalable de 622 Mbps. Simétrico de 1.2 Gbps y asimétrico para 2.4 Gbps de bajada y 1.2 Gbps de subida [26]. El método de encapsulación que emplea GPON se lo conoce como GEM, este permite soportar cualquier tipo de servicio como Ethernet, TDM, ATM, entre otros.

Este estándar, proporciona mayor velocidad por la capacidad de su medio físico, y tiene grandes ventajas sobre redes de telecomunicaciones predecesoras como mayor ancho de banda y distancia de los tendidos de fibra óptica.

El estándar GPON reduce el CAPEX (*Capital Expenditures*), es decir, inversiones de bienes capitales debido a que, sobre una fibra óptica, pueden sumarse más usuarios. De manera nativa, la red GPON cuenta con un modelo de gestión que facilita al operador la administración remota de los equipos de usuario, lo que implica una reducción del costo de operación u OPEX (*Operating Expense*) [35].

Dispone de un modelo de Calidad de Servicio o QoS (*Quality of Service*), que garantiza el ancho de banda necesario para cada aplicación y usuario. Permite el aumento de la seguridad con el cifrado de la información por medio del estándar avanzado de encriptación AES (*Advanced Encryption Standard*).

Simplifica el despliegue de la fibra, ya que no necesita equipos intermedios activos entre el OLT y la ONU, igualmente permite topologías o arquitecturas de red mucho más sencillas y baratas. A través de la multiplexación del canal, el operador puede enviar simultáneamente: Voz (teléfono VoIP), datos (Internet), TV y vídeo (*Multicast*), televisión digital en alta definición (IPTV), vídeo bajo demanda (*VoD*), broadcast analógico de video mediante RF.

### **1.3.7.1 Arquitectura del Estándar GPON**

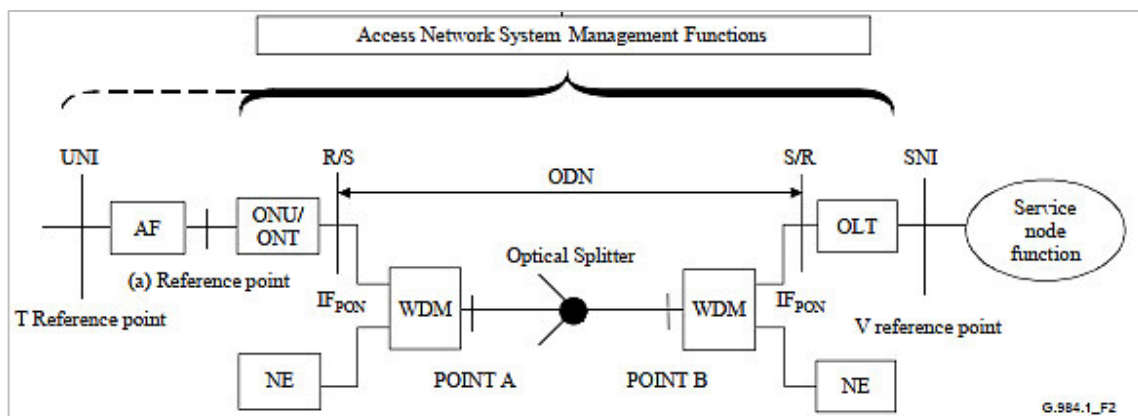
Las redes GPON soportan un esquema de multiplexación de dos longitudes de onda para los servicios digitales de flujos ascendentes y descendentes de información; de la misma manera,

se reserva una tercera longitud de onda en el canal descendente para servicio de broadcast de video [36].

Se caracteriza por poseer la capa GPON TC (*GPON Transmission Convergence*), la cual define dos métodos de adaptación para tramas ATM y GEM, de tal forma que estas tramas puedan ser insertadas a la capa física o PDM (*Physical Medium Dependent*) [30].

Debido a la convergencia, el método GEM es el más utilizado, ya que permite la adaptación de varios protocolos manteniendo un corto *overhead*. Esta capa adicionalmente, proporciona la función de acceso al medio controlando el entrelazado de transmisiones de flujo ascendente para múltiples ONU.

El sistema GPON se basa en tres componentes fundamentales, el Terminal de Línea Óptica (OLT), la Red de Distribución Óptica (ODN) y la Unidad de Red Óptica (ONU), donde la ODN interconecta las ONUs con la OLT, como se observa en la Figura 1.14.



**Figura 1.14.** Referencia de Configuración GPON [26].

En Figura 1.14 se utilizan las siguientes abreviaturas:

- **UNI (User Network Interface):** Es la interfaz de conexión con los equipos del usuario
- **AF (Adaptation Function):** es un bloque encargado de cambiar la interfaz de la ONU en una Interfaz UNI o viceversa.
- **NE (Network Element):** Este bloque representa un elemento diferente a la OLT y ONU, que posee longitudes diferentes a los antes mencionados.
- **SNI (Service Node Interface):** Es la interfaz que permite al usuario acceder al nodo de servicio.

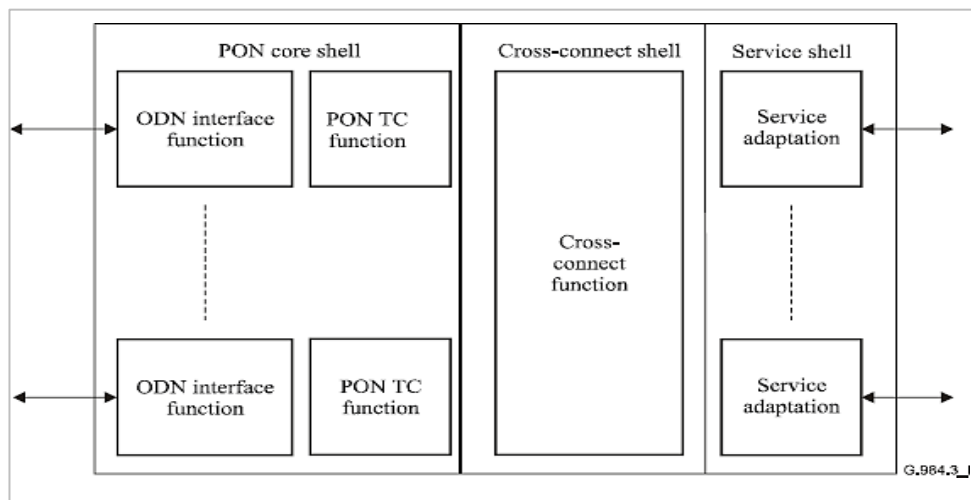
GPON utiliza divisores ópticos que dividen proporcionalmente la potencia óptica y permiten un rango de división de 1:32 y 1:64 (máximo por recomendación). La OLT está conectada a la red conmutada que nutre el sistema que se despliega, vía interfaces estandarizadas [26].

La Figura 1.15 describe el diagrama de bloques funcional de una OLT típica, destacándose así, los bloques: bloque núcleo PON, bloque de conexión cruzada y bloque de servicio.

- **Bloque núcleo PON:** está formado de dos partes, con las siguientes funciones: la función de interfaz ODN y la función de PON TC que incluye la generación del entramado, el control de acceso al medio, la operación, administración y mantenimiento, la alineación de las unidades de datos de protocolo (PDU - *Protocol Data Unit*) para la función de conexión cruzada y la administración de la ONU.

- **Bloque de conexión cruzada:** proporciona un enlace de comunicación entre el bloque núcleo de PON y el bloque de servicio. Las tecnologías para la conexión de este enlace dependen de los servicios, arquitectura interna de la OLT y de otros factores.

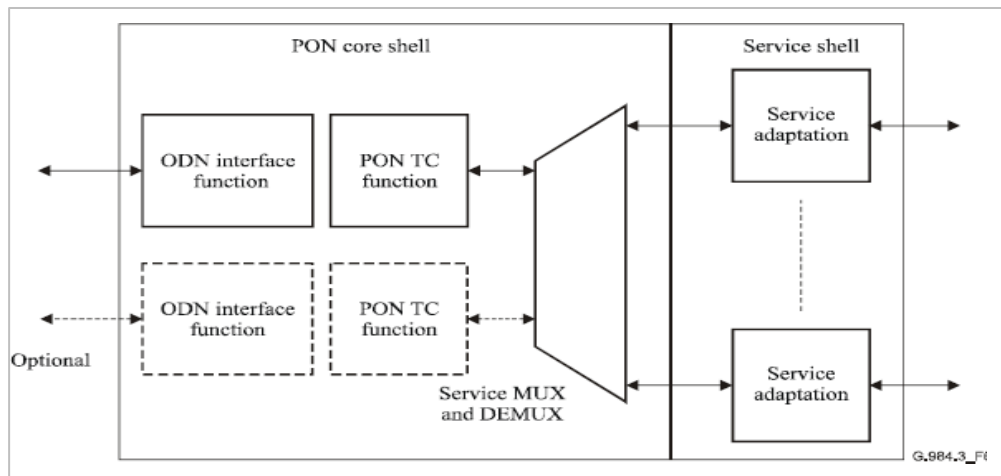
- **Bloque de Servicio:** proporciona la traducción entre las interfaces de servicio y la interfaz de trama PON TC.



**Figura 1.15.** Arquitectura de la OLT [31]

La ONU está compuesta por bloques funcionales que son comúnmente similares a los bloques funcionales de OLT. Puesto que la ONU opera con solamente una interfaz PON (o lo máximo dos por protección), la función de conexión cruzada puede ser omitida [31]. Sin embargo, en lugar de esta función, se especifica el servicio MUX y DEMUX

(Multiplexación/Demultiplexación) para manejar el tráfico ofrecido en la red GPON. Una configuración típica se muestra en la Figura 1.16.



**Figura 1.16.** Arquitectura de la ONU [31]

En general, la Red de Distribución Óptica (ODN) provee el medio de transmisión óptica para la conexión física entre la ONU y las OLTs, estas conexiones se dan a través de elementos ópticos pasivos, como: fibras ópticas monomodo, conectores ópticos, divisores ópticos pasivos, atenuadores ópticos, entre otros [31].

### 1.3.7.2 Contenedores de Transmisión (T-CONT – Transmission Container)

Los T-CONTs como parte de la arquitectura de la ONU, definen los objetos o entidades de la misma durante el proceso de activación, a través de mensajes PLOAM (*Physical Layer Operations, Administration and Maintenance*). En este sentido se menciona que es un contenedor de transmisión o *buffer* para servicios, que principalmente se usa para la transmisión de datos ascendentes. También es una unidad de asignación de ancho de banda y QoS en sentido ascendente, con el fin de mejorar el uso del medio de transmisión [37] [38].

En sentido ascendente, el ancho de banda que utilizara una ONU no solo depende del escenario de tráfico en la ONU, sino también del patrón de tráfico en las otras ONUs conectadas a una OLT en común [36]. Por lo que sí existe un envío de información auto iniciada por una ONU en sentido ascendente, se daría como resultado colisiones y retransmisiones de datos, provocando un bajo rendimiento en el enlace [37].

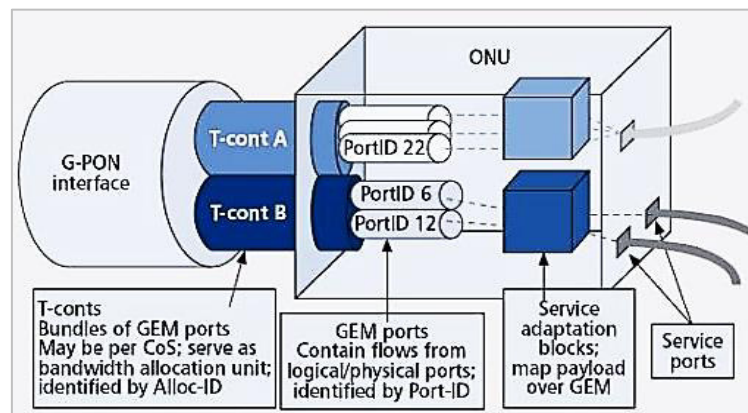
En las PONs el punto central es la OLT, esta recibe información sobre la demanda del ancho

de banda de cada ONU conectada, para después enviar información en una trama descendente que permite otorgar un intervalo de tiempo a la ONU y acceder al ancho de banda necesario [37].

Una trama ascendente puede estar en diferentes tipos de contenedores, existen 5 tipos de contenedores definidos en GPON [37]:

- T-CONT tipo 1: Se basa en permisos periódicos no solicitados que otorgan una asignación de carga útil fija o satisfacen los requisitos de ancho de banda fijo. Se usa principalmente para servicios sensibles al retardo y servicios de alta prioridad como el servicio de voz.
- T-CONT tipo 2: Cuenta con ancho de banda garantizado y su principal uso es para los servicios de voz y datos de alta prioridad.
- T-CONT tipo 3: Puede tener un ancho de banda garantizado o no garantizado.
- T-CONT tipo 4: Está diseñado para un tráfico del mejor esfuerzo o Best-Effort. Se utiliza para servicio de datos de internet o email y servicios de baja prioridad.
- T-CONT tipo 5: Se combinan dos o más de los tipos de contenedores definidos anteriormente, y en este caso, la asignación de ancho de banda individual se realiza en la ONU.

La estructura T-CONT se configura mediante la OLT, se puede tener un solo T-CONT o múltiples T-CONTs por ONU, cada T-CONT tiene una clase de servicio [38]. En la Figura 1.17 se muestra los contenedores, donde se aprecia que cada contenedor tiene varios puertos GEM.



**Figura 1.17.** Jerarquía de los puertos GPON y T-CONTs [38]



### 1.3.7.3 Método de encapsulación GEM

GEM trabaja de forma similar al ATM, pero hay una diferencia en cuanto al uso de formatos de trama variable [39]. GEM permite mayor flexibilidad y transmisión de paquetes IP de tamaño variable a lo largo de enlaces TDM, obteniendo tramas de cortas *overheads*. El encabezado del estándar GEM incluyen un encabezado de 5 bytes y contiene los siguientes campos [40]:

- Campo Indicador de Longitud de Carga (PLI – *Payload Length Indicator*): Transporta como máximo 4095 bytes y superando este valor las tramas se fragmentan.
- Campo PORT ID: Es un Identificador de puerto, se usa para suministrar 4096 indicadores únicos de tráfico, permitiendo eficiencia en la multiplexación del tráfico.
- Campo PTI (*Payload Type Information*): Indica que tipo de datos son transmitidos en la trama GEM, definiendo su administración. Como datos fragmentados, final de una trama fragmentada o información OAM GEM (*GEM's Operation, Administration and Maintenance*).
- Campo de Protección de Error de Código (HEC – *Hybrid Error Correction*): Genera información para la detección y corrección de errores en la cabecera GEM.

Además GEM define una encapsulación orientada a la conexión, la cual es independiente del protocolo (ATM, TDM e IP) para paquetes de tamaño variable [38]. Las tramas GEM pueden ser fragmentadas; por tanto, un paquete generado por el usuario puede contener múltiples tramas GEM [38]. Las tramas GEM se acomodan en un T-CONT, en el cual se puede colocar una o más tramas GEM. En la Figura 1.18 se observa el encapsulamiento GEM.

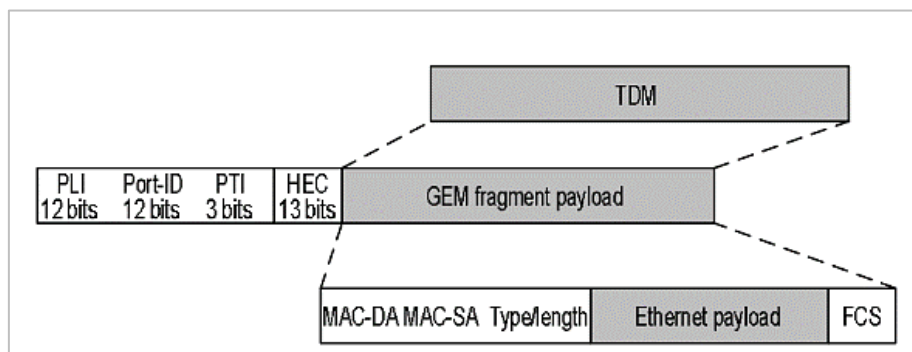


Figura 1.18. Método de Encapsulamiento GPON [37]

La unidad de conexión virtual de GEM se denomina puerto GEM y puede contener un flujo desde o hacia un puerto físico o lógico de una ONU. [38]

### 1.3.8 ESTÁNDAR XGS-PON

La recomendación ITU-T G.9807.1 define XGS-PON como una Red Óptica Pasiva Simétrica con Capacidad de 10 Gigabits [28]. Esta recomendación forma parte del conjunto de recomendaciones de la serie ITU-T G.9807.x que abarca la G.9807.1 [28] la cual ofrece una descripción de las redes de acceso XGS-PON tanto residenciales, empresas, móviles como de otras aplicaciones. En dicha serie se analiza el estándar desde el punto de vista de infraestructura de acceso óptico punto a multipunto y contiene definiciones, abreviaciones y requerimientos en general de las capas que lo componen.

La recomendación G.9807.2 [41] ofrece parámetros de referencia de la arquitectura e interfaces para la extensión de la longitud máxima del enlace, tomando como punto la regeneración o amplificación óptica entre la OLT y ONU con el uso elementos activos, generando un alcance físico máximo de 60 Km.

El estándar XGS-PON puede operar con la misma red de distribución óptica (ODN) que el estándar XGPON (*X-roman numeral Gigabit PON*), XGS-PON además puede funcionar a longitudes de onda utilizadas en XGPON como en GPON. La capa de convergencia de transmisión se basa en las capas NGPON2 (*Next Generation PON2*) y XGPON TC (*XGPON Transmission Convergence*). Por otra parte, las especificaciones dependientes del medio físico óptico descendente (PDM) se derivan del XGPON PDM.

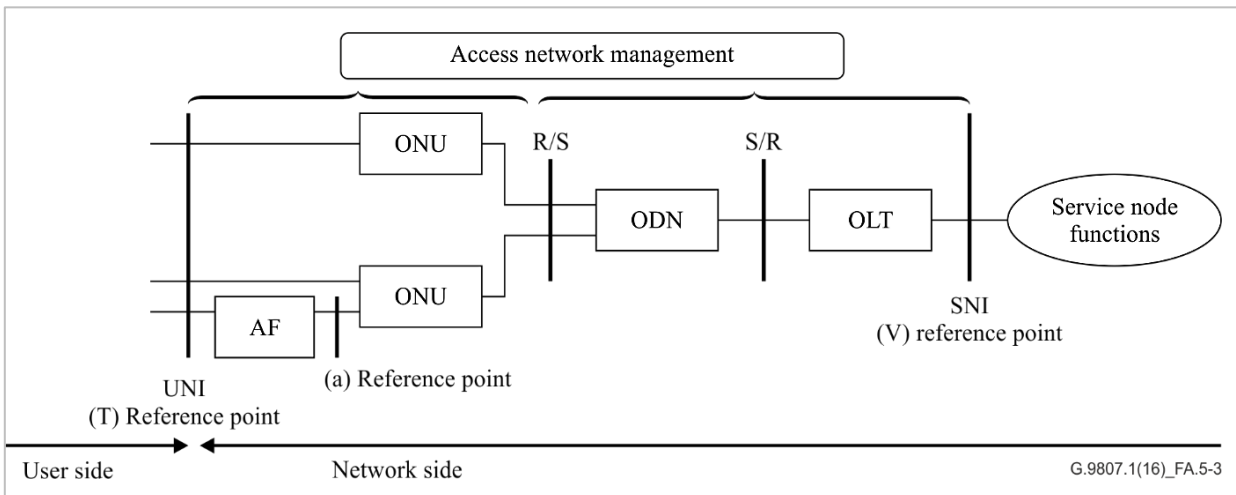
Este estándar se basa en la recomendación G.987.1 [30] y sus principales cambios son: velocidad simétrica de 10 Gbps, un escenario FTTdp (*Fiber To The distribution point*), en el cual la ONU será llamada DPU (Distribution Point Unit), en conjunto con la categoría de servicios y capacidades de una FTTB, este escenario podrá soportar:

- La capacidad de potencia en reversa con la fuente de energía utilizada mediante la instalación del cliente final con cable de cobre.
- xDSL o G.fast – Protocolo de Línea de Abonado Digital para bucles locales de acceso en Gigabit UNI para cobre.

### 1.3.8.1 Arquitectura del Estándar XGS-PON

La Figura 1.19 muestra la configuración de referencia de XGS-PON, la cual muestra la ubicación de la ODN, la OLT y la ONU. La ODN puede constar de un único segmento de distribución óptica pasiva o un grupo interconectados de elementos activos para mejorar la cobertura de la red [28].

Se permiten varios escenarios para la OLT. En un primer escenario el equipo contiene sólo la función de adaptación XGS-PON, llamada OLT Ethernet Pura, mientras que, en un segundo escenario, el equipo asume funciones de preparación de servicios adicionales como emuladores de circuitos TDM, así, a este último se lo conoce como escenario OLT en preparación [28].



**Figura 1.19.** Configuración de referencia de XGS-PON [28]

Para aplicaciones de FTTB y FTTC existe una variante VDSL/POST ONU (*Very High-speed Digital Subscriber Line / Plain Old Telephone Service ONU*), la cual se utiliza para crear interfaces basadas en cobre. Esta variante usa dos tipos de esquema, el primer esquema proporciona interfaces POTS y VDSL al cliente y el segundo proporciona solo interfaces VDSL, tratando de minimizar el tamaño y la potencia de la ONU. Existe además otra variante conocida como Modem XGS-PON donde la ONU reduce su tamaño y se asemeja a un modem que proporciona interfuncionamiento de la capa 1 (interfaz óptica) y 2 (enlace de datos) [20]. Esta variante se recomienda para aplicaciones FTTH.

En la siguiente variante a describir, se presenta una ONU integrada que fusiona el modem XGS-PON y el Equipo Local del Cliente o CPE (*Customer Premises Equipment*), que permite la gestión de los servicios, se puede implementar utilizando FTTH.

Una última variante, se la puede describir como residencial, y es una ONU compuerta de enlace, que considera la fusión de la ONU integrada y el CPE, permitiendo funcionalidades de la capa 3 al equipo terminal, incluidos elementos de enrutamiento, traducción de direcciones de red o NAT (*Network Address Translation*) y de firewall.

El estándar XGSPON permite el uso de varios tipos de arquitectura de la red de distribución para su coexistencia que soporte la distribución de servicios en base a un conjunto de longitudes de onda básico (utilizados por los estándares tradicionales) y un conjunto opcional de longitudes de onda [28].

La arquitectura de sus extremos se basa en GPON y XGPON, por lo que el estudio de este estándar se centra en su tramo medio con el uso de un Extensor de Alcance o RE (*Reach Extender*) que permiten ampliar el alcance de la red estándar a fin de una mejor gestión y aprovechamiento de los recursos. Provee dos arquitecturas principales que involucran extensores para la migración de GPON y otro para despliegues RE para sistemas GPON, dependiendo de la tecnología inicial. El uso de un RE proporciona un presupuesto óptico adicional con un rendimiento aceptable de OLT y ONU, que permite mantener la calidad de los extremos sin cambios en dichos equipos [36].

#### **1.3.8.1.1 Método de encapsulación XGEM**

Es el nuevo método de encapsulación de información, es capaz de transportar paquetes Ethernet y paquetes MPLS (*Multi-Protocol Label Switching*) en la trama X-GEM. La duración de las tramas es de 125  $\mu$ s, capaz de llevar un tamaño de 155520 bytes, correspondientes a la velocidad de 9.95328 Gbps. El tamaño del encabezado de XGEM es de 8 bytes.

El encabezado contiene los siguientes campos:

- Campo PLI: cuenta con 14 bits que permiten representar un número entero del 0 al 16383, lo que le permite codificar una trama Ethernet jumbo de hasta 9000 bytes.
- Campo Key index: Es utilizado para cifrar la carga útil de XGEM.
- Campo Port-ID: Es el identificador del puerto XGEM al que pertenece la trama.

- Campo LF (*Last fragment*): Encargado de Indicar el último fragmento. Si se encuentra completo el LF se establece como 1, caso contrario LF es 0.
- Campo HEC: Es un campo de detección y corrección de errores para el encabezado XGEM.

## **1.3.9 ELEMENTOS DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN ÓPTICA**

### **1.3.9.1 Empalme por fusión**

Consiste en la unión permanente de las fibras mediante la fusión. El empalme se realiza mediante la aplicación de una fuente calorífica, que suele estar compuesta por dos electrodos entre los cuales se produce un arco. Técnicas de muy altas prestación, se logran atenuaciones de 0.03 a 0.05 dB (fibras monomodo).

### **1.3.9.2 Conectores de fibra óptica**

Los conectores permiten facilitar la conexión y desconexión de fibras ópticas; al mismo tiempo, de permitir realizar conexiones más rápidas que los empalmes, proporcionan mayor atenuación a la señal, su manipulación se debe realizar cuidadosamente ya que cualquier suciedad en el conector puede ocasionar reflexiones importantes en la señal. En total, hay cerca de 100 conectores de fibra óptica en el mercado, pero solo unos pocos representan la mayoría del mercado: conector LC, conector SC, conector ST, conector FC, etc.

El SC tiene bajas pérdidas (por debajo de 0.5 dB) y es bastante común en instalaciones monomodo, el LC se utiliza en transmisión de alta densidad de datos, mientras que el FC es un buen conector y tiene bajas pérdidas, con un promedio aproximado de 0.4 dB. Otro conector es el ST, popular tanto para fibras monomodo como multimodo y presenta unas pérdidas en promedio de 0.5 dB.

### **1.3.9.3 Pigtail**

Son segmentos de fibras ópticas de corta longitud que en uno de sus extremos lleva un conector que sirve como interfaz con los distribuidores ópticos y equipos, en el otro extremo tiene fibra desnuda para ser empalmada a la fibra principal del cable.

#### **1.3.9.4 Patchcords**

Son cables terminados en ambos lados con un tipo específico de conector, permiten la interconexión entre los ODF y los equipos de comunicaciones, con un grosor de diámetro externo de 3mm el más común. De la misma manera, la longitud de los mismos que se pueden adquirir es de 1, 3, 5 metros.

#### **1.3.9.5 Atenuadores Ópticos**

Los atenuadores ópticos permiten reducir la intensidad de la señal para evitar saturación en los receptores, a fin de ajustar la potencia de la luz en el sistema

#### **1.3.9.6 Caja de empalme**

Sirve para proteger los empalmes exteriores Es hermética y resistente a condiciones de intemperie, es instalada tanto en exterior como en interior de edificios en cámaras de registro, arquetas, postes, mensajero, paredes o galerías de cables.

#### **1.3.9.7 Mangas**

Elemento utilizado en planta externa de redes de fibra óptica para alojar empalmes de fusión. Están construidas con un material resistente a la tensión e impermeable, que permite el cierre hermético y con los debidos accesorios para la instalación en canalización, soportes aéreos y aplicaciones de pedestal. Asimismo, permiten realizar empalmes de extremo a extremo o empalmes internos(derivaciones).

#### **1.3.9.8 Punto de Acceso a la Red o NAP (*Network Access Point*)**

Estas cajas son terminales para cable troncal que pueden ser instaladas en poste o muro, tanto de manera interna como externa, a estas cajas se conectarán los usuarios finales con cable de FO tipo *Drop*.

#### **1.3.9.9 Cable Drop Óptico**

Es un cable que resiste inclemencias ambientales, dado que su núcleo está cubierto por fuera por un polímero que no es inflamable; este cable lleva un refuerzo conformado por alambre galvanizado de acero que le ofrece aún mayor resistencia. Se utiliza en ambientes internos o

externos, a nivel aéreo y soterrado (cumpliendo otras condiciones para dicho fin). Este cable de fibra óptica se instala en tramos menores a 1 Km desde el ultimo armario hasta las instancias del abonado. Del mismo modo, en su interior contiene fibra G.657 o BLI (*Bending Loss Insensitive*).

## **2. METODOLOGÍA**

El desarrollo de las redes ópticas ha generado la proliferación de arquitecturas de red que permiten aumentar la velocidad y capacidades a fin de llegar al abonado o lo más cercano a él con fibra óptica (FTTx), esas redes pueden ser punto a punto o punto a multipunto.

La semejanza de las Redes de Acceso Óptico OAN para diferentes arquitecturas brinda escenarios comunes a fin de definir los parámetros de cada tecnología que surge en pro de potencializar las ventajas de las redes ópticas, en especial las pasivas, en un mundo normado por la Globalización y las TICs, donde cada día los usuarios requieren mayores anchos de banda en sus servicios de telecomunicaciones.

En este sentido, se analizan los criterios y generalidades para el estudio de las Recomendaciones ITU-T G.984.x, referentes a las redes GPON, e ITU-T G.9807.x, referentes a las redes XGS-PON.

### **2.1 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA GPON**

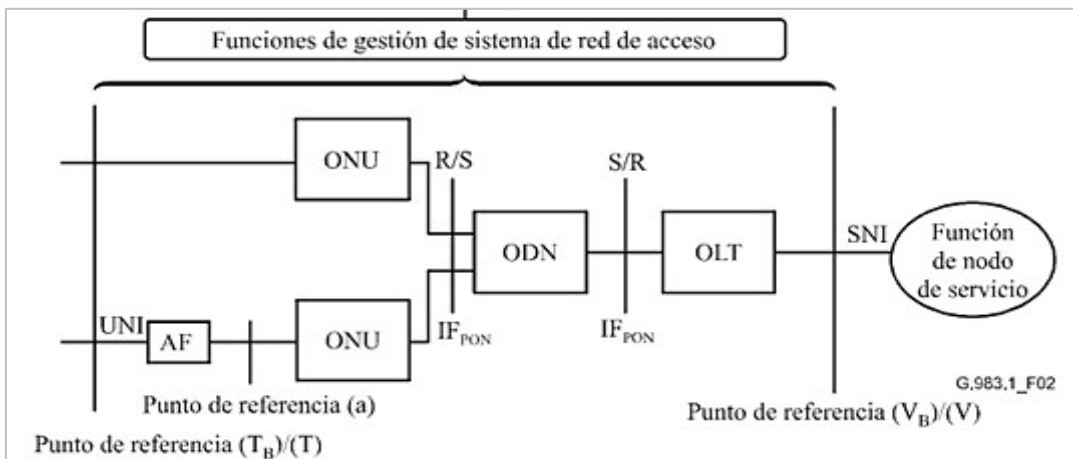
#### **2.1.1 ESTRUCTURA GPON**

Las redes GPON se cimientan en la estructura descrita en Recomendación ITU-T G.983.1, que presenta una red genérica, en la cual se pueden introducir mejoras de manera flexible con el fin de responder a las exigencias actuales y futuras de los clientes, pero de manera muy limitada [25].

Esta red genérica está compuesta, como se aprecia en la Figura 2.1, por una ODN que ofrece el trayecto de interconexión entre una OLT y una o varias ONU, a través de cables de fibra óptica.

Es importante resaltar, que la ONU proporciona el mecanismo de entrega implementando protocolos y adaptando las PDU PON en el extremo del abonado.





**Figura 2.1.** Configuración de Referencia para GPON [25]

La transmisión óptica en la ODN se realiza en sentido descendente OLT/ONU y ascendente ONU/OLT con una sola fibra y a partir de componentes pasivos, en forma dúplex, o en fibras y componentes separados (para lograr una comunicación bidireccional), en forma simplex [23]. Para los sistemas GPON dúplex, se debe contar con un control que ofrezca la configuración independiente de los componentes finales, ya que este sistema actúa de manera autónoma en la red de acceso. Para mejorar la confiabilidad de las redes de acceso, se realiza el mecanismo de conmutación a través de la función OAM, esta conmutación puede ser automática, activándose al detectar fallas, o por medio de conmutación forzada que se activa por eventos administrativos.

Para realizar la separación de los usuarios en una sola fibra, se deberá instalar una comunicación punto a multipunto mediante la multiplexación por división de tiempo (TDM) para el transporte de los paquetes en el enlace descendente, mientras que utiliza el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para una comunicación punto a punto en el enlace ascendente.

Para la transmisión descendente, la OLT envía los paquetes hacia la red de distribución, una vez en el divisor óptico son repartidos hacia todas las ONU. Cada ONU realiza un filtrado de la información recibida a fin de segregar los paquetes y sólo dejar pasar aquellos de los cuales esa ONU sea el destino. Para el sentido ascendente, las ONU envían la data a la red de distribución estableciendo una comunicación punto a punto hacia la OLT, la cual controla el canal, asignando ventanas de tiempo a las ONU de acuerdo al ancho de banda asignado.

## **2.1.2 SERVICIOS SOPORTADOS**

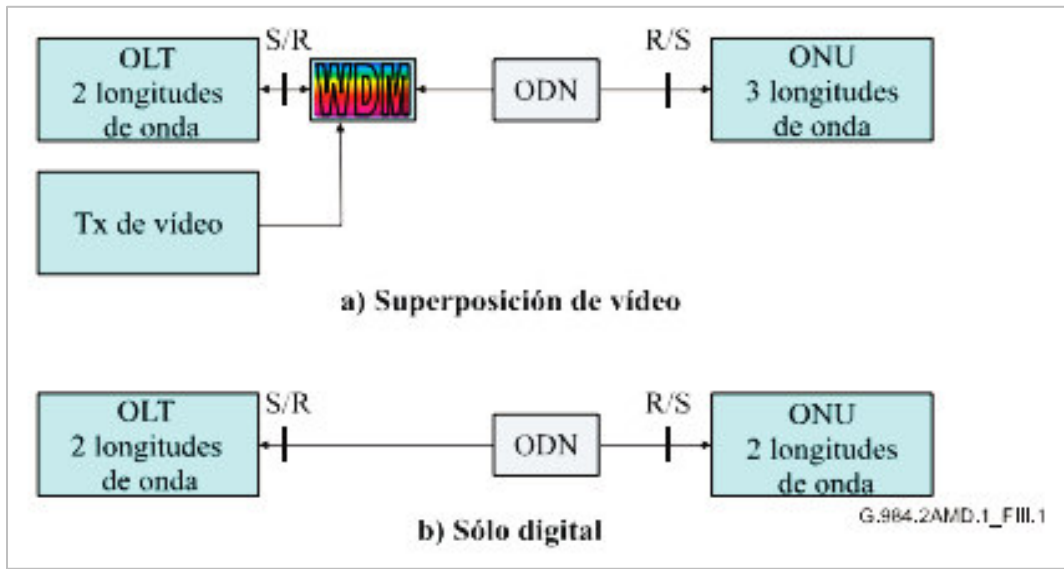
Las redes GPON, como requisito expuesto por la recomendación ITU-T G.984.1 [25], deben ser compatibles con todos los servicios actuales y con las capacidades de banda ancha, a fin de proveer el soporte para nuevos servicios, clientes residenciales, comerciales y empresariales. Estos servicios son categorizados a continuación, como se indica en el Apéndice I de dicha recomendación:

- Servicios de Datos, basados en la norma IEEE 802.3.
- PSTN, servicios POTS /Red telefónica pública, basados en ISDN (BRI) para una velocidad de portadora de 144 Kbps y para (PRI) una velocidad de portadora de 1.544 Mbps y 2.048 Mbps.
- Línea privada, para servicios de T1 y E1, DS3 y E3, con velocidades de portadoras de 1.544 Mbps, 2.048 Mbps, 44.736 Mbps y 34.368 Mbps, respectivamente.
- Video digital, Video sobre IP de alta calidad [25].

De acuerdo a los servicios expuestos, el tiempo medio de retardo de transferencia de señal debe ser menor a 1.5 ms, este tiempo estará referenciado tomando en cuenta el retardo de ida y vuelta, a continuación se deberá dividir para 2. Así mismo, el retardo de transmisión óptica en la fibra es aproximadamente de 5 ns por metro de fibra óptica. [25].

## **2.1.3 LONGITUDES DE ONDAS**

Las longitudes de onda operativas en sentido ascendente, para los sistemas de una sola fibra, se encuentran en un rango útil de 1480 a 1550 nm, y en sentido descendente de 1260 a 1360 nm [35]. Los sistemas GPON actualmente permite dos aplicaciones, transmisión simple de información digital y servicio con superposición de video, como se observa en la Figura 2.2, especificados en la Recomendación ITU-T G.984.2 Enmienda 1 [35].



**Figura 2.2.** Aplicaciones de la tecnología GPON [35]

En la Figura 2.2, se aprecian las dos aplicaciones, la primera, es una aplicación con superposición de videos, en la cual se asigna una tercera longitud de onda de 1550 nm dedicada para la difusión de video, así mismo, la norma establece que, para la superposición de otros servicios, se puede utilizar una longitud de onda superpuesta definida en la Recomendación ITU-T G.983.3 [42], Anexo C.

La segunda aplicación, sólo digital, asigna una longitud de onda para el tráfico de datos de 1490 nm (flujo descendente) y de 1310 nm (flujo ascendente), se escogen estas longitudes de onda, debido a la baja atenuación que ofrece estas. Además, estas longitudes de onda son utilizadas para mantener la bidireccionalidad de la comunicación en una sola fibra, mediante la técnica de Multiplexación por División de Longitud de Onda o WDM.

En virtud de lo expuesto, la Tabla 2.1 presenta los parámetros para la asignación de las longitudes de onda, dejando un rango de longitudes de onda intermedia definida para uso futuro.

**Tabla 2.1.** Parámetros para la asignación de longitudes de onda [20]

Elementos	Notación	Unidad	Valor nominal	Ejemplos de aplicación
Banda de longitudes de onda de 1.3 um				Para uso en el sentido ascendente.
Límite inferior	-	nm	1260	
Límite superior	-	nm	1360	
Banda de reserva				Para uso Futuro Banda de reserva que incluye bandas de guarda para atribución por la UIT-T
Límite inferior	-	nm	1360	
Límite superior	$\lambda 1$	nm	1480	
Banda Básica				Para uso en el sentido descendente.
Límite inferior	$\lambda 1$	nm	1480	
Límite superior	$\lambda 2$	nm	1500	
Banda de mejora (Opción 1)				Para uso en servicio digital adicional
Límite inferior	$\lambda 3$	nm		
Límite superior	$\lambda 4$	nm	1565	
Banda de mejora (Opción 2)				Para servicio de distribución de video
Límite inferior	$\lambda 3$	nm	1550	
Límite superior	$\lambda 4$	nm	1560	

#### 2.1.4 ESPECIFICACIONES DE ATENUACIÓN DE LA ODN

La atenuación de la red de distribución óptica, se clasifica en una gama de atenuación para poder realizar un presupuesto de potencia óptico, estas pérdidas incluyen: las pérdidas debidas a los empalmes, conectores, atenuadores ópticos, divisores ópticos y fibra óptica, dichos elementos, en las redes GPON se los conoce también como elementos pasivos, en general las pérdidas se describen en la Tabla 2.2 y están tipificadas en la Recomendación ITU-T G.982 [43].

**Tabla 2.2.** Clases de pérdidas en el trayecto óptico (ODN) [43]

	Clase A	Clase B	Clase C
<b>Pérdidas mínimas</b>	5 dB	10 dB	15 dB
<b>Pérdidas máximas</b>	20 dB	25 dB	30 dB

Las Clase de pérdidas del trayecto ofrece un panorama del rendimiento de la potencia óptica, en relación a las máximas pérdidas aceptadas entre la OLT y la ONU, de acuerdo a los valores de potencia del transmisor y sensibilidad del receptor óptico y de la velocidad de bits. La Clase A ofrece la menor atenuación de potencia óptica, mientras que en la Clase C mantiene una atenuación más alta. Comercialmente, los presupuestos ópticos clase B para un índice de división de potencia 1:64, son los que encuentran un mayor uso en las redes PON [34].

Los parámetros de la capa dependiente del medio físico o PDM, se aprecian en el Anexo A, Figura A.1.

### **2.1.5 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN**

La tasa de bits brindadas por la tecnología GPON ofrece dos combinaciones para las velocidades de transmisión, tanto simétricas como asimétricas, se identifica la tasa de 1.2 Gbps (ascendente) y la tasa de 2.4 Gbps (descendente), estas son utilizadas en los despliegues de GPON actuales [25]. Las combinaciones, para las tasas de transmisión son:

- 1.2 Gbps ascendente y 2.4 Gbps de descendente
- 2.4 Gbps ascendente y 2.4 Gbps de descendente

En la Recomendación ITU-T G.984.2 [29] se describe una red de acceso de fibra flexible (en términos de velocidades de transmisión), que incluyen servicios que soportan, desde voz hasta transmisión de datos de banda ancha, con velocidades nominales de 1244.16 Mbps y 2488.32 Mbps en sentido descendente y 155.520 Mbps, 622.08 Mbps, 1244.16 Mbps y 2488.32 Mbps en sentido ascendente. Esta organización permite respaldar los requisitos de ancho de banda de los servicios comerciales y residenciales, dependientes del medio físico, como se expone a continuación:

- 1244.16 Mbps (descendente) y 155.52 Mbps (ascendente).
- 1244.16 Mbps (descendente) y 622.08 Mbps (ascendente).
- 1244.16 Mbps (descendente) y 1244.16 Mbps (ascendente).
- 2488.32 Mbps (descendente) y 155.52 Mbps (ascendente).
- 2488.32 Mbps (descendente) y 622.08 Mbps (ascendente).
- 2488.32 Mbps (descendente) y 1244.16 Mbps (ascendente).
- 2488.32 Mbps (descendente) y 2488.32 Mbps (ascendente).

La capa de convergencia de transmisión GTC (*GPON Transmission Convergence*) admite el transporte del reloj de 8 KHz y una señal de referencia de 1 kHz proporcionada por la OLT a

la ONU mediante una señal de control [29], por lo cual, todas las velocidades nominales son múltiplos de 8 KHz.

## 2.1.6 NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA DE LOS DIPOSITIVOS OLT Y ONU

La Recomendación ITU-T G.984.2 [29], ofrece tablas que caracterizan los niveles de potencia de la red GPON para las diferentes velocidades de transmisión, tanto en dirección ascendente como descendente para la ODN y los equipos OLT y ONU, los cuales se observan en el Anexo A (en este anexo también se podrán revisar otras clases en función de las atenuaciones). Los valores típicamente utilizados en la industria de las redes ópticas pasivas son los de 2488.32 Mbps (descendente) y 1244.16 Mbps (ascendente), cuyos niveles de potencia se aprecian en la Tabla 2.3, extraída de la ITU-T G.984.2 Enmienda 1 [33].

**Tabla 2.3.** Niveles de potencia óptica para el sistema a velocidades de 2.4 Gbps en sentido descendente y 1.2 Gbps en sentido ascendente [33]

Características	Unidad	Fibra Monomodo	Fibra Monomodo
<b>Clases de ODN</b>		B+	C+
<b>OLT</b>			
Mínima potencia media inyectada	dBm	+1.5	+3
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5	+7
Mínima sensibilidad	dBm	-28	-32
Mínima sobrecarga	dBm	-8	-12
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0,5	1
<b>ONU</b>			
Mínima potencia media inyectada	dBm	+0.5	+0.5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5	5
Mínima sensibilidad	dBm	-27	-30
Mínima sobrecarga	dBm	-8	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	0.5	0.5

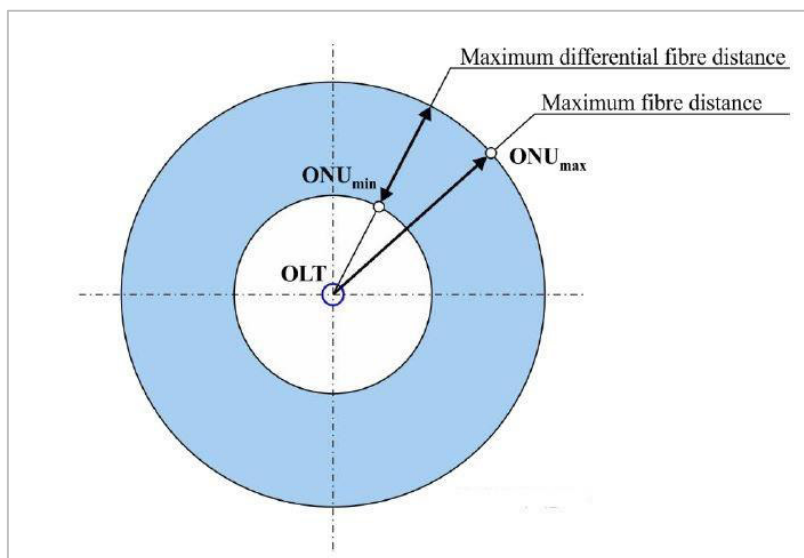
Los diferentes niveles de potencia que ofrece la recomendación para tasas diferentes, se aprecian en el Anexo A, a partir de la Figura A.2.

En referencia a la Tabla 2.3, se observa que la potencia media inyectada, es la potencia de una secuencia pseudoaleatoria de datos, introducida en la fibra por el transmisor. Para los casos prácticos los valores mínimos y máximos no deben sobrepasarse [44]. Por otra parte, la sensibilidad del receptor representa el valor mínimo aceptable de la potencia media enviada

en un punto S/R (*Send/Recive*) para obtener un BER (*Bit Error Rate*) de  $10^{-10}$ , mientras que la sobrecarga mínima del receptor, es el valor máximo aceptable de la potencia media recibida en el punto R/S (*Recive/Send*) para un BER de  $10^{-10}$  [25].

### 2.1.7 ALCANCE

La distancia máxima diferencial es de 20 Km, esto quiere decir que existe un valor mínimo (10 Km) y un valor máximo (20 Km) para el cual el alcance de la ODN podrá mantener un desempeño adecuado [25]. En la Figura 2.3 se observa la distancia diferencial entre la ONUmin y la ONUmax.



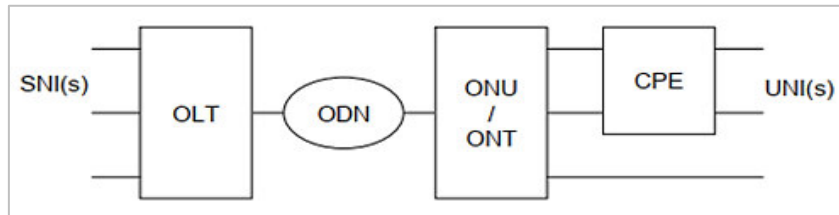
**Figura 2.3.** Distancias entre ONU y OLT [45]

### 2.1.8 DIVISIÓN DE POTENCIA ÓPTICA

Otro aspecto importante, es la división de potencia óptica en la ODN para el dimensionamiento de la cantidad de usuarios. La norma expresa que la relación de división 1:64 es la más apropiada, la cual permite una menor atenuación en el presupuesto óptico, además esta relación de división garantiza un ancho de banda adecuado promedio para el soporte de los servicios entregados. La constante evolución de las OLTs, considera relaciones de división de hasta 1:128, pero en la práctica las operadoras continúan utilizando la relación de división 1:64 [25].

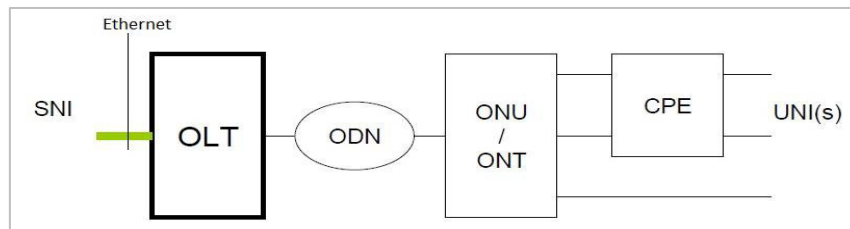
### 2.1.9 ARQUITECTURAS TÍPICAS DE SISTEMAS

Partiendo de un sistema típico GPON (mostrado en la Figura 2.4), la Recomendación UIT-T G.984.1, ofrece variantes tanto para la OLT como para la ONU a fin de poder ofrecer diversos servicios [25].



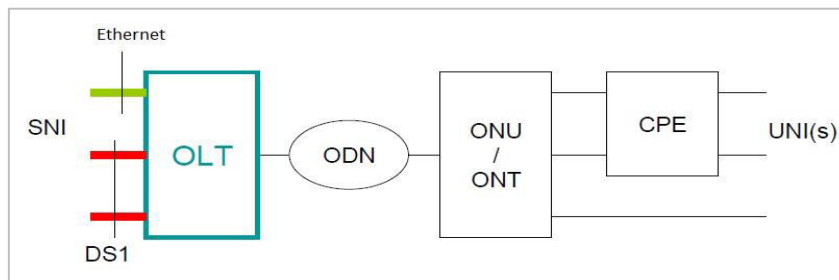
**Figura 2.4.** Sistema Genérico GPON [25]

La forma más simple o escenario de OLT, es el caso de una OLT pura [25], que sólo ofrece una función de adaptación, y aunque no necesariamente, algún nivel de función de incorporación de Ethernet, como se observa en la Figura 2.5.



**Figura 2.5.** Escenario OLT puro [25]

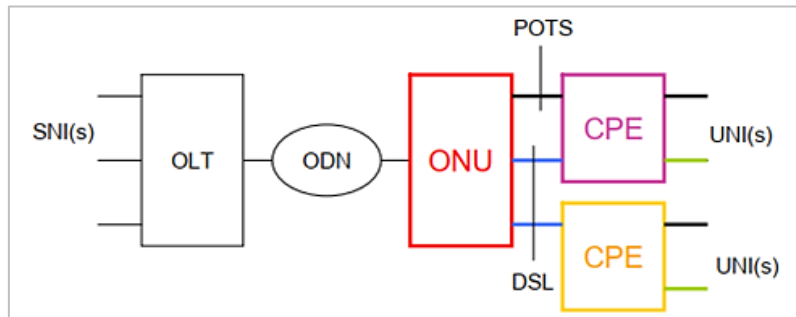
La segunda variante o escenario, se la conoce como OLT de preparación, esta integra funciones de compuerta para enlaces de voz y emulación de circuito TDM [25] (como se observa en la Figura 2.6) y presenta ventajas económicas y prácticas.



**Figura 2.6.** Escenario OLT de preparación [25]

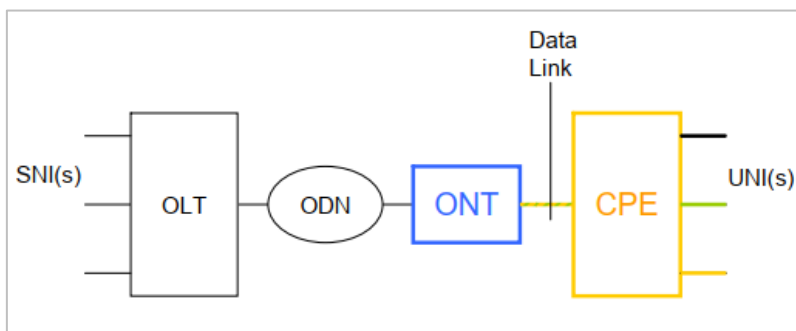


Las configuraciones de las ONUs, ofrecen variantes dependiendo de los servicios agregados y dispuestos para las topologías FTTH, FTTB y FTTC. Para estas últimas dos, FTTB y FTTC, se crean interfaces basadas en cobre, por lo que la norma establece un escenario donde la ONU ofrece interfaces POTS y VDSL al cliente, y otro, donde ofrece sólo interfaz VDSL [25], como se observa en la Figura 2.7.



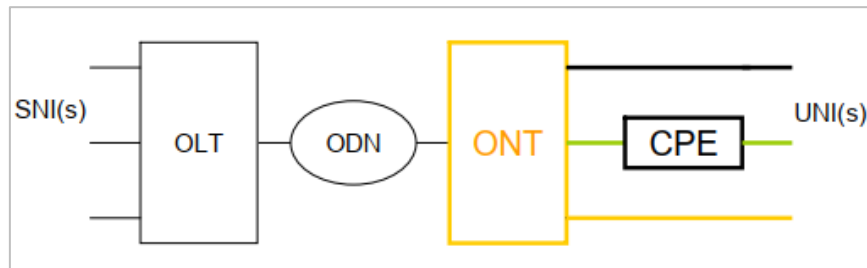
**Figura 2.7.** Escenario ONU VDSL/POTS [25]

Para casos de configuraciones específicas de la topología FTTH, a la ONU se la puede denominar ONT de acuerdo a lo explicado en la sección 1.3.5.1. Para este caso pueden manejarse 3 variantes: Modem GPON, ONT Integrada o una Compuerta Residencial. El caso más simple de ONT es el utilizado como modem GPON, que proporciona interconexión y funcionamiento de Capa 1 y 2, entre la interfaz óptica GPON y la tecnología de enlace de datos, como se detalla en la Figura 2.8. El flujo de servicios es transportado a través del enlace de datos al equipo local del cliente CPE, quien se encarga de la gestión de los servicios.



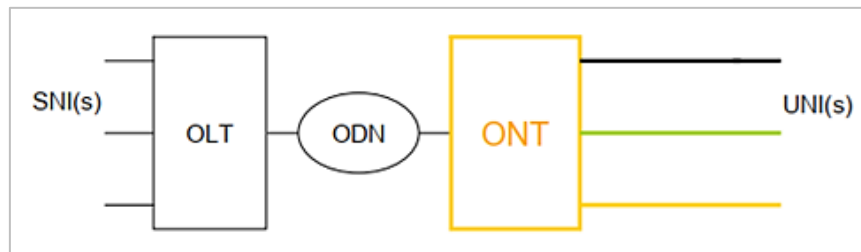
**Figura 2.8.** Escenario Modem GPON [25]

Otro escenario para FTTH, es la integración del modem GPON y el CPE, llamado ONT integrado (Figura 2.9). Aunque en la práctica se coloca normalmente un CPE en la residencia, este escenario ofrece la incorporación de algunas funciones de gestión para la diferenciación de las responsabilidades en el control y gestión de los servicios.



**Figura 2.9.** Escenario ONT Integrado [25]

Para mejorar la seguridad e interconexión, se presenta el escenario de Compuerta Residencial, que incorpora funcionalidades de la Capa 3 en la ONT y ofrece la integración del CPE en la ONT integrada, incluyendo elementos de enrutamiento, firewall y otros, como se observa en la Figura 2.10.



**Figura 2.10.** Escenario ONT Compuerta Residencial [25]

Estas variantes ofrecen escenarios para garantizar la integración de servicios, el flujo de datos, los servicios de datos y la emulación de circuitos, entre otros.

### 2.1.10 INTEGRACIÓN DE LOS SERVICIOS

A diferencia del flujo de datos, las tramas de Ethernet en la ONU generalmente se extraen de la capa TC, aunque algunas permiten realizar un enlace con procesamiento de direcciones MAC. La mayoría de las ONU utilizan la norma IEEE.802.1ad, las cuales realizan procesamiento de VLANs, aunque no es necesario en todos los casos, ya que se cuenta con un mecanismo de identificación de puerto GEM. Su función es similar a una conexión virtual

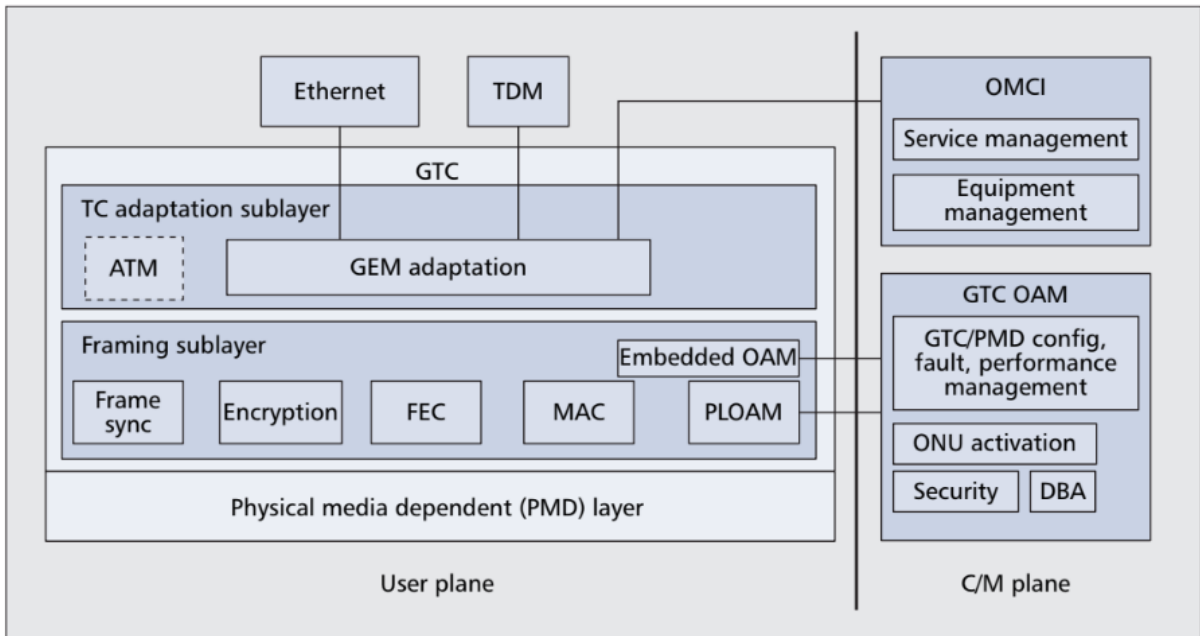
ATM. Para el caso de las OLTs, las tramas Ethernet se toman de la GPON, o pueden recibirse etiquetas VLAN en la OLT. El servicio más utilizado para GPON es VDSL2, aunque es posible ADSL 2 plus o VDSL1.

Los servicios de voz no causan impacto en los sistemas GPON debido a la banda ancha ofrecida, y por ser un servicio basado en paquetes que se transporta a través de una red IP hasta su destino, utilizando el protocolo de Inicio de Sesión SIP (*Session Initiation Protocol*), que se ejecuta sobre RTP/UDP/IP. El flujo de los servicios de voz empaquetada recorre una ruta similar al servicio Ethernet desde el Agente SIP en la ONT. El transporte de las señales de voz desde la ONT al conmutador TDM se realiza a través del protocolo de señalización H.248 [25]. En cuanto a la emulación de circuitos, este se realiza sobre el transporte de paquetes, donde se ofrece una alternativa del servicio TDM con transporte de unidades tributarias SDH (*Synchronous Digital Hierarchy*), a través de los puertos GEM directamente.

### **2.1.11 MULTIPLEXACIÓN Y ENCAPSULAMIENTO DE DATOS**

La actual Recomendación ITU-T G.984.3 [33] presenta el método de encapsulación GEM como el único esquema para transporte de datos en la capa de Convergencia de Transmisión TC, en comparación con la versión original, esta soportaba tanto la trama de transporte GEM como ATM. Este método proporciona un mecanismo de entramado de longitud variable y orientado a la conexión para el transporte de servicios de datos a través de la PON, además, es independientemente del tipo de interfaz del nodo de servicio en la OLT, así como también de los tipos de interfaces UNI en las ONUs.

Para ello, la capa de convergencia de transmisión GTC (*GPON Transmission Convergence*) consta de un plano de gestión y control o plano C/M (*Control/Management*) y un plano de datos de usuario. Se compone de dos subcapas, la subcapa de Entramado GTC y la de Adaptación GTC, la primera subcapa tiene visibilidad global de todos los datos transmitidos, siendo la subcapa de Entramado GTC de la OLT un espejo de la subcapa de Entramado GTC en la ONU [33], como se observa en la siguiente Figura 2.11.



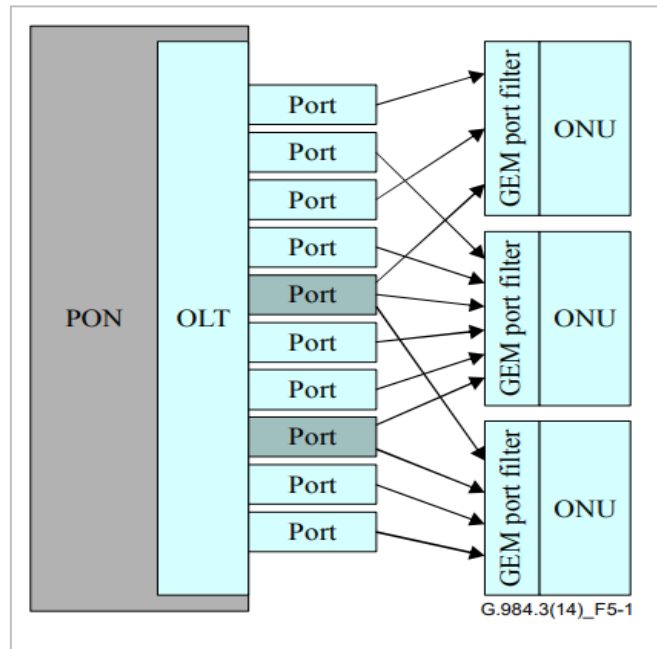
**Figura 2.11.** Pila de protocolos para el GTC [33]

El plano C/M gestiona los flujos de tráfico de usuarios y las características de seguridad; y el plano de datos de usuario, transporta el tráfico de usuarios. El plano C/M consta de un OAM integrado, un PLOAM y un OMCI (*ONU Management Configuration Interface*), los dos primeros gestionan funciones de la capa PMD (*Physical Media Dependent*) y GTC, mientras que el OMCI proporciona un sistema uniforme para administrar capas superiores.

En el plano de datos de usuario, el flujo del tráfico es identificado por sus IDs del puerto GEM, y el tipo de carga útil, además se emplea el concepto de T-CONT que representa un grupo de flujos de tráfico asociados con un ID de asignación, y este aparece como una entidad única a efectos de asignación de ancho de banda ascendente, mientras en el sentido descendente las tramas GEM se transportan en la carga útil GTC y llegan a todas las ONUs [33].

Debido a que las tramas de datos de usuario son de longitud aleatoria, el protocolo GEM debe aceptar la fragmentación de las tramas y anexar el encabezado al comienzo de cada sección de carga útil GTC, esto es importante porque cada fragmento de datos de usuario es transmitido en forma contigua, este protocolo también es utilizado para insertar la cabecera o *overhead* y proporcionar una adaptación de datos sensibles al tiempo, como el caso de tráfico de voz.

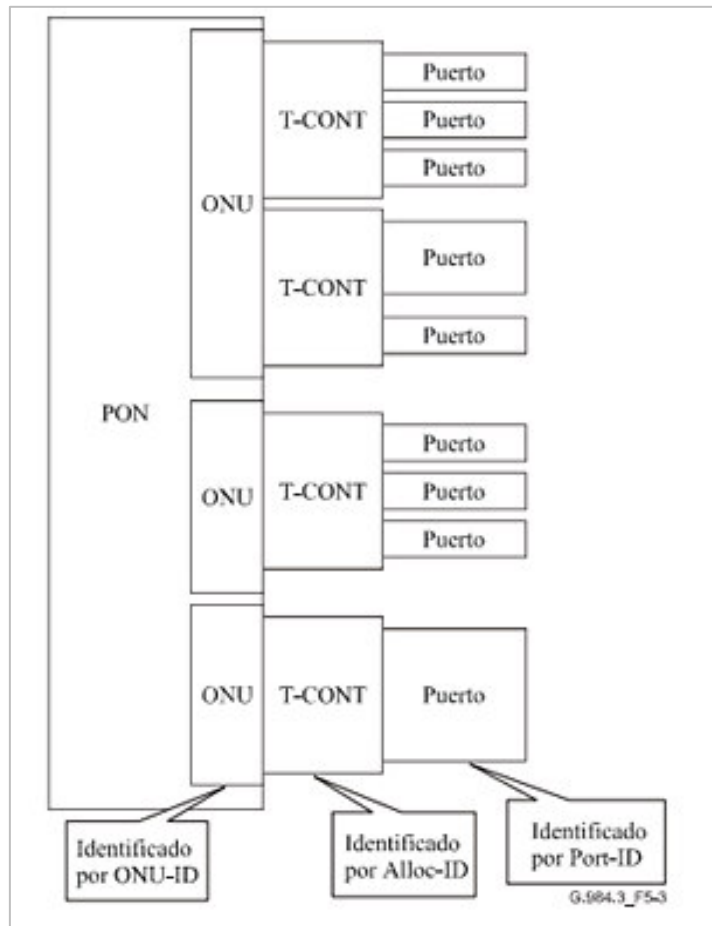
El tráfico es referenciado en relación a la funcionalidad de multiplexación en el dominio del tiempo, para el sentido descendente es centralizado mientras que en el sentido ascendente es distribuido. En el sentido descendente (Figura 2.12), la OLT multiplexa las tramas GEM en el medio de transmisión utilizando el ID del puerto GEM, permitiendo identificar las tramas GEM que pertenecen a diferentes conexiones lógicas descendentes, que cada ONU filtra en función de sus IDs y procesa sólo las tramas que corresponde [33].



**Figura 2.12.** Multiplexado descendente [33]

Para el sentido ascendente, la OLT permite la asignación de ancho de banda o transmisión a las entidades portadoras de tráfico en las ONUs. Este tráfico entrante es procesado a nivel 2 (protocolo 802.1p/Q/ad) de acuerdo a las condiciones establecidas por la OLT con la interfaz de gestión y control de la ONU u OMCI, quien se encarga de establecer la gestión y el control, con el envío de mensajes a través de los puertos GEM dedicados.

Las entidades portadoras del tráfico son contenedores de transmisión, o *buffers* para los servicios, a estos contenedores se los conoce como T-CONTs. Cada ONU informa a la OLT de sus necesidades de ancho de banda y se realiza la asignación dinámica del ancho de banda con el propósito de mejorar el uso del medio de transmisión, identificados por un *ID-Alloc*, que no son más que tickets indicando el turno de envío de datos de cada ONU a un T-CONT (Figura 2.13).



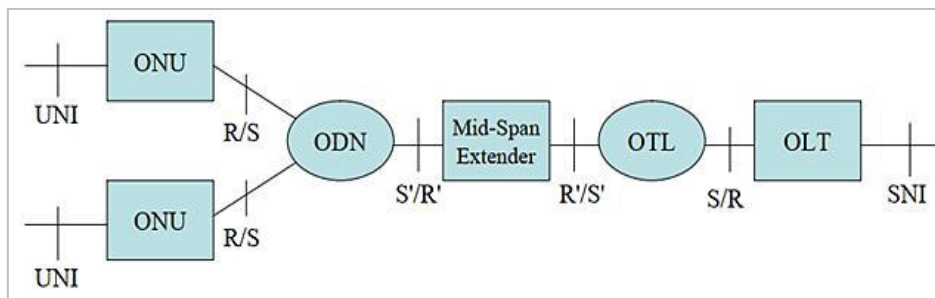
**Figura 2.13.** Multiplexación en el servicio GEM [25]

El esquema de mapeo en el cual el tráfico es transmitido en diferentes puertos GEM, en diferentes T-CONTs, permite que un T-CONT pueda corresponder a un puerto GEM o a múltiples puertos GEM. Las asignaciones de ancho de banda a diferentes *ID-Allocs* se multiplexan en un tiempo especificado por la OLT. Dentro de cada asignación de ancho de banda, la ONU utiliza el ID de puerto GEM para identificar las tramas GEM que pertenecen a diferentes conexiones lógicas ascendentes [33].

Las tramas TDM son almacenadas según su orden de llegada, para poder ser multiplexadas en tramas GEM de longitud fija durante su transmisión. Por otra parte, las tramas Ethernet son procesadas y mapean los datos hacia el *payload* de la trama GEM, y encapsulan automáticamente la información del encabezado, así el mapeo de la información se realiza de forma sencilla por dispositivos que soportan esta función.

### 2.1.12 EXTENSIÓN DE ALCANCE

La Recomendación ITU-T G.984.6 [34] describe redes GPON con extensión de alcance de medio tramo, permitiendo que el alcance máximo sea de 60 Km, utilizando un elemento extensivo activo (regenerador o amplificador óptico) ubicado entre la OLT y la ONU. Además, se logra aumentar la relación de división de potencia óptica en la red, como se muestra en la Figura 2.14.



**Figura 2.14.** Extensión de alcance de medio tramo [34]

Estos extensores de alcance óptico pueden ser de dos clases, amplificadores ópticos (AO) y regenerador óptico-eléctrico-óptico (OEO). El AO amplifica la señal óptica sin necesidad de convertirla en señal eléctrica, a través de un bombeo externo con un láser, mientras que el OEO, convierte la señal óptica en eléctrica, la amplifica y luego la sincroniza en el dominio eléctrico para convertirla en óptica y retransmitirla. Asimismo, es posible utilizar esquemas híbridos, amplificadores ópticos en la dirección descendente y regeneradores en la ascendente o viceversa.

Los extensores de alcance deben ser compatibles con GPON 2.4/1.2 Gbps y con los dispositivos y red de clase B+ con un rango de atenuación óptica de 13 a 28 dB [35] (aunque se pueda admitir una ODN de Clase C+ con un rango de atenuación óptica de 17 a 32 dB [45] para que la extensión máxima sea posible. Para algunas versiones de OLT, deben analizarse e implementarse modificaciones, por lo general de los parámetros de las capas PMD y TC. Los extensores activos son considerados como elementos anexos o adicionales a la OLT y no una interfaz adicional, que utiliza la OLT como proxy y adaptable a la red, ya que poseen un ONT integrado [34].

Los extensores causan degradación en la ráfaga de datos, para el caso de un AO, se genera un retardo de intervalo de tiempo corto, hasta que los mecanismos de control de ganancia se estabilicen, por lo que los equipos OLT y ONU deben compensar las ganancias, permitiendo

que se transmita un patrón de preámbulo adicional antes de cada ráfaga. Por otra parte, los OEO causan degradación de la sobrecarga total del modo de ráfaga, por lo que, la referencia de temporización para esta función está en el receptor descendente del extensor, utilizada para controlar el nivel y/o reloj.

## 2.2 ANÁLISIS TÉCNICO DE LA TECNOLOGÍA XGS-PON

Las redes XGS-PON se cimientan en la estructura descrita en las series de Recomendaciones ITU-T G.983.x, ITU-T G.984.x y ITU-T G.987.x que presenta una red flexible con el fin de responder a futuras exigencias de los clientes, con la particularidad que cuando se implementa un servicio de superposición de video de radiofrecuencia, se puede utilizar un multiplexor WDM o un acoplador/divisor óptico para combinar las señales de XGS-PON y Video RF ubicado en la ODN, método que se incluye en la Recomendación ITU-T G.9807.1.

### 2.2.1 ESTRUCTURA XGS-PON

La Figura 2.15, tomada de la Recomendación G.9807.1 [27], ofrece una arquitectura de referencia de una red de acceso óptico genérico en donde la ODN consta de un solo segmento de distribución óptica pasiva ODS (*Optical Distribution Segment*) o un grupo de estos interconectados con extensores de alcance RE (*Reach Extender*) de acuerdo a la longitud de onda adoptada [27].

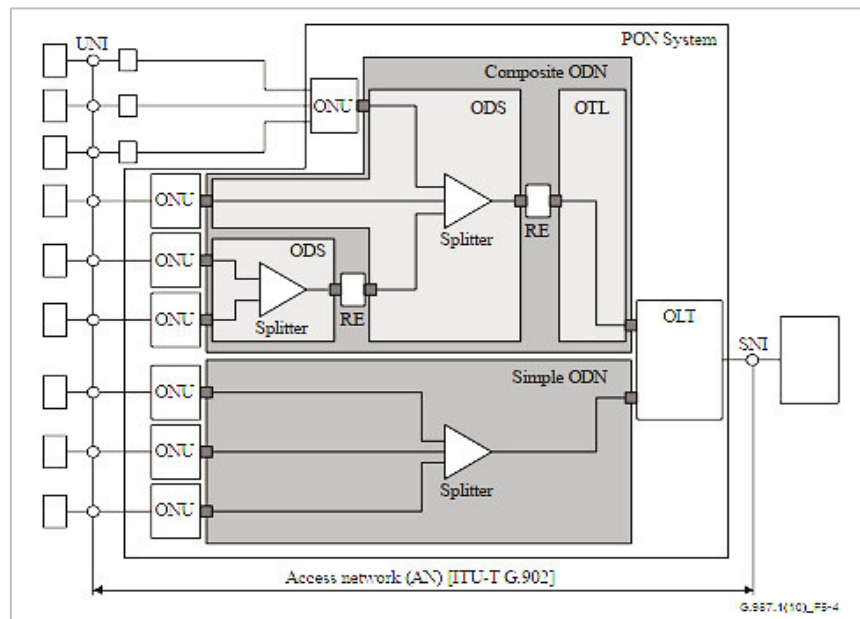


Figura 2.15. Arquitectura de referencia de una red de acceso [27]



Pueden existir varios tipos de arquitecturas ODN para lograr escenarios de coexistencia y servicios adicionales, basados en un conjunto básico de longitudes de ondas y un conjunto opcional, que permitan la incorporación de servicios como distribución de video [27].

### **2.2.2 SERVICIOS SOPORTADOS**

La evolución de las redes de telecomunicaciones ha permitido la incorporación de redes de nueva generación NGNs (*New Generation Networks*) basadas en paquetes, es así que las XGS-PON deben soportar servicios emergentes, así como servicios heredados como TDM y POTS. Estos servicios son categorizados a continuación:

- Servicios de Telefonía: VoIP y POTS.
- TV en tiempo real: IPTV a ser transportado por el protocolo IP multidifusión/unidifusión y Televisión digital transportada usando superposición de video.
- Líneas dedicadas T1 y E1: T1 a 1,544Mbps y E1 a 2,048Mbps.
- Internet de alta velocidad basada en la IEEE 802.3
- *Backhaul* Móvil
- Servicios VPN L2: como servicios Ethernet, Carrier Ethernet 2.0, etc. [27].

Para diferentes aplicaciones comerciales, XGS-PON debe proporcionar servicios de acceso a Ethernet como punto a punto, punto a multipunto y servicios de multipunto basados en Conexiones Virtuales Ethernet EVC (*Ethernet Virtual Connection*), adicionalmente deberá soportar IPv6. Debido a las prestaciones de servicios que ofrece XGSPON, como por ejemplo backhaul, requiere que las OLTs sean capaces de mantener una alta capacidad de sincronización de reloj y a su vez permita servir de fuente de temporización principal de las ONUs. Los aspectos de la propagación del reloj, los escenarios de sincronización y el transporte de mensajes del canal a través de este tipo de PON se realiza con el protocolo IEEE 1588v2 [27].

De acuerdo a los servicios expuestos, el retardo de transferencia de señal medio máximo es de 1.5 ms (no incluye los retardos introducidos por las funciones de adaptación). El retardo de transmisión óptica en la fibra es de 5 ns por metro de fibra óptica aproximadamente [27].

### 2.2.3 LONGITUDES DE ONDAS

Los sistemas XGSPON ofrecen dos opciones de longitudes de onda operativa, el conjunto básico y el opcional donde se reutilizan las longitudes de onda de la XGPON y de la GPON, respectivamente.

- Conjunto básico de longitudes de onda: 1260 a 1280 nm (flujo ascendente) y 1575 a 1580 nm (flujo descendente).
- Conjunto opcional de longitudes de onda: 1300 a 1320 nm (flujo ascendente) y 1480 a 1500 nm (flujo descendente) [27].

### 2.2.4 ESPECIFICACIONES DE ATENUACIÓN DE LA ODN

La tecnología opera de acuerdo a un conjunto de longitudes de ondas normalmente con pérdidas nominales en la ODN de 28/29 dB. Para el caso del conjunto básico (de longitudes de onda) se alinea con la Clase N1 de XGPON con un máximo de 29 dB, considerando una pérdida adicional, producto del filtro WDM1r, para esta banda. Para el conjunto opcional se alinea con la clase B+ de GPON con un máximo 28 dB [27]. Adicionalmente, como se indica en la Tabla 2.4, se ofrecen especificaciones para clases nominales y extendidas.

**Tabla 2.4.** Especificaciones de clases nominales y extendidas [27]

Clases de pérdidas en el trayecto óptico	Conjunto de Longitudes de Onda Opcional		Conjunto de longitudes de Onda Básico			
	B+	C+	Nominal 1 (N1)	Nominal 2 (N2)	Extendido 1 (E1)	Extendido 2 (E2)
<b>Pérdidas mínimas</b>	13 dB	17 dB	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
<b>Pérdidas máximas</b>	28 dB	32 dB	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB

Las redes PON, dada su estructura genérica ofrecen una actualización o migración gradual, como se ha expresado anteriormente, para ello se incorpora elementos como el filtro WDM1r, el cual ofrece un escenario de coexistencia, cuya función es combinar/aislar las longitudes de onda de las señales XGPON y GPON en una sola fibra y opera con las longitudes de onda descritas en las recomendaciones ITU-T G.984.5 [33], ITU-T G.987.1 [42] y G.9807.1 [27], pero se generan pérdidas por inserción, lo que genera un problema en el presupuesto óptico.

## 2.2.5 VELOCIDAD DE TRANSMISIÓN

La transmisión se realiza por medio de una sola fibra, con dos conjuntos de velocidades de transmisión, el primer conjunto será XGSPON, este tiene un valor nominal de 10 Gbps tanto en flujo ascendente como para flujo descendente.

El segundo conjunto de velocidades se plantea para la coexistencia de TDMA con las ONUs de XGPON tradicionales, en este caso la OLT debe soportar 10 Gbps de flujo descendente y 2.5 Gbps de flujo ascendente [27].

## 2.2.6 NIVELES DE POTENCIA ÓPTICA DE LOS DIPOSITIVOS OLT Y ONU

Todos los niveles de potencia de la interfaz óptica de 9.95328 Gbps se referencian para una distancia máxima de fibra entre los puntos S/R y R/S de 20 Km, como se observan en la Tabla 2.5, la cual también describe las potencias típicas para las OLTs y las ONUs (revisar el Anexo B). La recomendación hace mención además a una distancia opcional de 40 Km que está en estudio para ser utilizada [27].

**Tabla 2.5.** Niveles de potencia óptica para el sistema a velocidades de 10 Gbps en sentido descendente y ascendente [27]

Características	Unidad	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
Clase de ODN		N1	N2	E1	E2	B+	C+
<b>OLT</b>							
Mínima potencia media inyectada	dBm	+2	+4.0	+6.0	+8	+2	+6.0
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5	+7	+9	+11	+5	+9
Mínima sensibilidad	dBm	-26	-28.0	-30.0	-32	-26	-30
Mínima sobrecarga	dBm	-5	-7.0	-9.0	-11	-5	-9
Degradación óptica en sentido descendente	dB	1	1	1	1	1	1
<b>ONU</b>							
Mínima potencia media inyectada	dBm	+4	+4	+4	+4	+3	+3
Máxima potencia media inyectada	dBm	+9	+9	+9	+9	+8	+8
Mínima sensibilidad	dBm	-28	-28	-28	-28	-27	-27
Mínima sobrecarga	dBm	-9	-9	-9	-9	-8	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	1	1	1	1	1	1

## 2.2.7 ALCANCE

En la tecnología XGS-PON, la distancia mínima es de 20 Km. Se debe tomar en cuenta que la capa TC XGS-PON debe soportar los mismos requisitos que las redes XGPON, uno de estos requisitos será la distancia máxima de fibra de 60 Km y poder configurar la distancia de fibra diferencial máxima con un paso de 20 Km [27]. En el apéndice B, de la recomendación UIT-T G.9807.1 se presenta las categorías recomendadas para la distancia diferencial de fibra DD (*Difference Distance*) como se muestran en la Tabla 2.6.

**Tabla 2.6.** Distancia Diferencial de fibra recomendada [27]

	<b>DD20</b>	<b>DD40 (las especificaciones siguen en estudio)</b>
Distancia Diferencial máxima	20 Km	40 Km

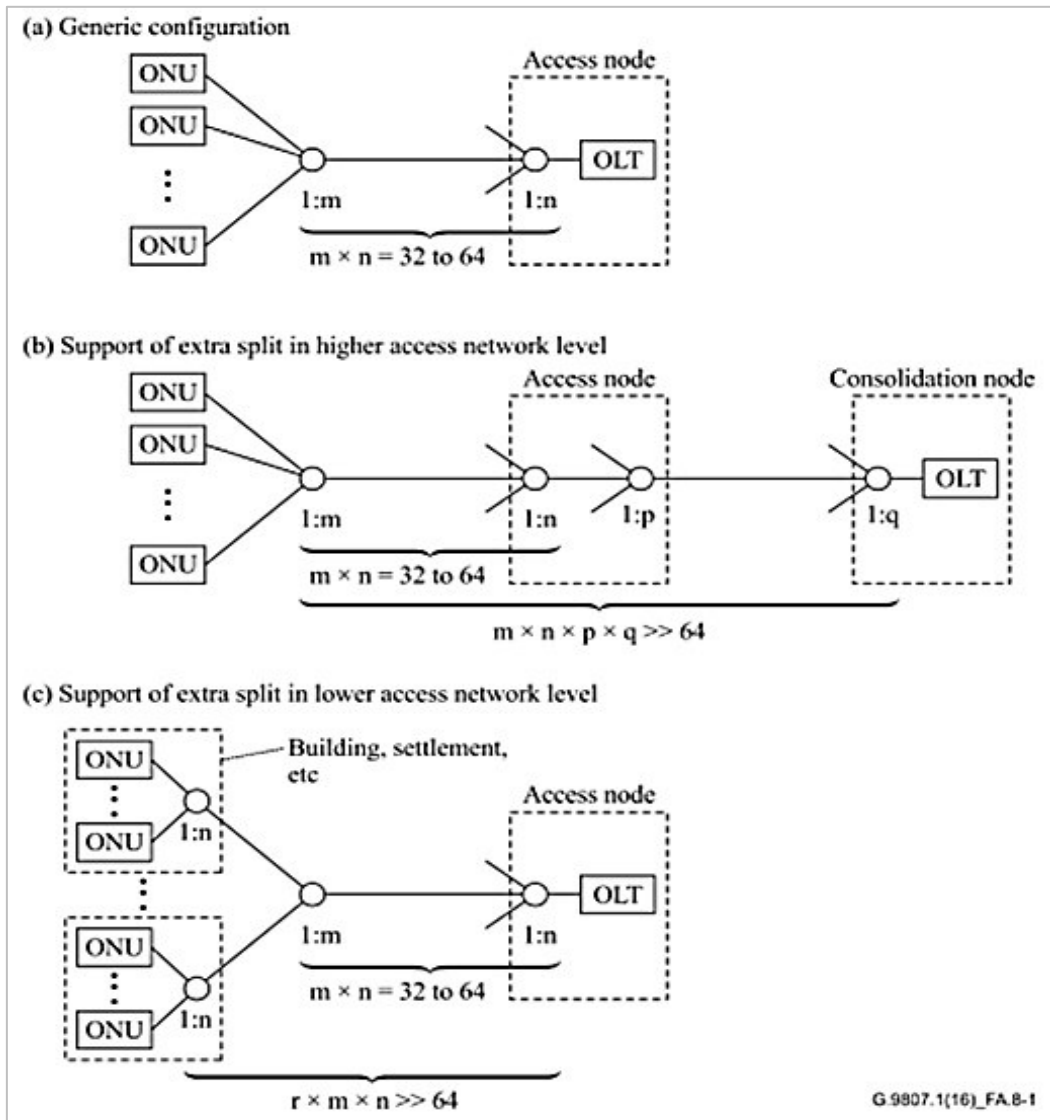
## 2.2.8 DIVISIÓN DE POTENCIA ÓPTICA

La relación de división normada es como mínimo 1:64 a fin de permitir la coexistencia con las diferentes redes XGPON o GPON, sin necesidad de utilizar un divisor en el nodo de acceso; pero pueden utilizarse divisores, en niveles superiores a este, de acuerdo a las necesidades de las operadoras, tomando en cuenta la madurez y la relación costo eficiencia de los dispositivos ópticos.

Tomando en cuenta lo indicado en el párrafo anterior, en la Figura 2.16 se muestran 3 diagramas con arquitecturas para la red XGS-PON, las cuales ofrecen opciones de expansión.

En el diagrama a), se observa un despliegue genérico, es decir, sólo dos niveles de división de potencia óptica.

En el diagrama b) se presenta una mayor relación de división que permite extender una red de acceso PON en la sección backhaul y, en el diagrama c), se propone una extensión de red de acceso PON hacia usuarios finales, que ofrezca configuraciones de división flexible y eficiente en el despliegue de diversos escenarios [27].

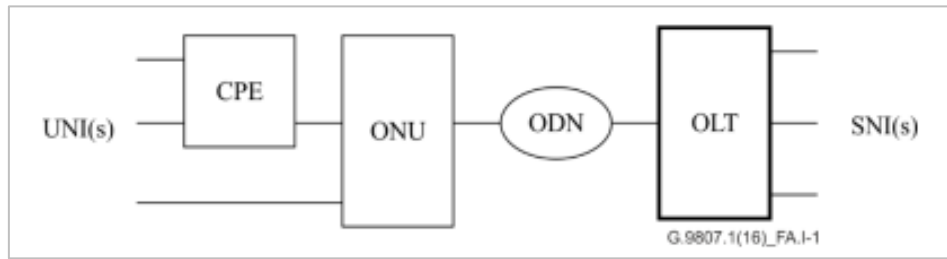


**Figura 2.16.** Opciones de arquitectura para divisores de potencia óptica en XGS-PON [27]

La incorporación de un nodo de acceso intermedio entre la OLT y las ONUs (diagrama b) o la incorporación de divisores ópticos extras en las inmediaciones del usuario (diagrama c), aumentan el presupuesto de pérdidas que conlleva a una extensión del alcance nominal del sistema, ofreciendo una división mayor en la capa física [27].

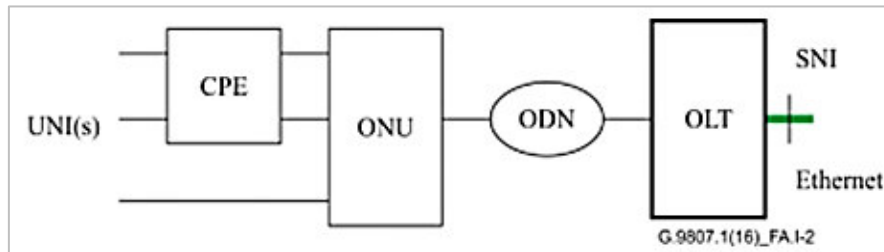
## 2.2.9 ARQUITECTURAS TÍPICAS DE SISTEMAS

Partiendo de un sistema típico XGS-PON (mostrado en la Figura 2.17), la Recomendación UIT-T G.9807.1, ofrece variantes tanto para la OLT como la ONU a fin de soportar diversos servicios [13].



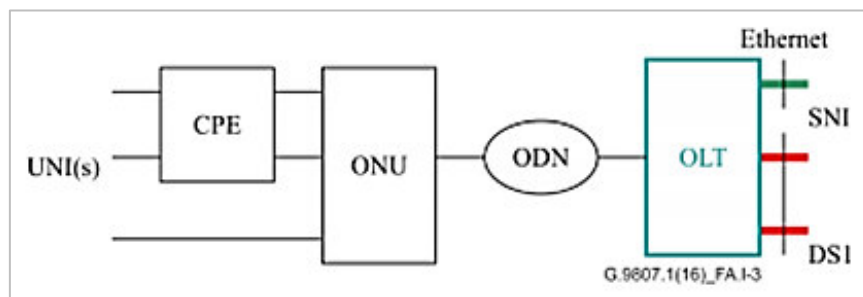
**Figura 2.17.** Sistema genérico XGS-PON [27]

El escenario de OLT presentado en la Figura 2.18, es el caso de una OLT pura, que sólo contiene una función de adaptación XGS-PON y aunque no necesario, algún nivel de función de agregación de Ethernet.



**Figura 2.18.** Escenario OLT puro [27]

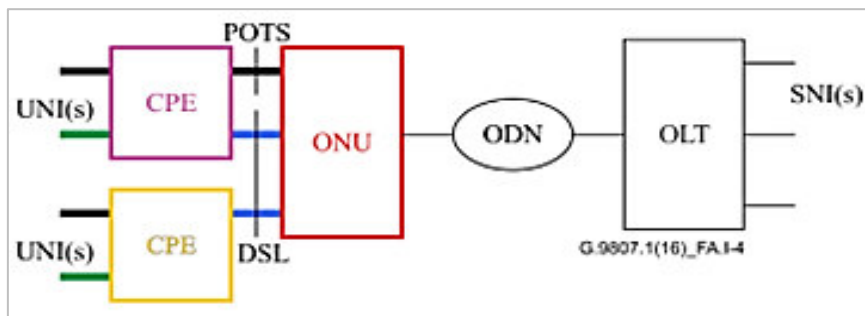
La OLT en preparación, como se muestra en la Figura 2.19, puede asumir funciones de preparación de servicios adicionales, que normalmente incluyen compuertas de enlaces de voz y emulación de circuito TDM. Estos servicios se pueden ser proporcionados utilizando un escenario de OLT puro y una compuerta de enlace de voz separada.



**Figura 2.19.** Escenario de OLT en preparación [27]

Para el caso de la ONU, se tiene una variante que se utiliza para crear interfaces basadas en cobre, como se haría con una portadora de bucle digital/multiplexor de acceso de línea de

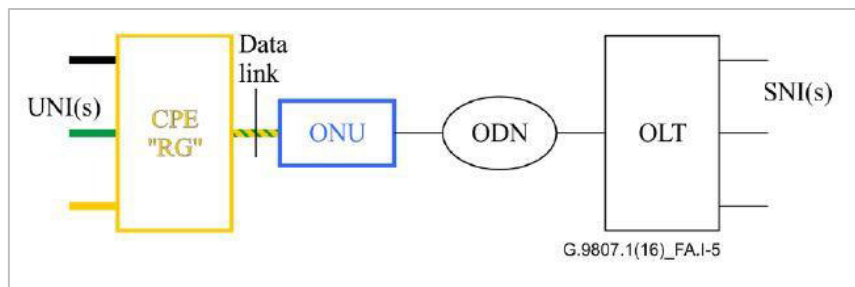
abonado digital, llamada ONU VDSL/POTS. En la Figura 2.20, se presenta un escenario donde la ONU ofrece interfaces POTS y VDSL al cliente, que permiten centralizar funciones y reducir la necesidad de utilizar un CPE. Este escenario es utilizado para tecnologías FTTB y FTTC, y permite minimizar el tamaño y la potencia de la ONU.



**Figura 2.20.** Escenario ONU VDSL/POTS [27]

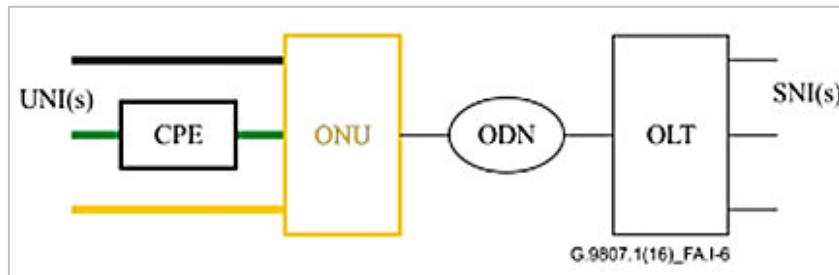
Se pueden establecer varios escenarios, para despliegues FTTH, como: Modem XGS-PON, ONU integrada o una compuerta residencial.

Para el caso del escenario MODEM XGS-PON, la función de gestión de los servicios, se realiza con el transporte de los datos al CPE, dada la interconexión y funcionamiento de las Capas 1 y 2, entre la interfaz óptica XGS-PON y la tecnología de enlace de datos, como se observa en la Figura 2.21.



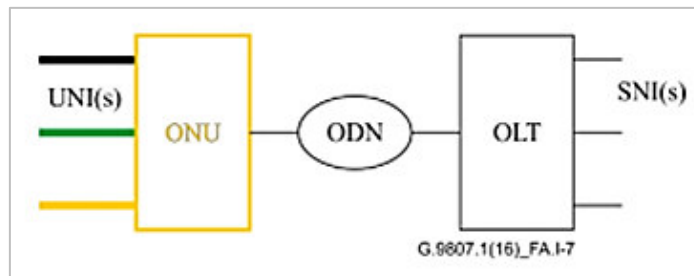
**Figura 2.21.** Escenario XGS-PON Modem [27]

La ONU integrada (como se visualiza en la Figura 2.22), se considera como la fusión del variante módem XGS-PON y el CPE, pero tiene como desventaja que genera inconvenientes en el proceso de diferenciación de responsabilidades en la gestión de servicios.



**Figura 2.22.** Escenario ONU Integrada [27]

Para el caso de la ONU como Gateway residencial (Figura 2.23), se considera la fusión de la ONU integrada y el CPE, incorporando funcionalidades de Capa 3, que incluyen: enrutamiento, direccionamiento y firewall.



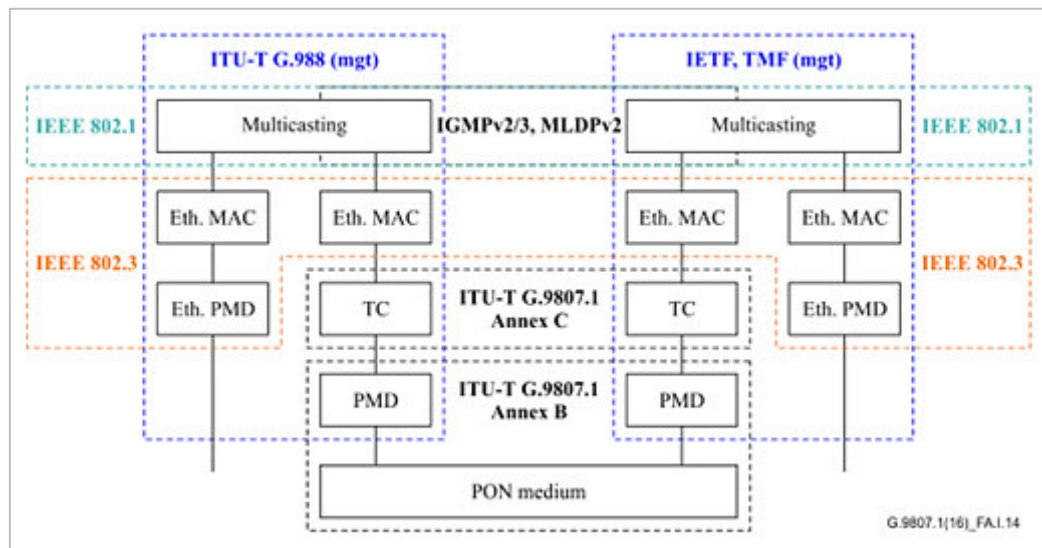
**Figura 2.23.** Escenario ONU Gateway residencial [27]

## 2.2.10 INTEGRACIÓN DE LOS SERVICIOS

Para los servicios de Ethernet, las ONUs pueden extraer las tramas de Ethernet, definidas por la IEEE 802.3, de la capa TC. En algunos casos, se realiza un procesamiento en las tramas desde su recepción en la interfaz XGS-PON hasta su transmisión en la UNI. Asimismo, en otros casos se realiza por medio de un puente con el procesamiento de direcciones MAC.

Los servicios de multidifusión, que se observan en la Figura 2.24, son servicios lógicos de relevancia para XGS-PON. La señal interactiva de multidifusión es proporcionada por el protocolo de administración del grupo de trabajo de ingeniería de internet IETF IGMP (*Internet Engineering Task Force Internet Group Management Protocol*) que controla la entrega del tráfico de datos de multidifusión por IP, en sus versiones 2 o 3 para IPv4 y MLDPv2 (*Multicast Label Distribution Protocol version 2*) que es el protocolo de distribución de etiquetas para multidifusión [27].





**Figura 2.24.** Servicio Multidifusión [28]

El protocolo MLDPv2, proporciona una señalización flexible para multidifusión, esta mantiene una conexión entre la fuente de multidifusión IP y los receptores a través de las redes intermedias (redes de acceso), mientras que, los protocolos IETF por su parte, cumplen la función de eliminar o reducir la dependencia de los protocolos de nivel superior en este tipo de arquitecturas, es decir, los protocolos de capa MAC o medios físicos. El beneficio del uso de IPv6 con respecto a IPv4, es el uso varias direcciones que pueden ser cambiadas para mejorar la privacidad de los mensajes.

La topología de multidifusión de la capa IP se traduce en multidifusión de la capa Ethernet mediante el mapeo definido por la IEEE 802.1b, que proporciona criterios de prioridad de tráfico y filtrado de multidifusión dinámica; mientras que la gestión de multidifusión se define en la UIT-T G.988, que incluye: la elegibilidad de la UNI para recibir tráfico de multidifusión, los puertos XGS-PON que contienen el tráfico de multidifusión y su interconexión [46].

Para los servicios de voz, se tiene el funcionamiento de servicios basados en paquetes y servicios basados en circuitos. Para el primer tipo de servicio, basados en paquetes, se transporta a través de una red IP, utilizando el protocolo de inicio de sesión SIP, que se ejecuta sobre RTP/UDP/IP, todos esto definidos en las RFC (*Request form Comments*) de la IETF. Dada la banda ancha que ofrece XGS-PON, la selección del códec se basa en la interoperabilidad con el extremo SIP. El flujo del servicio es generado de manera similar a un servicio Ethernet desde el agente SIP en la ONU, donde el tráfico de usuarios, tanto portador

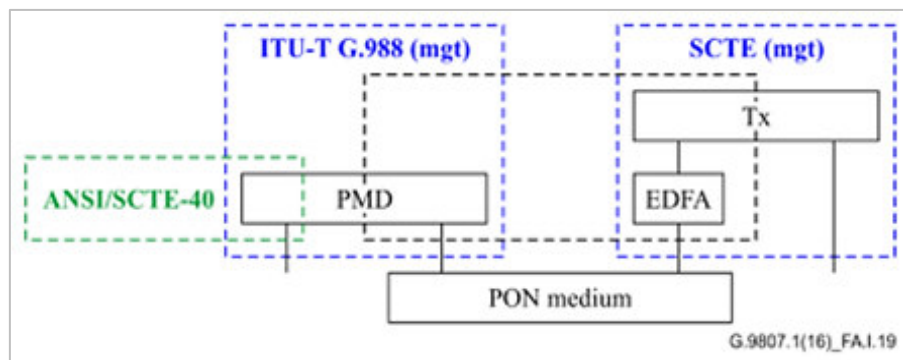
como de señalización, sale de la OLT a través de una interfaz Ethernet, compartida generalmente con otros servicios.

En referencia, al servicio de voz con conmutación de circuitos, se utiliza VoIP para transportar las señales de voz desde la ONU al conmutador TDM en la central, el protocolo utilizado es UIT-T H.248.x, ya que es adecuado para interfaces de pasarela de voz. En la OLT, el flujo del H.248 finaliza generalmente en un módulo puente, de propósito especial [28]. El protocolo H.248, ofrece control y gestión para el soporte de llamadas de voz, a través del control de las compuertas de enlace en las Redes de Telefonía Conmutada RTC, RTC-IP o IP-IP.

La emulación de circuitos se puede realizar a través del transporte de la carga útil TDM real, ejecutando con una variante del sistema de protocolos IETF PWE3 (*Pseudo Wire Emulation Edge to Edge*), un mecanismo que emula los atributos de un servicio de telecomunicaciones con el grado requerido para su fidelidad, o con el protocolo MEF-8 (*Metro Ethernet Forum - 8*), que ofrece una especificación o acuerdo de implementación para la emulación de servicios TDM sobre una Carrirer Ethernet.

Otra solución, para la emulación de circuitos, implica el uso de la interfaz TDM de la OLT local, o el uso de una interfaz de paquetes en la OLT, que conduce a un puente o pasarela en otro lugar de la red, definida por la UIT-T G.703 para interfaces DS1 y E1.

El servicio de superposición de video, se transmite utilizando una tercera longitud de onda, el formato de señal entregado al cliente está definido por los estándares de la Sociedad de Ingenieros de Cable y Telecomunicación (*SCTE – of Cable and Telecommunication Engineers*) y la gestión de la interfaz ONU viene dada por la ITU-T G.988 [47], como se observa en la Figura 2.25.



**Figura 2.25.** Servicios de superposición de videos [28]

## 2.2.11 MULTIPLEXACIÓN Y ENCAPSULAMIENTO DE DATOS

El modelo de referencia se divide en las capas de medio físico de convergencia de transmisión y de trayecto o ruta, esta última en XGS-PON corresponde a la capa de encapsulación (ITU-T G.9807.1, 2016). La capa TC se divide en subcapas de transmisión y adaptación, las cuales corresponde a la subcapa de convergencia de transmisión X-GEM que transporta varios tipos de datos. Por otra parte, la subcapa de transmisión PON ofrece la transmisión requerida en la ODN, como se aprecia en la Tabla 2.7.

**Tabla 2.7.** Referencia de Capas [28]

Capa de Ruta		Encapsulación X-GEM	
Capa de medio de transmisión (proporciona funciones OAM)	Capa TC XGS-PON	Adaptación	CBA
		Transmisión PON	Asignación de ancho de banda del puerto X-GEM. Manejo de QoS y administración de T-CONT. Privacidad y Seguridad Alienación de tramas Rango Sincronización de ráfagas Sincronización bit/byte
	Capa de Medio físico		Adaptación eléctrica/óptica Multiplexación por longitud de onda Conexiones de fibra

Para el buen desempeño de la arquitectura genérica para sistemas XGS-PON se debe cumplir que, tanto en la OLT como en las ONUs exista un buen funcionamiento del protocolo XGEM, el cual es compatible con las velocidades y tramas usadas en toda la red de acceso, a diferencia del protocolo GEM usado para GPON.

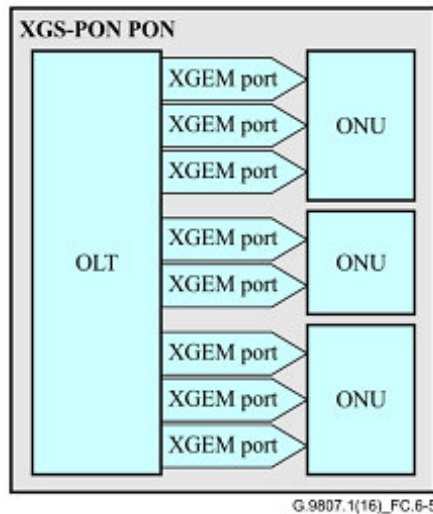
El encapsulamiento y la alineación de las tramas lo realiza la subcapa de entramado, y se encarga adicionalmente de procesar los *Alloc-ID* para la gestión de la transmisión de la información en dirección ascendente. La sincronización y alineamiento de la trama, así como el soporte e integración de la corrección de errores y encriptación, los realiza la capa de adaptación del medio físico, mientras que la capa de adaptación al servicio, soporta las funciones de fragmentación y re ensamblado de las tramas de información y de las tramas OMCI (de encapsulación de las tramas y el filtrado de los puertos XGEM) permitiendo que las ONUs puedan identificar su propio tráfico.

El control, operación y gestión de la información en la ONU se realiza sobre tres canales, el OAM integrado, PLOAM y OMCC (*ONU management and Control Channel*). Los canales: OAM integrado y PLOAM gestionan las funciones de las capas PMD y XGS-PON TC, mientras que el OMCC lleva los mensajes de la OMCI (*ONU management and control interface*). El OAM integrado, ofrece funciones de envío de información, que es proporcionada por campos de encabezados definidos y estructuras integradas de la trama FS descendente y la ráfaga FS ascendente. El canal PLOAM se basa en mensajes y se utiliza para toda la información de gestión de PMD y FS, estos mensajes se transportan en la trama FS y ráfaga FS.

El Canal de Gestión y Control de ONU o OMCC utiliza los mensajes OMCI para gestionar las capas que definen el servicio por encima de la capa TC. El adaptador OMCI de la ONU es responsable de filtrar y desencapsular las tramas XGEM, que transportan mensajes OMCI en la dirección descendente y de encapsulado SDU (*Service Data Unit*) OMCI en la ascendente [27].

La responsabilidad de la multiplexación, encapsulamiento y delimitación de la SDU de capa superior, es de la subcapa de adaptación TC, para esto en el lado del transmisor la subcapa acepta las tramas de datos de usuario y el tráfico de la Interfaz de Gestión y Control de la ONU u OMCI, la cual realiza la fragmentación de la SDU, asigna un ID de puerto XGEM a una SDU o un fragmento de SDU, y le aplica el método de encapsulación XGEM para obtener una trama XGEM. En el lado del receptor, la subcapa de adaptación TC acepta la carga útil de las tramas FS o ráfagas FS, esta subcapa también realiza la delineación de tramas XGEM, filtra dichas tramas en función de los ID del puerto XGEM y descifra la carga, entre otras acciones [27].

En los sistemas XGS-PON se aplican la multiplexación por división de tiempo (TDM) y el acceso múltiple por división de tiempo (TDMA). Para el flujo descendente la multiplexación del tráfico está centralizada, mientras que para el ascendente está distribuida. Para el sentido descendente, las OLT multiplexa las tramas XGEM en el medio de transmisión utilizando los ID de los puertos XGEM para identificar las tramas que pertenecen a diferentes conexiones lógicas descendentes, cada ONU filtra las tramas XGEM en función de sus ID de puerto y procesa solo las tramas que le pertenecen, como se observa en la Figura 2.26.

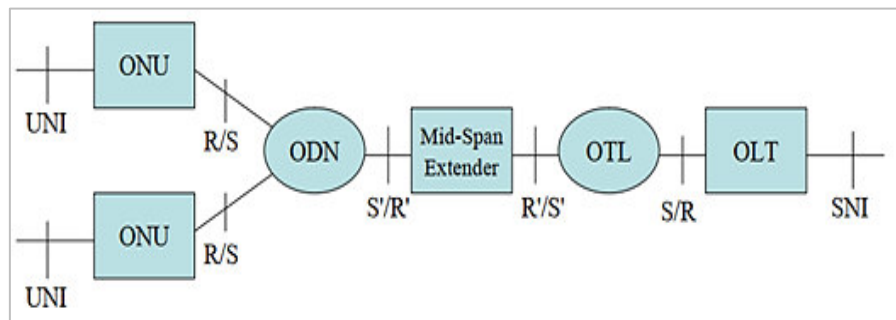


**Figura 2.26.** Multiplexación descendente en XGS-PON [28]

En el sentido de flujo ascendente, la OLT otorga acciones de transmisión o asignaciones de ancho de banda a las entidades portadoras de tráfico dentro de las ONUs, que se multiplexan en el tiempo según lo especificado por la OLT. La ONU utiliza el ID del puerto XGEM para identificar las tramas XGEM y multiplexarlas.

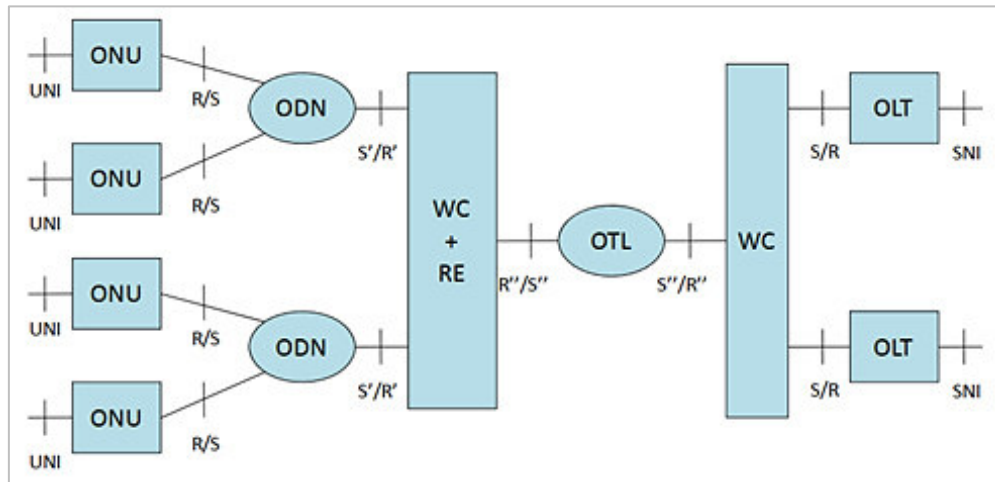
### 2.2.12 EXTENSIÓN DE ALCANCE

La arquitectura base propuesta para la extensión de alcance en XGS-PON, se fundamenta en la arquitectura básica PON. En ese sentido, la recomendación ITU-T G.9807.2 [41] considera que debe implementarse un extensor de tramo medio insertado entre la ODN y un dispositivo Óptico de Línea Troncal (OTL – *Optical Trunk Line*), que está conectado con la OLT. Esta arquitectura extiende el alcance de la red PON (como se muestra en la Figura 2.27) y puede incrementar la relación de división de potencia, pero impacta en el costo energético del enlace.



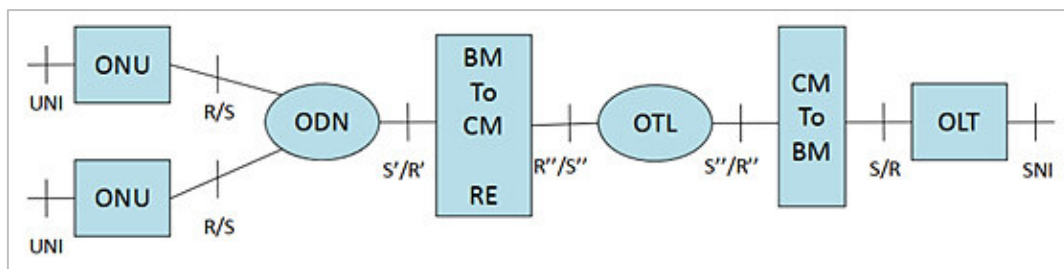
**Figura 2.27.** Extensión de medio tramo [41]

Adicionalmente, se puede considerar que la unidad de conversión de longitud de onda con extensión de alcance (WC+RE – *Wavelegth Conversion + Reach Extender*) puede agregar varias clases de ODN para XGS-PON, debido al multiplexado WDM sobre el OTL para lograr una mejor eficiencia en la estructura de fibra existente. Básicamente el bloque funcional de conversión de longitud de onda insertado antes de la interfaz S/R permite la adaptación entre las señales ópticas WDM transmitidas sobre el OTL, tal como se muestra en la Figura 2.28.



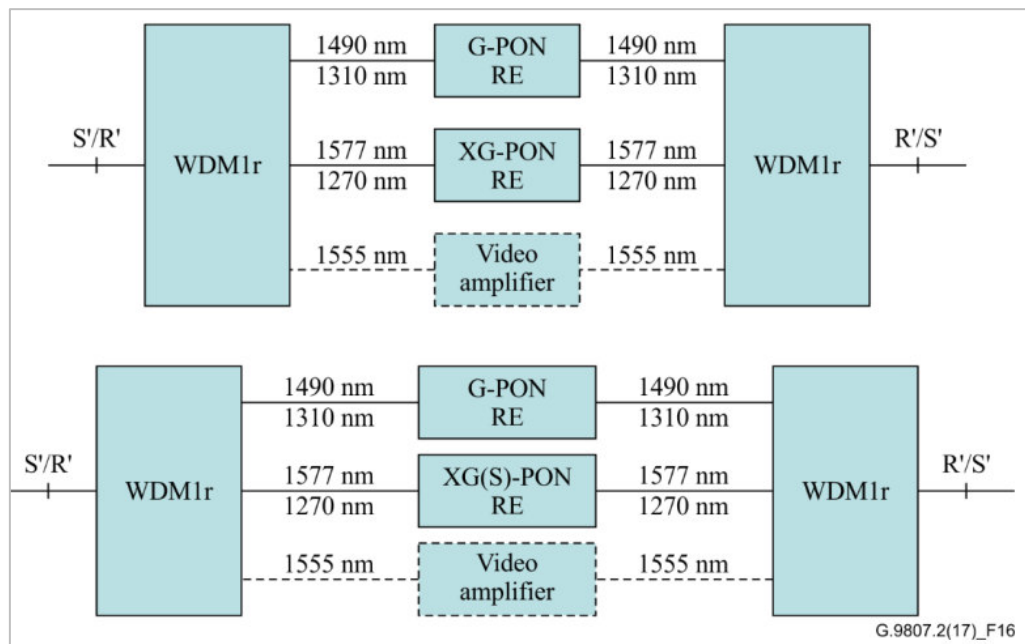
**Figura 2.28.** Arquitectura de extensor de conversión de longitud de onda [41]

Es importante mencionar, que en la arquitectura extendida debe implementarse un mecanismo que permita la conversión de modo ráfaga (BM – *Burst Mode*) a modo continuo (CM – *Continuous Mode*) y viceversa. Esto se emplea en el extensor de alcance PON para poder convertir la señal de subida por ráfagas a un modo convencional continuo [41]. Al mismo tiempo, el convertidor CM a BM es desplegado en la misma zona geográfica de la OLT, o algunas veces, ya viene integrado en la mismo OLT, Figura 2.29.



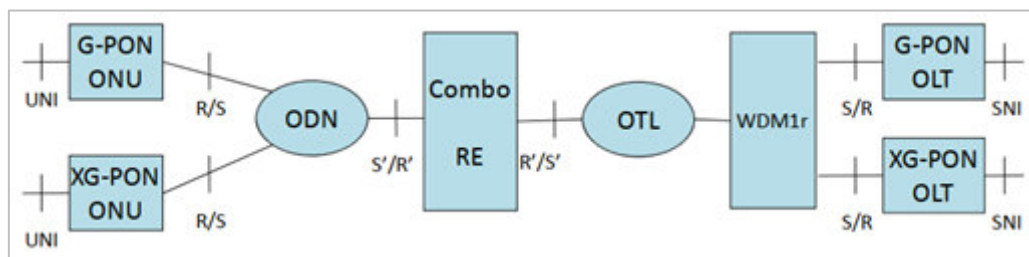
**Figura 2.29.** Arquitectura de extensor de alcance por conversión BM a CM [41]

Para permitir la coexistencia con la UIT-T G.984, se adiciona un Combo RE el cual posee características de extensores GPON y XGPON o GPON y XGS-PON y opcionalmente un extensor de video, como puede observarse en la Figura 2.30, totalmente compatibles y funcionalmente separados [41].



**Figura 2.30.** Combo Extensor de alcance [41]

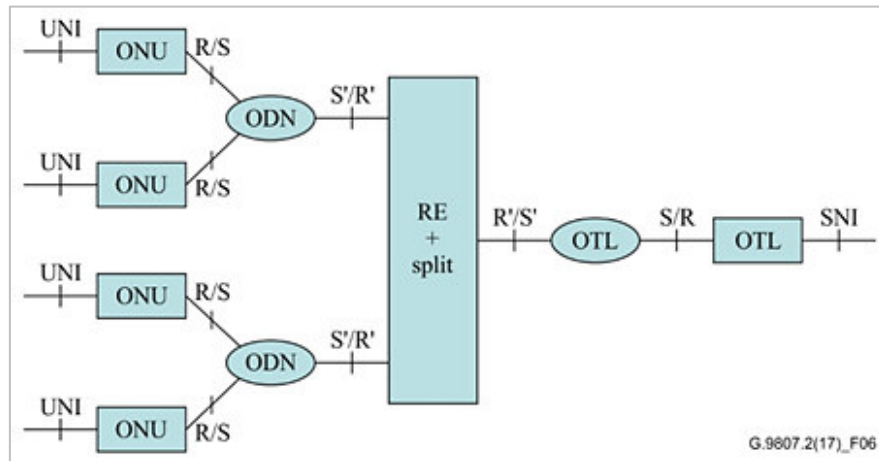
Para el caso de la Figura 2.31, la funcionalidad del RE puede ser combinado para soportar los dos sistemas simultáneamente, XGPON y GPON, dada la incorporación del Combo RE que cumple ambos roles descritos en la norma ITU-T G.984.6 RE y en la ITU-T G.987.4 RE. El Combo RE recibe una tasa promedio de 10 Gbps en los pares de longitud de onda.



**Figura 2.31.** Combinación de extensor de alcance GPON/XGPON [41]

Se pueden habilitar mejoras, con la incorporación de abanicos o *fanouts* en los REs, que permiten que estos (REs) tengan múltiples interfaces S'/R', combinadas para mantener la

conectividad en una misma interfaz R'/S'. Todas las mejoras incrementan: el intercambio y la gestión de los puertos OLT, la fibra en el OTL y la interfaz RE R'/S' sobre las ODNs. Lo anterior descrito se puede observar en la Figura 2.32.



**Figura 2.32.** Extensor de alcance con abanicos adicionales [41]



### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Las tecnologías PON se han desplegado gradualmente a nivel mundial, siendo la GPON la más popular. Esta tecnología ha permitido sentar las bases para infraestructuras de telecomunicaciones con prestaciones del orden de los Gbps, pero sus bondades y velocidades no son suficientes para proveer una red de acceso apta para el despliegue de servicios multimedia en tiempo real y con alto manejo de tráfico de datos orientada: al desarrollo de la tecnología 5G para sistemas móviles y al IoT (*Internet of Things*).

Por otra parte, la tecnología XGS-PON, presenta bondades que permiten ofrecer mayor calidad y grado de servicios para soportar las necesidades de los usuarios. Sin embargo, el desarrollo y masificación de soluciones basadas en redes PON requieren que las empresas consideren diversos factores para su implementación. De acuerdo a la Recomendación UIT-T Rec. L.42 [43] las empresas deben considerar, para seleccionar o diseñar una red de acceso óptica, su escalabilidad (número de fibras, la longitud del cable de fibra), robustez, funcionabilidad (velocidad, distancia de transmisión), la capacidad de la red (demanda y tecnología) y los costos (construcción y mantenimiento).

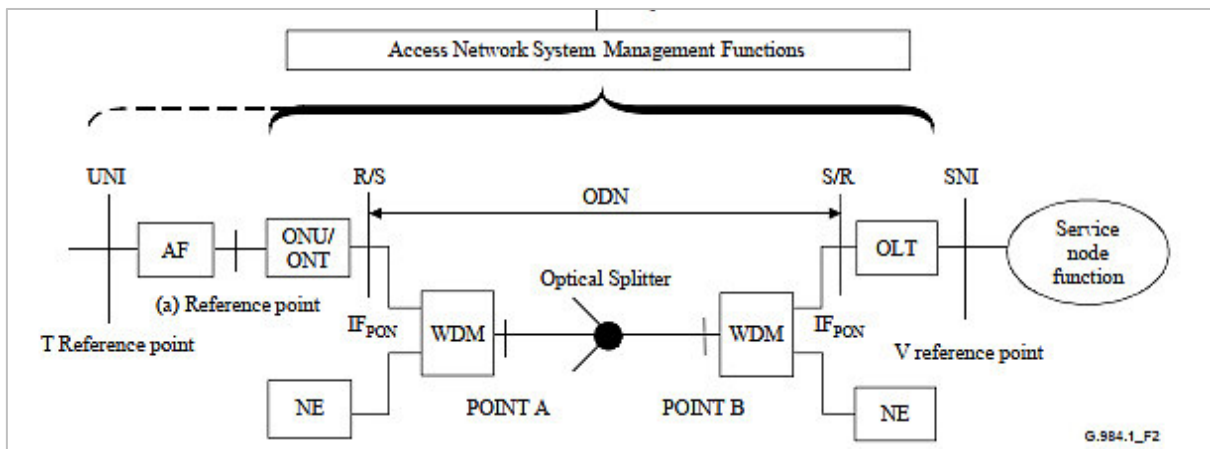
En virtud de esto, es imperante ofrecer un análisis comparativo de todos los elementos: como de las interfaces, de nodos de servicio, de usuarios, entre otros. Estos elementos deberán sustentar una arquitectura o topología de red de acceso con coexistencia y/o migración (total o parcial), para las tecnologías GPON y XGS-PON, a fin de escoger la alternativa que garantice mejores prestaciones.

#### **3.1 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA TECNOLOGÍA GPON Y LA TECNOLOGÍA XGS-PON**

##### **3.1.1 ESTRUCTURA**

Las estructuras, tanto de la tecnología GPON como de la XGS-PON, se cimientan en una red flexible. Para el caso de GPON, se presenta como una arquitectura básica en la cual se tiene una red de acceso óptico descrita en la ITU-T G.983.1, mientras que para la XGS-PON se expone una arquitectura más robusta o de alto nivel compuesta de las configuraciones expuestas en las recomendaciones ITU-T G.983.x, G.984.1 y G.987.x.

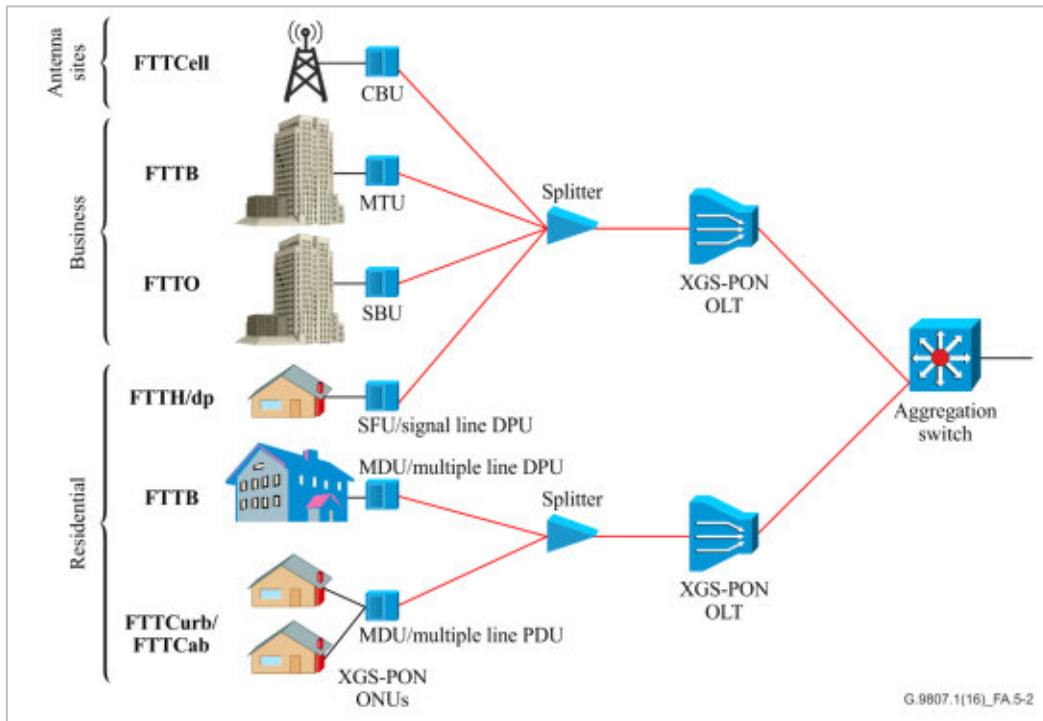
Tomando la Figura 2.1 de la sección 2.1.1, del capítulo 2, se ofrece una arquitectura similar y básica que consta de elementos como OLT, ODN y ONU/ONT, tanto para GPON como para XGS-PON. En referencia a esto, GPON añade elementos que permiten la incorporación de diferentes longitudes de ondas, con el fin de aumentar los servicios ofrecidos como el caso de la superposición de vídeo, por lo cual se añade un módulo multiplexor por división de longitud de onda y un elemento de red que utiliza diferentes longitudes de onda para dicha adaptación tanto a la entrada de la ODN como a su salida, como se observa en la Figura 3.1.



**Figura 3.1.** Configuración de GPON [25]

La tecnología XGS-PON hereda esta configuración e incluye los extensores de alcance, descritos anteriormente, exhibiendo una arquitectura compuesta de una ODN mixta en la que se ofrece segmentos netamente pasivos y segmentos con elementos activos como regeneradores o amplificadores ópticos, como se aprecia en la Figura 2.14 de la sección 2.2.1 del Capítulo 2, por lo que, se brinda un compendio de características para una evolución progresiva entre las diferentes tecnologías con el fin de que los ajustes o actualizaciones no generen la realización de nuevas instalaciones de la ODN, sino que implique incorporación de nuevos bloques complementarios.

Por otra parte, la ITU-T en las series G.984.x y G.9807.x presenta una arquitectura de red de acceso óptico que permite soportar diferentes servicios y funciones de acuerdo a la extensión de la fibra desde la cabecera hasta el abonado o puntos cercanos, tanto punto a punto como punto a multipunto. Por su parte, GPON soporta escenarios como FTTH, FTTB, FTTC y FTTCab, mientras que XGS-PON dado su potencial soporta los descritos para GPON, FTTCcell, FTTO y FTTP, como se observa en la Figura 3.2.



**Figura 3.2.** Escenarios XGS-PON [27]

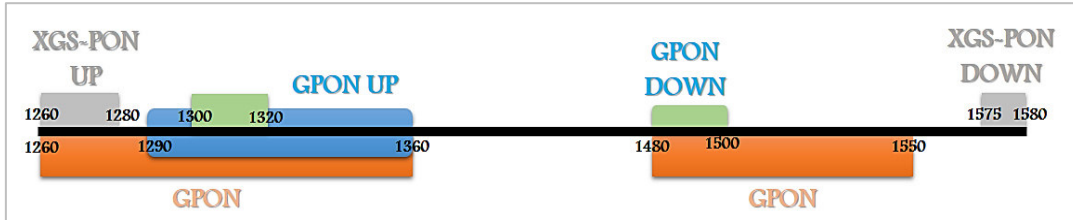
### 3.1.2 COMPARACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS

#### 3.1.2.1 Servicios Soportados

Los servicios soportados dependen de los escenarios ofrecidos y las bondades o capacidades de banda ancha que incorporan las tecnologías con el fin de masificar su aplicabilidad. Los servicios básicos ofrecidos por ambas tecnologías son: servicios simétricos y asimétricos de banda ancha, POTS o ISDN, líneas dedicadas E1 y T1, VoIP e IPTV. Con la incorporación de nuevos escenarios, XGS-PON ofrece: servicios de backhaul móvil, Conexiones Virtuales Ethernet o EVC e Internet de alta velocidad. XGS-PON y GPON mantendrán un retardo medio de 1.5 ms y un retardo de transmisión óptica de 5 ns por metro de fibra óptica, parámetros que deben cuidarse más en XGS-PON, ya que es necesario mantener la sincronización para evitar la degradación del transporte de la trama, debido a la transmisión de tramas más largas.

### 3.1.2.2 Longitudes de Onda

En la Figura 3.3, se observan las bandas de operación tanto para GPON como para XGS-PON y las redefiniciones expuestas por la norma, permitiendo la coexistencia de ambas tecnologías.



**Figura 3.3.** Rangos de Longitudes de Ondas para coexistencia GPON y XGS-PON [45]

El rango de longitudes de ondas asociadas a GPON se presentan en color naranja, en color azul se presenta el rango para los enlaces ascendentes de XGPON, el cual ocasiona una reducción del rango de longitudes de onda para GPON. Estos rangos son redefinidos con el propósito específico de ofrecer coexistencia de XGPON, GPON y servicios de video.

Para el caso de XGS-PON, el rango de longitudes de onda operativas son heredadas de GPON y XGPON; en este sentido, se presentan dos conjuntos u opciones: el conjunto básico (color gris), que reutiliza las longitudes de onda XGPON, a través de un esquema TDMA ascendente y TDM descendente; y el segundo conjunto (rango de color verde), que consiste en la reutilización de la longitud de onda de GPON.

La razón de estos cambios en las longitudes de onda es permitir la coexistencia de múltiples servicios en una misma red PON, además de la gestión y puesta en marcha de actualizaciones o migración tecnológica sin problemas, es por ello que las longitudes de onda de XGS-PON son diferentes que los rangos definidos por sus antecesores, pero se encuentra en la ventana de transmisión general, para su adaptación, además permite la coexistencia a través de la superposición de longitud de onda.

### 3.1.2.3 Especificaciones de atenuación de la ODN

La calidad de la red, independientemente de la tecnología, se caracteriza por la revisión de los siguiente parámetros: la diferencia máxima de las pérdidas entre los trayectos ópticos de la ODN, el valor máximo de pérdidas de trayecto admisible, producto de la diferencia entre la potencia mínima de salida del transmisor y la máxima sensibilidad del receptor, el valor mínimo

de las pérdidas admisibles, producto de la diferencia entre la máxima potencia de salida de transmisión y la mínima sobrecarga del receptor.

Las gamas adecuadas de pérdidas para la ODN se calculan agregando las pérdidas de todos los componentes ópticos a lo largo del trayecto, tal como se evidencia en la Tabla 3.1 las gamas de valores de pérdidas de la ODN tanto para GPON y XGS-PON, que se desprenden de la Tabla 2.2 de la sección 2.1.4 y la Tabla 2.4 de la sección 2.2.4, respectivamente, expuestas en el Capítulo 2.

**Tabla 3.1.** Clases de pérdidas en el trayecto óptico (ODN) [28] [29]

Parámetro	GPON	XGS-PON	
		Conjunto Básico	Conjunto Opcional
Pérdidas mínimas	10 a 15 dB	14 a 20 dB	13 a 17 dB
Pérdidas máximas	25 a 30 dB	29 a 35 dB	28 a 32 dB

### 3.1.2.4 Velocidad de transmisión

GPON se caracteriza por velocidades de transmisión de 2.4 Gbps tanto ascendente como descendente y 1.2 Gbps ascendente y 2.4 Gbps descendente, mientras que XGS-PON ofrece velocidades superiores, en el orden de los 10 Gbps tanto ascendente como descendente, y en escenarios heredados soporta 2.5 Gbps ascendente y 10 Gbps descendente.

XGS-PON logra mayores velocidades gracias a sus tramas XGEM que son capaces de llevar 155520 bytes en 125  $\mu$ s, correspondientes a una velocidad de 10 Gbps, mientras que las tramas GEM (GPON) en 125  $\mu$ s llevan un menor tamaño de bytes.

Para que XGS-PON alcance velocidades de 10 Gbps simétricos a las longitudes de onda especificadas en la sección 2.2.3, la norma IUT-T G.9807.1 recomienda el uso de las especificaciones de la capa física y los módulos ópticos PR30, descritos en el apéndice III [13] de acuerdo a la IEEE 802.3bk. Las condiciones implican que las pérdidas de retorno óptico tengan un mínimo de 20 dB, a fin de tolerar las reflexiones. Otro punto a tomar en consideración, es la relación de extinción con respecto a la señal de codificación digital generada por el transmisor óptico, de 6 dB. Esta característica permite también, que XGS-PON pueda operar a más de 20 Km de fibra.

Esta mejora en la velocidad de transmisión, permite incluir servicios de redes de próxima generación basadas en paquetes, en conjunto con servicios TDM y POTS utilizando emulación o simulación de estos.

### 3.1.2.5 Niveles de potencia óptica de los dispositivos OLT y ONU

Los niveles de atenuación de potencia óptica recomendados para XGS-PON, se encuentran en la Clase N1, ya que presenta menos pérdidas. En cambio, para GPON es recomendable trabajar con la Clase B+ por su operación eficiente, en términos de atenuaciones. Por esta razón se comparan estas dos clases, en las cuales se puede observar que la máxima potencia media inyectada de la OLT tiene un valor similar, para GPON y XGS-PON, pero si se escoge una clase como la E2, la potencia sería de +11 dBm, duplicando así el valor de la clase B+. La sensibilidad y la sobrecarga en la OLT son casi similares para la clase N1 y B+.

En la ONU, es más notorio la diferencia con respecto a la mínima y máxima potencia inyectada, donde el valor de la potencia de la clase N1 es 8 veces más que la potencia en la clase B+. La sensibilidad y la sobrecarga en la ONU son casi similares, para las dos redes GPON y XGS-PON.

Los valores mencionados se pueden revisar en la Tabla 3.2.

**Tabla 3.2.** Niveles de potencia óptica para GPON y XGS-PON [28] [29]

Características	Unidad	Valor	Valor
<b>Tecnología</b>		XGS-PON	GPON
<b>Clase de ODN</b>		N1	B+
<b>OLT</b>			
Mínima potencia media inyectada	dBm	+2	+1.5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5	+5
Mínima sensibilidad	dBm	-26	-28
Mínima sobrecarga	dBm	-5	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	1	0,5
<b>ONU</b>			
Mínima potencia media inyectada	dBm	+4	+0,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+9	5
Mínima sensibilidad	dBm	-28	-27
Mínima sobrecarga	dBm	-9	-8
Degradación óptica en sentido descendente	dB	1	0.5

### **3.1.2.6 Alcance**

Ambas tecnologías indican que la distancia máxima es de 20 Km, en el caso de GPON, se establece un alcance físico entre 10 y 20 Km. Para XGS-PON, la capa XGS-PON TC debe proveer el soporte de los requisitos de XGPON con una distancia máxima de 60 Km y permitir configurar la distancia de fibra diferencial máxima con un paso de 20 Km, dependiendo de las opciones de configuración escogidas de acuerdo al uso de extensores.

La distancia máxima diferencial entre ONUs debido a criterios de sincronización corresponde a 20 Km. Si se superan los 20 Km de diferencia, se hace imposible la correcta sincronización debido a los diferentes retardos producto de las ONUs. Por otra parte, las OLTs en XGS-PON, permiten la configuración de las ONUs a distancias hasta 40 Km, pero para garantizar la sincronización es necesario la reducción del nivel de división óptica, con el fin de ajustar los niveles de atenuación en la ODN.

### **3.1.2.7 División de potencia óptica**

La práctica ha generado infraestructuras ODN de relación de división de 1:32 a 1:64, que es el recomendado para GPON, en contraste XGS-PON como requisito mínimo requiere una división de 1:64. Para casos de mejora en la capacidad general de XGS-PON se puede realizar una extensión de alcance para mejorar el presupuesto óptico y permitir una división mayor.

En la práctica, estas mejoras obedecen a la introducción de arquitecturas de divisor desbalanceado, los cuales dividen de forma desigual la potencia óptica entre los puertos del divisor permitiendo que, al aumentar los niveles de potencia ópticos, la relación de división cambie, haciendo más eficiente el aprovechamiento de la energía para brindar los servicios ofrecidos por la red a distancias más largas.

## **3.1.3 ARQUITECTURAS DE LOS ELEMENTOS ACTIVOS**

Las arquitecturas típicas, tanto para la OLT como de la ONU, presentan muchas similitudes entre GPON y XGS-PON, ya que parten del diagrama básico de los elementos de una red de acceso óptico y proponen una red flexible para la coexistencia de diferentes tecnologías en pro de la evolución de las redes, para que estas permitan un despliegue con mayores velocidades de transmisión y prestaciones de servicio más amplias, sin necesidad de realizar el cambio total de la red y sus componentes.

La similitud entre las arquitecturas se debe a que las redes GPON y XGS-PON conservan su estructura base para aplicaciones de planta externa, esto debido a que las funciones básicas están enmarcadas en equipos de capa 2 y con algunas funciones de capa 3, referenciadas a Ethernet, para que ofrezcan conexiones con conmutadores o enrutadores en la cabecera, con el fin de ofrecer confiabilidad y separar los protocolos para el buen funcionamiento de los mismos.

### **3.1.4 INTEGRACIÓN DE SERVICIOS Y TRÁFICO DE DATOS**

En referencia al flujo de datos, para ambas tecnologías las tramas de Ethernet en la ONT se extraen de la capa TC, aunque algunas capas permiten realizar un enlace con procesamiento de direcciones MAC y utilizan los mismos servicios de XDSL.

XGS-PON para mejorar la interoperabilidad de GPON proporciona una guía de operaciones específicas de VLAN tanto en la OLT como en la ONU, ya que estos comparten la responsabilidad del nodo de acceso de la VLAN. Para el caso de la OLT, se establecen operaciones VLAN, mientras que en las ONUs se ofrecen Servicios Ethernet Empresariales basados en VLANs (*VBES – VLAN-based Business Ethernet Services*). Estos VBES admiten la agregación de etiquetas a las tramas no etiquetadas permitiendo el flujo de datos entre la ONU y la OLT, en una determinada dirección, para que el tráfico se genere desde la OLT hacia la red a través de una interfaz Ethernet, por medio de conexiones a dispositivos de enrutamiento de borde o de agregación [27].

Para XGS-PON se incorpora el servicio *G.fast*, el cual permite acceder a velocidades de 1 Gbps sobre redes existentes de cobre que, junto con el despliegue de fibra hasta el punto de acceso, combina los mejores aspectos de este medio y la tecnología DSL, a través de la gestión dual de la ONU para dicha UNI.

Para el caso del servicio de multidifusión, el servicio lógico es proporcionado a través de la UNI Ethernet, la señal se proporciona por IETF IGMP, en las versiones 2 o 3 para Ipv4, tanto para GPON como para XGS-PON, para XGS-PON incluye MLDPv2 para IPv6 [47].

Los servicios de voz, se manejan de la misma forma, tomando en cuenta los criterios de la ITU-T G.984.4 para el caso de GPON e ITU-T G.988 para el caso de la XGS-PON. La diferencia entre ambas redes es que GPON en el punto POST UNI agrega un punto ISDN de



velocidad básica para el soporte de servicios a nivel físico y dicho bloque apunta a una entidad de gestión de inter funcionamiento GEM [32].

En cuanto a la emulación de circuitos, el esquema de GPON diferencia alternativas, que ofrecen el servicio TDM con transporte de unidades SDH a través de los puertos GEM, aplicable cuando el servicio TDM termina en la OLT, mientras que la gestión en la ONU lo realiza la OMCI.

Para el caso de la XGS-PON, en el lado del transmisor, la subcapa de adaptación acepta los clientes, realiza la fragmentación y asigna un ID de puerto XGEM de las tramas de datos de usuario y el tráfico de la interfaz de gestión y control de la ONU (OMCI); para el lado del receptor, esta subcapa acepta la carga útil de las tramas, realiza la delineación de tramas XGEM y las filtra en función de sus ID de puerto. La subcapa de entramado realiza la construcción y análisis de los campos generales [27].

La gestión de operación, mantenimiento y control de la ONU se realiza mediante: una OAM integrada, una PLOAM y una OMCC, por otra parte, las ONU y la OLT utilizan los puertos XGEM para portar el tráfico, identificados de forma lógica para dirigir el tráfico para cada usuario. Para el caso de los canales IPTV o servicios basados en el protocolo de encaminamiento RIP, existirán varios puertos XGEM especiales compartidos por las ONUs.

Para el caso de sincronización de la ONU, los identificadores están estructurados permitiendo la coexistencia de las tecnologías PON, para ello utiliza una estructura de 32 bits, de los cuales 4 bits identifican el canal de descendente que ofrece la longitud de onda para la coexistencia, para el caso de una red 100% XGS-PON, estos 4 bits se hacen ceros todos, en ambos sentidos, ascendente y descendente para ajustar la sincronización de las ONUs.

La pila de protocolos que es transportado por los distintos tipos de tráfico en XGS-PON ofrecen mejores prestaciones en comparación con GPON, como por ejemplo el uso del protocolo de conmutación de etiquetas (MPLS) que de acuerdo a las recomendaciones de la ITU-T G.9807.1 permite no sólo su uso en las redes troncales, sino también en la red de acceso.

## **3.2 ANÁLISIS DE LA COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON EN LAS REDES ACTUALES**

Las arquitecturas PON constantemente han evolucionado en pro de mejorar las velocidades de los datos y por ende los servicios ofrecidos, dadas las necesidades de los usuarios. La implementación de la tecnología en Ecuador se ha centrado en ofrecer servicios de banda ancha residencial basados en redes GPON.

La implementación de las tecnologías de la familia PON, demanda la identificación de las necesidades de las infraestructuras tecnológicas existentes para la prestación de servicios, que cumpla con calidad de servicio y mantenga la cobertura geográfica a través de un despliegue y una topología que considere una inversión que tome en cuenta características referentes tanto a CAPEX como a OPEX, entendiendo por CAPEX como los gastos de capital, es decir, los gastos de mantenimiento y de expansión, mientras que el OPEX son los gastos de explotación, que consideran los costos de los servicios, sistema o infraestructura, se toma en cuenta también el costo de los empleados y otros gastos de operación de las instalaciones.

Para proteger las inversiones, los proveedores de servicios deben gestionar las actualizaciones capaces de operar en la ODN existente en coexistencia con la tecnología heredada, en este caso, la tecnología heredada, sería de la red GPON, siempre y cuando, se proteja al sistema de no caer en interrupciones mínimas o nulas en el servicio.

### **3.2.1 LINEAMIENTOS Y ESCENARIOS TÉCNICOS DE COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON**

XGS-PON combina altas velocidades de datos y eficiencia en CAPEX, es compatible con XGPON o GPON, lo que permite reutilización y convivencia completa de la infraestructura pasiva existente. Es conveniente aclarar que, aunque actualmente la tecnología más novedosa de la familia PON es XGPON2, la migración más gradual con costos accesibles es la ofrecida de GPON a XGS-PON, ya que esta última permite cuatro veces más capacidad en la dirección ascendente a un costo similar dado la utilización de una misma red de acceso.

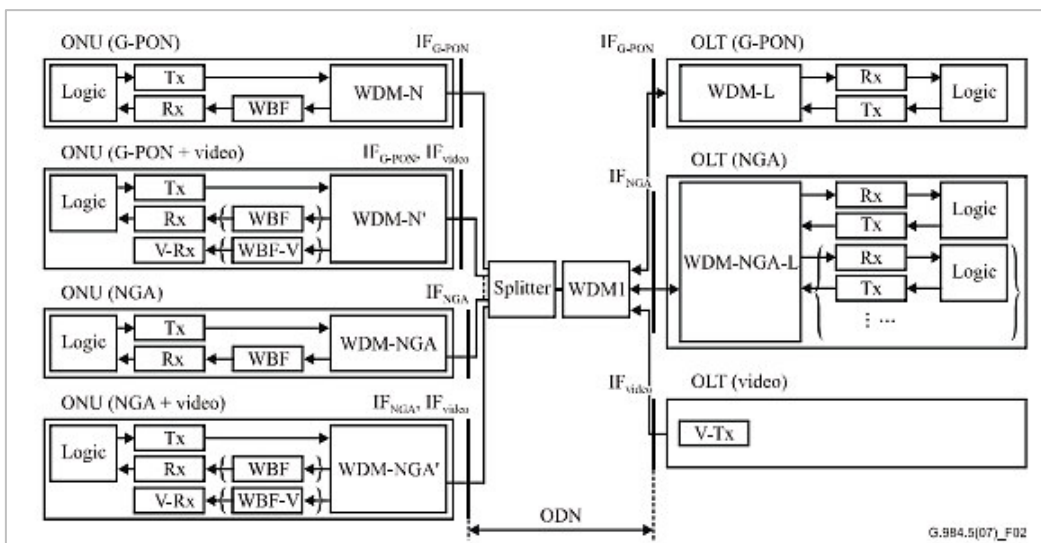
La evolución clásica, hace uso de un conjunto de longitudes de ondas que permite la coexistencia sin conflictos de ambas tecnologías, por lo que no sólo se ofrecen escenarios de migración total sino de coexistencia. Básicamente, se necesitan elementos de coexistencia e

incluso, los grupos de trabajo y fabricantes han trabajado en pro de que las diferentes longitudes de onda, puedan ser compatibles, lo que permite una evolución posterior.

Los principales escenarios que se presentan están orientados en la rentabilidad, enfocados en la OLT, a fin de que se implemente mediante un equipo independiente o con la inserción de bloques en los racks existentes, que permita una expansión gradual.

La recomendación de la ITU-T G.9807.1 presenta escenarios referenciales de migración como brownfield o *greenfield*, el primero ofrece escenarios de implementación en donde ya existen sistemas PON, mientras que el *greenfield*, ofrece el reemplazo de la infraestructura existente de cobre o la implementación de un sistema completamente nuevo.

El presente trabajo está enfocado en el *brownfield*, cuyo propósito es aprovechar la infraestructura de fibra existente para ofrecer servicios con mayores anchos de banda y mayor velocidad, y que cumpla con la coexistencia entre GPON y XGS-PON en la misma fibra, minimice la interrupción del servicio para los abonados que no entren en la ventana de actualización, y que XGS-PON admita o emule todos los servicios heredados de GPON para el caso de una migración completa. La recomendación ITU-T G.984.5 presenta un diagrama de la arquitectura de la red de acceso óptico, para lograr la coexistencia de GPON con redes de acceso (NGA- Next Generation Access), como DOCSIS (Data Over Cable Service Interface Specification) para el caso de redes HFC, FTTx, entre otras, y servicios de distribución de videos, observado en la Figura 3.4.



**Figura 3.4.** Diagrama de la arquitectura de la red de acceso óptico [30]

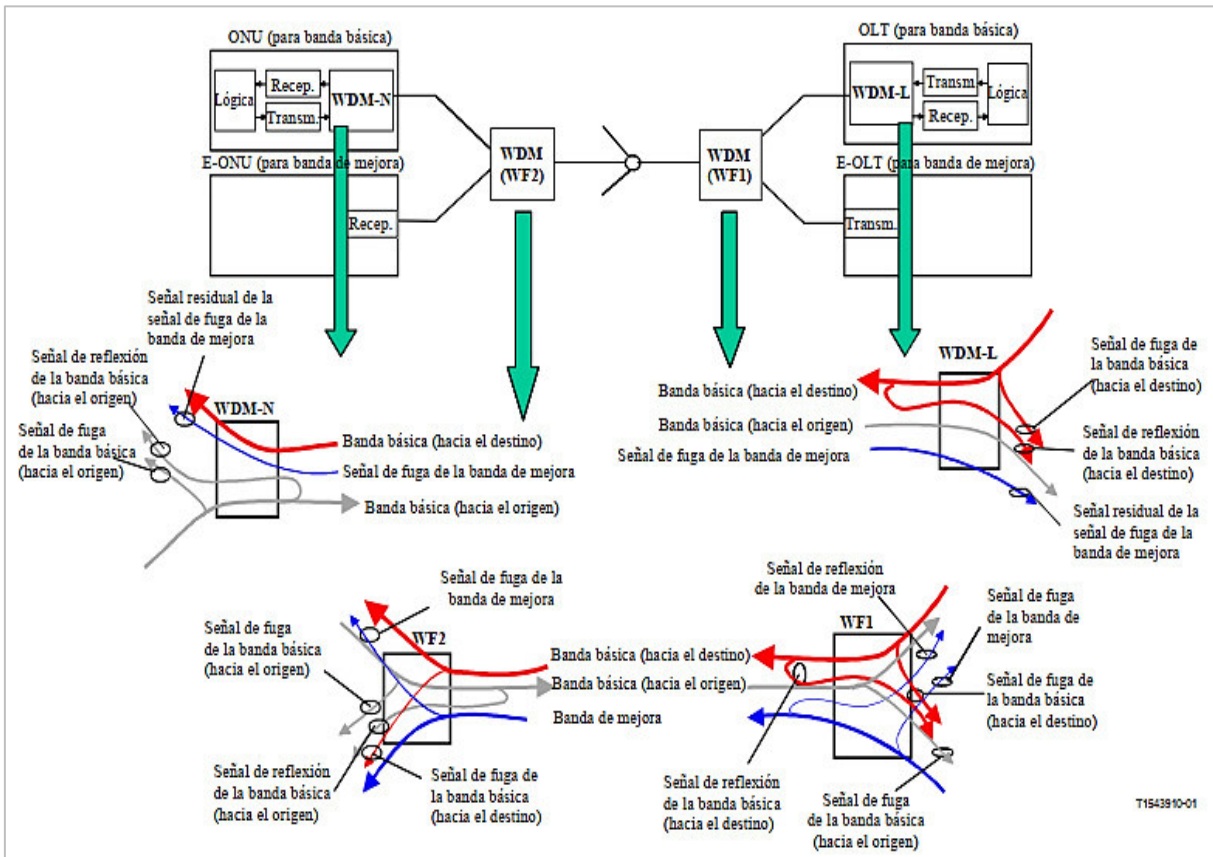
Este diagrama establece referencias en relación a los elementos que se consideran necesarios para las configuraciones de referencia de la ODN y de los filtros de bloqueo de longitud de onda (WBF- Wavelength Blocking Filter) a fin de evitar que la ONU reciba señales ópticas no deseadas con diferentes longitudes de onda, no limitando por los diseños o implementaciones en el futuro [30].

Es importante resaltar, que en la Figura 3.4 se observa en la ODN el dispositivo WDM1 con el fin de adecuar la red de acceso, puede ser reemplazado por un filtro WDM1r, un elemento de coexistencia CE o un elemento/multiplexor de coexistencia (*CEM – Coexistence Element/Multiplexer*), los cuales pueden tener varias configuraciones dependiendo del servicio que proporcionan.

Los dispositivos WDM1, WDM1r, CE y CEM son filtros utilizados para combinar y aislar longitudes de onda de GPON y NGA, GPON y XGPON, NGPON y señales PON heredadas; y señales TWDM PON, PtP WDM PON y PON heredadas, respectivamente, dependiendo del servicio que proporciona, pudiendo ser un servicio de superposición de video o un OTDR (Reflectómetro Óptico en el Dominio del Tiempo).

El WDM1 es un dispositivo actualmente obsoleto por incompatibilidades en el plan de longitud de onda para los sistemas de acceso de próxima generación, mientras que el WDM1r se utiliza para planificación de sistemas NGA, en el cual se incluye una nueva longitud de onda, presentando una interfaz NGA para fibra única y una para doble fibra (obsoleta). EL CE (elemento de coexistencia) admite coexistencia de NGPON2, mientras que el CEM incluye funciones de CE y un multiplexor de longitud de onda parcial que combina y aísla las bandas producto de la multiplexación por división de tiempo y longitud de onda para redes pasivas (TWDM PON – *Time and Wavelength Division Multiplexed PON*) y la modulación por longitud de onda, WDM PON, para sistemas punto a punto [27]. La configuración de la ONU GPON tomada en la Figura 3.4, corresponde a una ONU que utiliza un transceptor de tipo triplexor, el cual consta de un transmisor óptico en modo ráfaga, y dos receptores, uno óptico en modo continuo y otro receptor que complementa a sistemas que coexistan, ( como por ejemplo CATV analógico), e incluye un filtro de video integrado, en la cual se ubica el filtro WDM N para combinar y/o aislar las longitudes de onda ascendentes y descendentes, y se agrega un filtro WBF para bloquear señales de interferencia en la recepción.

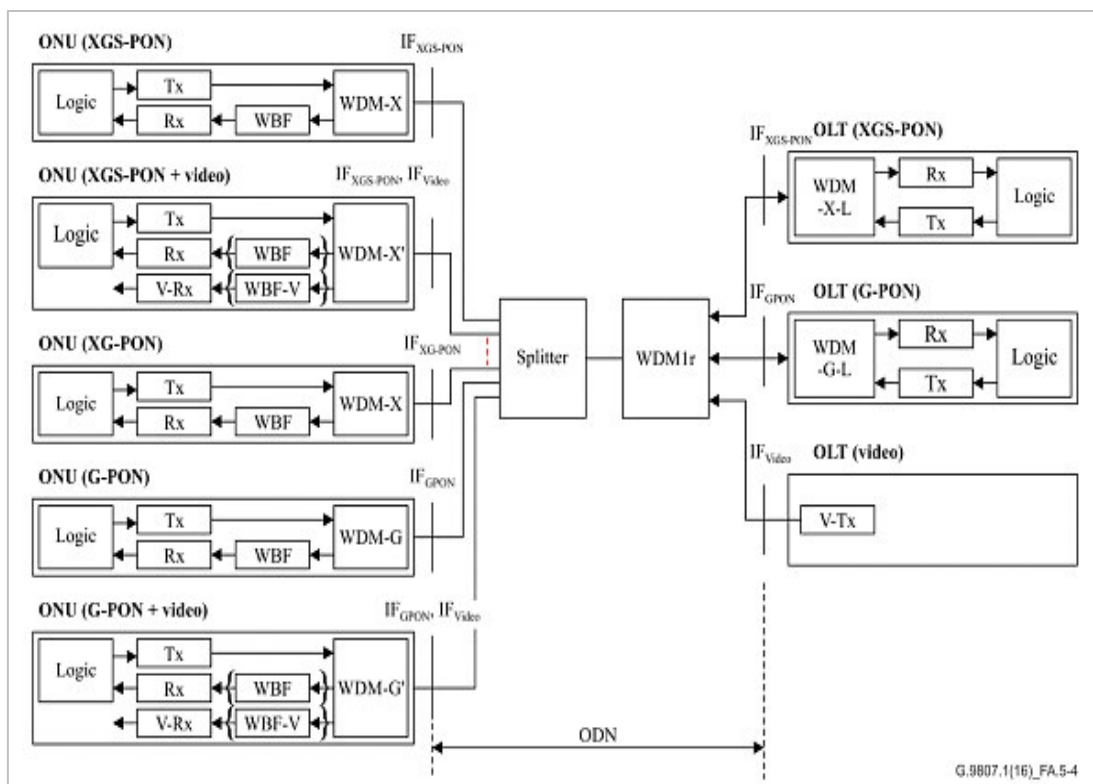
Por otra parte, las ONU GPON + Video, utilizan el WDM N' que aísla adicionalmente las señales de video, y un filtro de bloqueo WBF-V para bloquear señales de interferencia en la recepción de video. De igual forma se utilizan los filtros WDM NGA y WDM NGA' y los filtros de bloqueo WBF y WBF-V que conforman los bloques de los sistemas de acceso de nueva generación [42]. El esquema de aislamiento ofrecido por estos filtros se observa en la Figura 3.5.



**Figura 3.5.** Esquema de aislamiento ofrecidos por WDM-L, WDM-N, WF1 y WF2 [25]

Los dispositivos descritos en la Figura 3.5 son muy importantes, ya que el transmisor de video funciona cerca del límite del efecto no lineal denominado Esparcimiento Estimulado de Brillouin (*SBS – Stimulated Brillouin Scattering*) que se puede presentar en la fibra, pudiendo limitar la potencia del canal produciendo una banda de amplificadas a otra frecuencia y se presume que las señales de video y de banda base se superponen a la frecuencia eléctrica, pero en algunos casos, el video puede estar totalmente fuera de banda, lo que causa ruido en la señal de banda base y es necesario reducir el aislamiento. Los valores de aislamientos varían de acuerdo a las clases de la ODN [43].

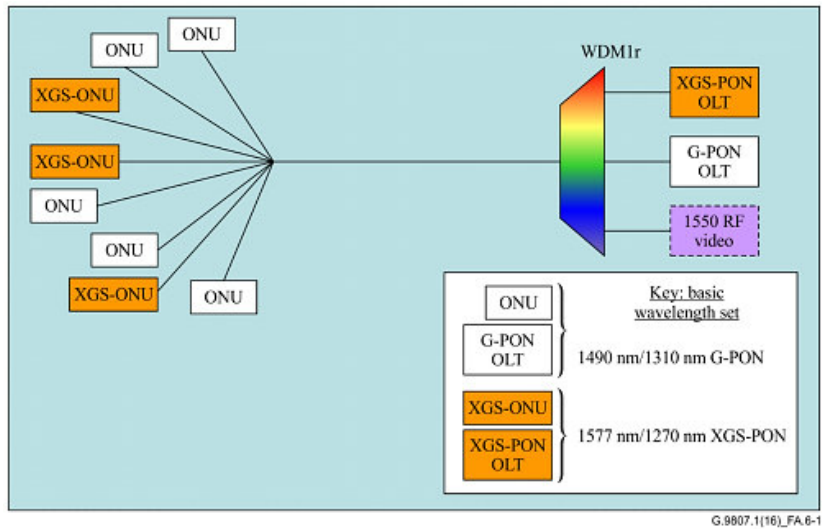
Partiendo de lo indicado anteriormente, la configuración de referencia de la ITU-T G.984.5 y reconociendo a XGS-PON como una red de acceso de nueva generación (NGA), como se observa en la Figura 3.6, se reseñan cuatro escenarios de coexistencia con GPON, dos usando la reutilización de la longitud de onda habilitada mediante las mejoras en el plan de banda de longitudes de onda y proporcionando adicionalmente una superposición opcional para transmisión de TV, y otros dos, centrados en arquitecturas con la incorporación de extensores de alcance.



**Figura 3.6.** Configuración de referencia, coexistencia GPON y XGS-PON [27]

El primer escenario expuesto en la Figura 3.7, presenta una configuración de referencia de la coexistencia de XGS-PON con GPON a través de WDM1r con un conjunto de longitudes de onda básica para XGS-PON.

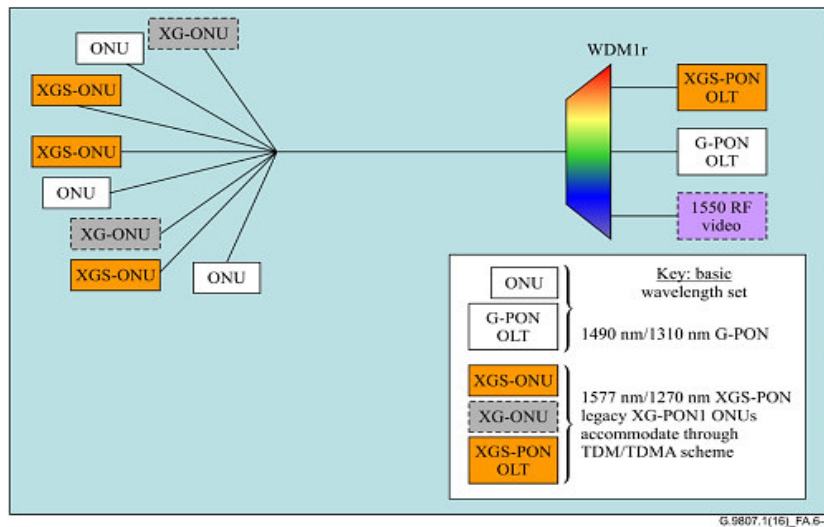
XGS-PON utiliza un puerto designado nominalmente XGPON, permitiendo una migración sin problemas con la superposición de la asignación de las longitudes de onda óptica a través de la tecnología WDM, la cual debe implementarse en todas las ONU [13]. Es necesario instalar en la red un filtro WDM1r, para el trabajo simultáneo de GPON y XGS-PON.



**Figura 3.7.** Escenario 1: Coexistencia GPON y XGS-PON [27]

En este escenario se diferencian las longitudes de onda para XGS-PON y GPON, es por esto, que se utilizan distintas OLT, una por tecnología, conectadas a un WDM1r, pudiendo coexistir en una misma ODN varios tipos de ONU de distinta tecnología.

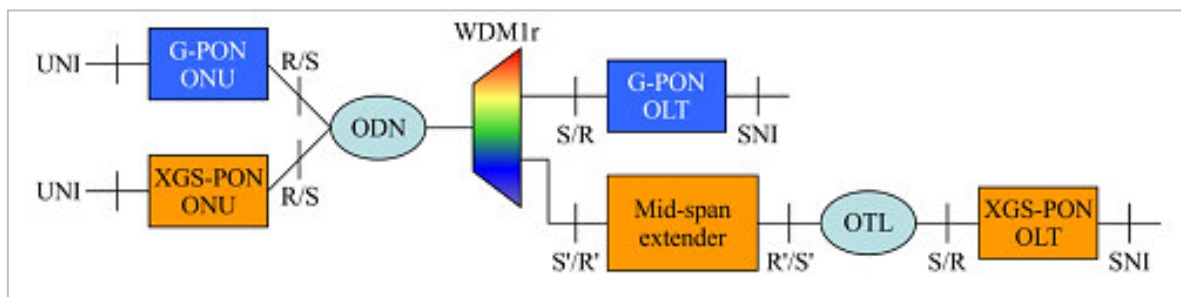
El segundo escenario representa la coexistencia de GPON, XGPON y XGS-PON a través de un WDM1r, donde XGS-PON usa el puerto XGPON y coexiste con XGPON en modo TDMA/TDM [27]. El despliegue directo de XGS-PON en el lado OLT permite subdividir GPON y XGS-PON admitiendo la coexistencia de GPON, XGPON y XGS-PON, esto es posible ya que la OLT XGS-PON es compatible con las ONU XG-PON y XGS-PON, como se observa en la Figura 3.8.



**Figura 3.8.** Escenario 2: Coexistencia GPON y XGS-PON [28]

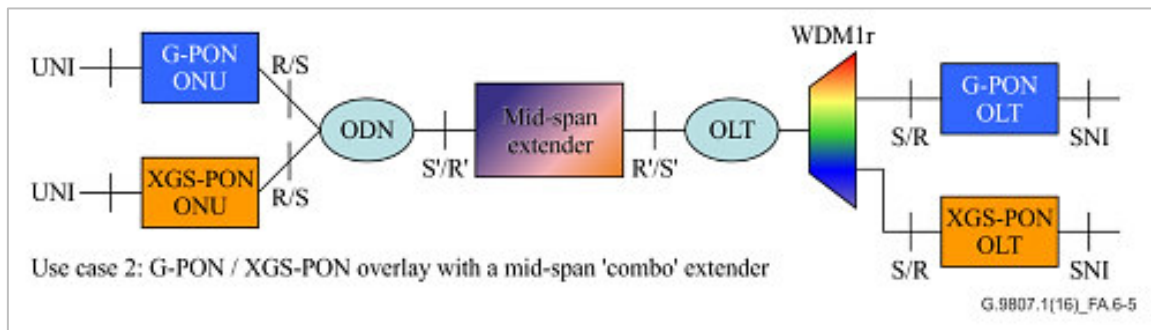
En este escenario se diferencian las longitudes de onda de XGS-PON y XGPON, pero utilizando las longitudes de onda GPON para XGS-PON. Este escenario no sería recomendable para la migración en Ecuador, debido a que no se han realizados despliegues XGPON dentro del país.

Los escenarios tres y cuatro, corresponden a la utilización de extensores de alcance, como implementaciones opcionales, que proporcionan un presupuesto óptico adicional con un rendimiento como si no existiese el extensor de la OLT y la ONU. El tercer escenario, como se ilustra en la Figura 3.9, se obtiene al migrar GPON a XGS-PON, el cual hace uso del extensor, sin requerir ningún cambio en los requisitos de los equipos activos para evitar problemas de interoperabilidad [28].



**Figura 3.9.** Escenario 3: Coexistencia GPON y XGS-PON con uso de RE [28]

El cuarto escenario, hace referencia a los sistemas que poseen desplegados los extensores de alcance en la red GPON, y deben o tienen capacidad tanto para GPON como para XGS-PON o deben ser reemplazados por uno de mayor capacidad, como se observa en la Figura 3.10.



**Figura 3.10.** Escenario 4: Coexistencia GPON y XGS-PON con extensores de alcance [28]



### 3.2.2 TENDENCIAS PARA LA COEXISTENCIA DE GPON Y XGS-PON A NIVEL MUNDIAL

Desde 2016, empresas como Telefónica España y Huawei han unido sus experiencias con el propósito de desarrollar redes ópticas pasivas con velocidades por el orden de 10 Gbps simétricos. Este hecho ha permitido aumentar las capacidades del despliegue de la red de Telefónica con más de 2,5 millones de usuarios de FTTH. XGS-PON se eligió como la tecnología para actualizar las redes GPON, ya que ofrece similitudes y permite coexistencia con la red heredada que garantiza una evolución a largo plazo [47].

La empresa Huawei líder en el sector de las telecomunicaciones a nivel mundial, presenta en sus productos alternativas de OLTs que aceptan tarjetas híbridas tanto GPON, XGPON y XGS-PON, para el soporte de muy altas tasas de tráfico para clientes corporativos, y para usuarios *gamer*<sup>1</sup> cuyos requerimientos son un alto ancho de banda y baja latencia. Además, ofrece todos los elementos necesarios para la red de acceso y equipos para los usuarios finales, garantizando así la compatibilidad [48].

A nivel comercial, Huawei ofrece chasis OLT XGS-PON, que admiten tarjetas OLT tanto GPON como XGS-PON, y opciones de evolución con multiplexación WDM1r externa, tarjeta combinada PON y módulo óptico combinado TDM PON COMBO.

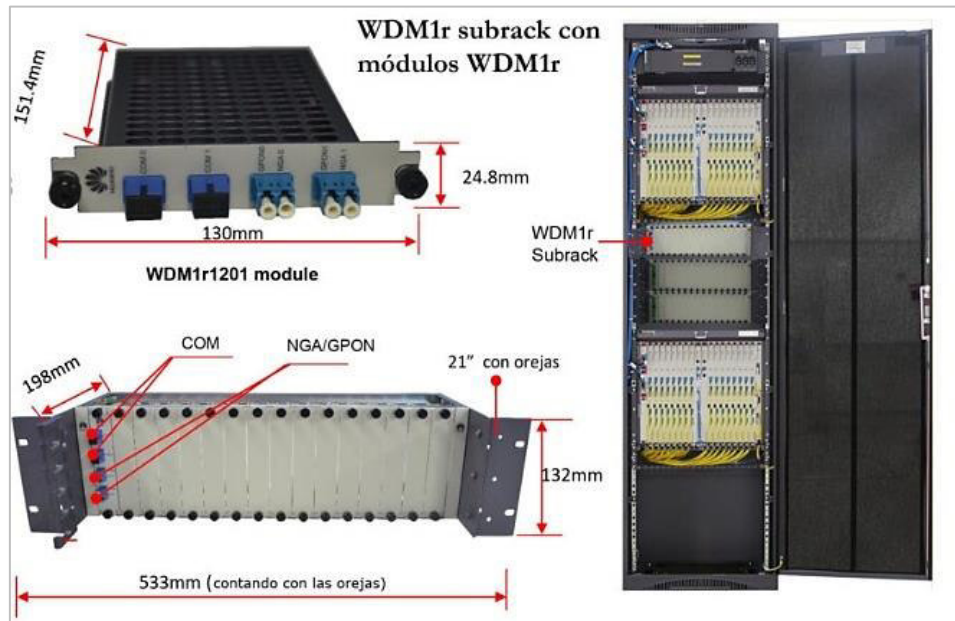
Los chasis de nueva generación presentan arquitecturas distribuidas, que permiten procesar los servicios en cada tarjeta OLT, de forma similar a un router, y no en la tarjeta de control, como lo hacen los chasis más antiguos [51]. Esta función mejora la capacidad de conmutación, el rendimiento y la fiabilidad. Los chasis de la familia de los MA5800 permiten la inserción de tarjetas tanto GPON como 10GPON, permitiendo una evolución progresiva hasta un futuro NGPON2.

El WDM1r externo, modelo comercializado WDM1r 1201, como se muestra en la Figura 3.11, es un dispositivo pasivo, que proporciona hasta 16 ranuras, en cada una de las cuales se puede insertar un módulo WDM1r.

---

<sup>1</sup>Usuario que utiliza altos anchos de banda y juega habitualmente a videojuegos y les dedica mucho tiempo.

Cada módulo admite dos entradas GPON y dos XGS-PON. Aunque es una solución muy rentable, plantea procesos de actualización más complejos, con la necesidad de incorporación de filtros, que algunas ONU no tienen y señales ópticas que se atenúan [49].



**Figura 3.11.** Módulo WDM1r [49]

Soluciones de integración como la WDM PON, que consiste en un puerto PON que integra GPON, 10GPON y WDM1r, es fácil de implementar, no requiere espacio adicional o dispositivo WDM1r, pero presenta los mismos problemas del WDM1r.

La solución TDM PON COMBO, de multiplexación por división de tiempo, posibilita la progresiva evolución de las redes PON, permitiendo alinear los procesos y reducir la atenuación de potencia causada por los WDM1r, simplificar de las actualizaciones de la red y una evolución segura de las redes actuales para soporte de mayores anchos de bandas [50]. La solución TDM PON combina el modo de recepción del enlace ascendente del WDM PON a una recepción TDM, lo que permite la transmisión por turnos de las tecnologías.

Por otra parte, AT&T en el 2018, realizó pruebas de coexistencia de GPON y XGS-PON en una red virtualizada, demostrando que se puede ofrecer altas velocidades y proveer una experiencia de video sin errores. Por su parte AT&T, tenía previsto complementar su red de fibra óptica con 5G, lo cual, permitiría ofrecer Internet de alta velocidad a 50 millones de locaciones con prestaciones en gigabit [51].

En el documento, titulado “Migración segura a la próxima generación de acceso de banda ancha óptica” [52], la empresa eslovena Iskratel ofrece un análisis de la evolución constante de las arquitecturas PON, en el cual expone que los operadores quieren migrar hacia XGS-PON y NGPON2 de forma segura y gradual, y que esta migración se debe realizar por fases, manteniendo la coexistencia de las tecnologías de nueva generación con la heredadas de forma que la ODN no se vea afectada, tomando como tecnología líder GPON.

La migración segura y gradual que propone la empresa Iskratel, reconoce a las normas internacionales, y a lo explicado en los escenarios técnicos de coexistencia en la sección 3.2.1, en el cual la primera fase de actualización corresponde a la incorporación de XGS-PON [53], cuya coexistencia requiere de un elemento que reemplace al transceptor triplexor, el cual requiere que este equipo sea compatible con la tecnología NGPON2 [54], a la que la empresa propone como una segunda fase de evolución.

Asimismo, la implementación puede realizarse con la incorporación de una OLT XGS-PON en la cabecera o de bloques adiciones a las OLT existentes, siendo este último un método rentable. Para la segunda fase se requiere la incorporación de multiplexores de longitud de onda adicionales para soportar XGPON2 [55].

Del mismo modo, Ocular, empresa mexicana dedicada a optimizar el uso de la fibra óptica con tecnología pasiva afirma que la coexistencia PON es la mejor solución para preparar implementaciones futuras y describe los siguientes beneficios:

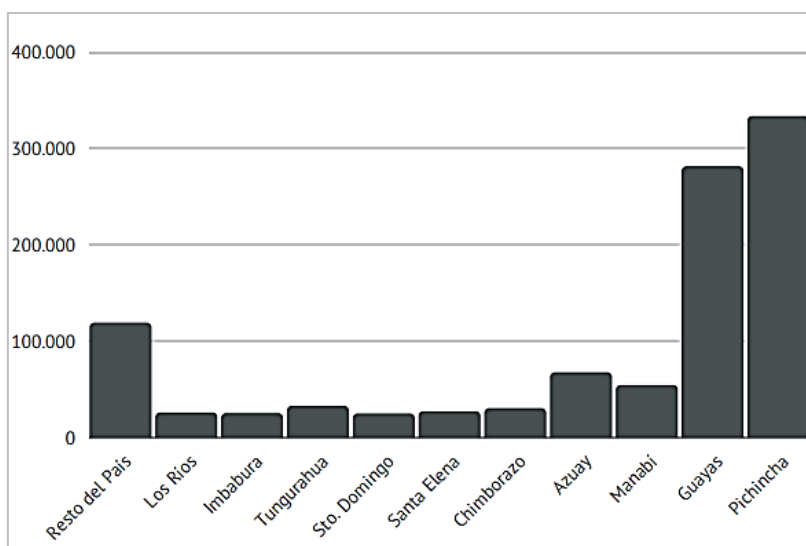
- Optimización de la fibra óptica instalada
- Uso de la ODN actual, que evita su manipulación y permite una reducción de los costos de inversión.
- No se afecta el servicio de la tecnología heredada GPON
- Al poseer los elementos activos en cabecera, se permite una migración gradual con la sustitución de los equipos de los abonados, y nuevos despliegues (campo verde) de forma simultánea [56].

### 3.2.3 ACTUALIZACIÓN DE LAS REDES ÓPTICAS DE BANDA ANCHA EN ECUADOR

#### 3.2.3.1 Situación actual de Ecuador en relación a los sistemas ópticos de banda ancha

Ecuador, sobresale entre los países latinoamericanos que gracias a la gestión y administración del gobierno de turno y al desarrollo de Planes Nacionales de Telecomunicaciones y Tecnologías de la Información, posee una alta penetración de fibra óptica, que ha sido marcada desde el año 2006 en el que se tenían aproximadamente 3.500 Km de tendido, mientras que para el año 2015 se contabilizaban 60.000 Km [57]. Para Junio de 2020, Ecuador ha llegado a los 110.813 Km de fibra óptica [58].

En el Boletín Estadístico presentado por ARCOTEL en el 2020, se indica que las redes de fibra óptica son caracterizadas por ofrecer servicios FTTH, identificando por provincias la cantidad de cuentas o suscripciones [59], como se aprecia en la Figura 3.12.

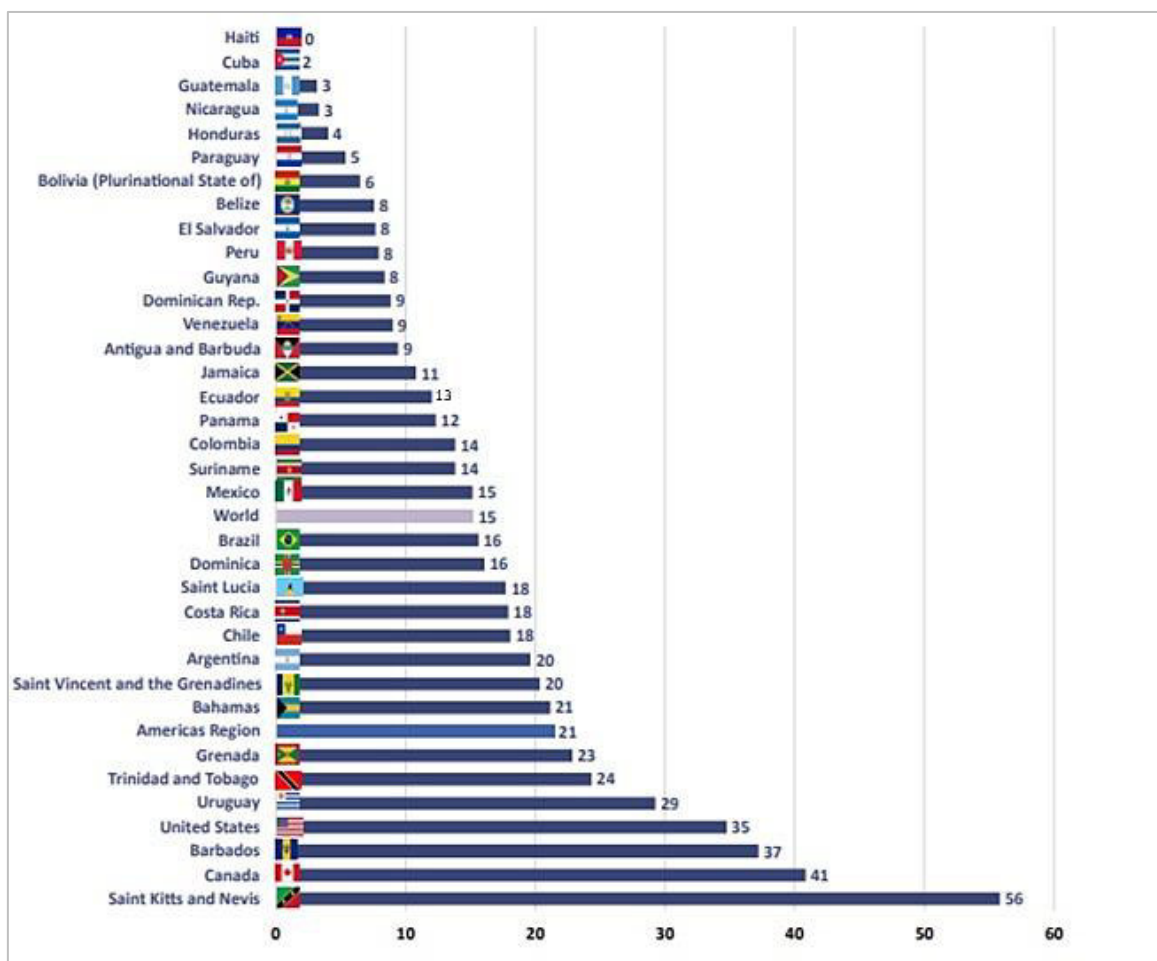


**Figura 3.12.** Cantidad de Cuentas de Internet a través de Fibra Óptica en el Ecuador [54]

En virtud de lo expuesto anteriormente, en el informe presentado por el Banco Interamericano de desarrollo (2020) [60], se expone que la adopción de servicios de banda ancha en conjunto con la transformación de los sectores productivos ha incrementado la producción interna en el país, que se traduce en un despliegue tecnológico de manera transversal que genera

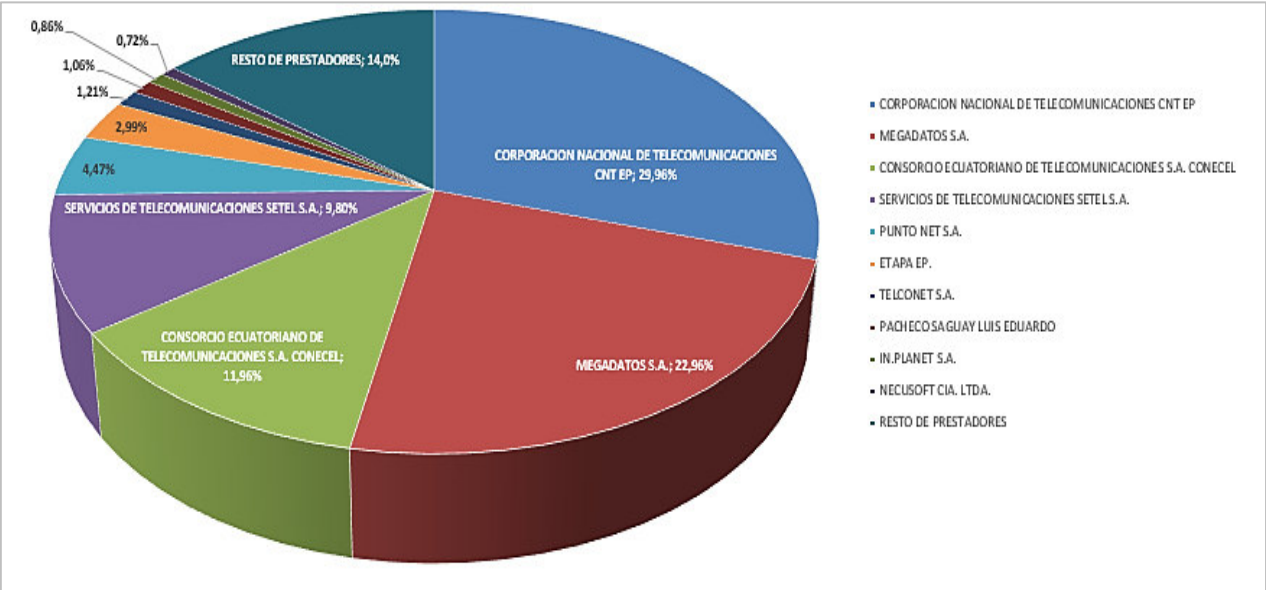
promoción e inversión en el sector [55]. ARCOTEL (2018) expone, que entre el 2012 y el 2018, el número de conexiones de última milla a través de medios ópticos se multiplicó en 10 veces, siendo estas redes las que ofrecen una mayor tasa de crecimiento, destacando que las tecnologías utilizadas son FTTH y GPON [56].

El informe emitido por el ARCOTEL referente al tercer trimestre del año 2021 indica que, para septiembre del 2021, las conexiones fijas eran de 2.518.916 y las conexiones móviles de 10.012.838. Dentro de las conexiones fijas se evidencia que el uso de fibra óptica ha incrementado, representando un 37,03% a comparación del cobre de 33,65%, cable coaxial 21,89% y medio inalámbrico 7,43% [59]. Asimismo, el informe publica que, para septiembre del 2021, Ecuador contaba con 13 suscriptores por cada 100 habitantes de internet de banda ancha fija, colocándolo por debajo del promedio mundial de 15 suscriptores por cada 100 habitantes [60], como se observa en la Figura 3.13.



**Figura 3.13.** Suscriptores de internet de banda ancha fija [57]

En referencia al mercado de Internet fijo, que brindan servicios en distintos tipos de medios como cobre y fibra, y ofrecen tecnologías como ADSL, ADSL2, DOCSIS, FTTH y GPON, las empresas públicas como CNT EP y ETAPA EP tienen el 29,96% de la mayoría del mercado, a continuación se poseionan las empresas privadas como MEGADATOS S.A con el 22,96%., CONECEL 11,96% , SETEL S.A 9,80% entre otros prestadores como se observa de forma más detallada en la Figura 3.14 [55].



**Figura 3.14.** Distribución del Mercado de Internet fijo en Ecuador [60]

Por otra parte, Ecuador se ubica en el séptimo puesto de 11 países en virtud del número de suscripciones fijas de internet, por encima de países como Venezuela, Perú, Paraguay y Bolivia, con un 10% de densidad en 2017 y un 11,5% en el 2018, como se observa en la Figura 3.13. Según MINTEL, hasta el 2018, habían 173 de 1.024 parroquias que no contaban con ningún tipo de servicio de Internet.

El Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información (MINTEL) como pilar de las políticas públicas del sector en Ecuador, ha materializado sus estrategias para mejorar la cobertura de internet fijo a nivel nacional, a través del plan “Ecuador Digital” [62], alineado con el Plan Nacional de Desarrollo 2016-2021 [1] y que expone tres ejes de acción como: el Ecuador conectado, el Ecuador eficiente y ciberseguro y el Ecuador Innovador y competitivo [59].

Las metas del plan [1] se sugieren de acuerdo al direccionamiento de las acciones de cobertura, acceso y uso, con el propósito de soportar los lineamientos de los tres ejes explicados anteriormente, por lo cual tiene como meta: una cobertura del 97% de cantones con fibra troncal para el 2021, un acceso de penetración del 59% de banda ancha fija en hogares, con un estimado de 34% de enlaces de fibra óptica [1].

### 3.2.3.2 GPON en Ecuador

La Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) desde el 2015, cuando entró en vigor la Ley Orgánica de Telecomunicaciones, ha estado marcando la pauta en la adjudicación de concesiones para el despliegue de redes GPON en Ecuador (Figura 3.15). En una etapa temprana se tendieron unos 800 Km de fibra troncal y de distribución que permitieron el crecimiento de la capacidad de la red de 1 hasta 10 Gbps, en las provincias de Pichincha, Napo y Orellana.



Figura 3.15. Red GPON en el Ecuador [58]

Para el 2021, la red de fibra óptica a nivel Nacional se estima en más de 110.813 Km y con más de 120 nodos de conexiones, pudiendo ofrecer internet a los hogares por FTTH [59], con una penetración en zonas urbanas del 37% y del 16 % en las zonas rurales [59].

Empresas como REDECOM, ALFASAT y PUNTO NET, ofrecen despliegues de GPON actualmente. REDECOM poseen un despliegue de fibra óptica en constante expansión con tecnología GPON (FTTH) en varias provincias del país, tanto urbanas como rurales, como: Provincia de Imbabura Cantones: Antonio Ente, Cotacachi, Ibarra, Otavalo, Pimampiro y Urcuquí, Provincia de Carchi y Provincia de Pichincha [60].

Por otra parte, ALFASAT, implementa redes GPON en urbanizaciones, edificios y redes de servicios de punto a punto, además ALFASAT ofrece proyectos de despliegue y desarrollo, ubicada en el Valle de los Chillos, Quito [61] y PUNTO NET con su servicio Celerity, ofrece internet de fibra óptica de alta velocidad para hogares con tecnología FTTH/GPON, con presencia en las provincias de Azuay, Chimborazo, Cotopaxi, El Oro, Guayas, Imbabura, Loja, Manabí, Pichincha, Santo Domingo de los Tsáchilas y Tungurahua, y con despliegue en más de 15 ciudades [62]. Estas empresas se destacan por su despliegue y costos competitivos.

Soluciones FTTH, son ofrecidas de igual forma, por Netlife, con velocidad desde 20 Mbps, caracterizada por velocidad simétrica, ventaja que lo han situado en una de las principales operadoras., con una amplia cobertura a nivel Nacional [65], y por Fibramax, en ciudades como Quito, Guayaquil, Cuenca, Manta, Ambato, Santo Domingo y Salcedo [63]. Empresas internacionales como Claro, también ofrecen soluciones GPON para internet de banda ancha con gran cobertura en Ecuador [63].

De acuerdo a lo anteriormente expuesto, Ecuador está avanzando hacia una nación digital [63], con un plan de trabajo definido y orientado al desarrollo de una infraestructura tecnológica robusta, con redes de acceso con tecnología PON. El despliegue actual de GPON permite ofrecer una red de base para una evolución paulatina orientada a la coexistencia con XGS-PON o migración total a XGS-PON como siguiente paso.



### **3.3 XGS-PON EN EL MUNDO**

Con el logro de un despliegue masivo a nivel mundial, GPON, ha sentado las bases para un mercado emergente de la tecnología XGS-PON, convirtiéndose en la variante PON de 10 G que superará a GPON, en los próximos años [65]. Los cambios en el mercado de la tecnología PON han sido marcados por los operadores chinos. El caso ejemplo fue la implementación masiva GPON que supero a EPON como tecnología base para el desarrollo de arquitecturas FTTH a principios del 2010.

Para Julio de 2021, la empresa Chunghwa Telecom, ha completado con éxito, en Taiwán, la primera red de acceso abierto con integración de múltiples operadores, asociándose con los principales proveedores de la zona para armar un sistema FTTH. El sistema proporciona acceso de banda ancha de alta velocidad, incorporando OLT XGS-PON de Edgcore, ONU de Zyxel y Alpha, funciones de software virtualizadas de proveedores extranjeros como Netsia, Radisys y STL [49].

Empresas como Huawei Technologies Co. Ltd. Y ZTE Corp, poseen equipos XGS-PON en el mercado mundial, es Nokia Corp, la que lidera el mercado emergente de XGS-PON, teniendo 300.000 puertos OLT y más de un millón de terminales ONUs, que permite tarjetas de línea multi-PON que admiten GPON, XGS-PON, y la nueva tendencia, 25 G [65].

De los diversos estándares de la familia PON [66], el estándar XGS-PON está conquistando terreno rápidamente en el mercado chino, se espera que para el 2024, se convierta a nivel mundial en la tecnología más popular para FTTH, y con ello, Nokia Corp, se consolide en el mercado mundial.

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

En el presente trabajo se ha presentado un análisis técnico comparativo de las tecnologías GPON y XGS-PON, cuyo proceso parte de una visión teórica y normada por la ITU, que aborda consideraciones técnicas y operativas de las tecnologías en estudio, permitiendo reconocer los principales parámetros para su posterior comparación técnica.

Estableciendo las bases teóricas fundamentales en relación a las tecnologías GPON y XGS-PON, sus componentes y parámetros, se evidenciaron las similitudes que ofrecen dado que las normativas internacionales regidas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones brindan una evolución paulatina con compatibilidad y coexistencia entre las tecnologías de nueva generación y las heredadas, lo que ofrece una oportunidad de crecimiento gradual con inversiones en escalamiento, primero cambios en la cabecera y luego, con la oferta de nuevos servicios, cambios en los equipos de los abonados.

Las redes ópticas pasivas ofrecen una opción que permite un aumento de la cobertura zonal, con un mayor ancho de banda, una reducción del consumo y una minimización del despliegue de fibra óptica gracias a su potencial en topologías punto a punto o punto a multipunto, esta última la más desarrollada en el despliegue de topologías FTTx, en especial FTTH.

Las redes PON han evolucionado debido a la necesidad de ofrecer un acceso más rápido que permita brindar una mejor calidad de servicio al usuario tanto para conexiones de servicios de voz, datos y video con altas velocidades, además de una reducción de costos de instalación y mantenimiento, con la eliminación de los componentes activos en la red de distribución.

XGS-PON ofrece un mejor rendimiento en relación a servicios y ancho de banda para el usuario final, en una infraestructura similar a la GPON, tanto en sus características de operación como de configuración de los equipos. Este hecho permite que GPON y XGS-PON pueden convivir y evolucionar de forma sencilla, para ello es importante una buena planificación, dado que pueden coexistir en una misma ODN operando en el modo de multiplexación por división de longitud de onda, gracias a la bondad de las OLT de aceptar módulos de ambas tecnologías y ofrecer servicios compartiendo el tráfico de información.

El escenario 1, de los esquemas de coexistencia, ofrece una estrategia segura para potencializar las redes de acceso ya implementadas con tecnología GPON, tanto a nivel mundial como en Ecuador, ofreciendo una red de distribución óptima para migrar y/o coexistir con tecnologías de nueva generación como XGS-PON, la cual se perfila en unos años como líder mundial sobre GPON.

Las condiciones ofrecidas en las redes actuales, en conjunto con los dispositivos ópticos con penetración latinoamericana, auguran una coexistencia de GPON con XGS-PON exitosa, la cual entrega cuatro veces mayor capacidad, usando el conjunto básico de longitudes de onda, que permita una expansión progresiva en cuanto a dimensión, además de la incorporación de nuevos servicios, con nuevos clientes XGS-PON coexistiendo con clientes GPON preexistentes.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Luego de realizar el análisis comparativo de las tecnologías en estudio, se desprenden las siguientes recomendaciones que permitirán la consecución de investigaciones y desarrollo de estas tecnologías.

Se recomienda realizar un análisis tecno-económico de un modelo de red de acceso con coexistencia GPON y XGS-PON a nivel de diseño, a fin de complementar el análisis técnico realizado. Debe considerarse el escenario de coexistencia 1 y generar un modelo óptimo que ofrezca las mejores bondades a un menor costo.

Se recomienda analizar la infraestructura óptica para redes fronthaul, midhaul y backhaul en pro de la adaptación para los cambios a futuro con el despliegue de tecnologías XGS-PON sobre las GPON.

Dada la situación actual del acceso de internet fijo en Ecuador, se recomienda generar propuestas de un plan de coexistencia en las redes de acceso ópticas en Ecuador, que permita a los operadores y gobiernos enfocarse en realizar una escalada tecnológica neutral y abierta que reduzca los costos y contribuya al desarrollo de Ecuador Digital, para GPON y XGS-PON.

Se recomienda evaluar los retardos y errores que se puedan presentar en las redes con coexistencia entre GPON y XGS-PON producto del uso de diferentes fabricantes, que puedan perjudicar los servicios IP y disminuyan la calidad y confiabilidad de los datos.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] SITEAL, Plan Nacional de Telecomunicaciones y Tecnologías de Información del Ecuador (2016-2021), Quito : Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información , 2018.
- [2] R. Blake, Sistemas electrónicos de comunicaciones, 2nd ed., México D.F.: International Thomson Editores S.A., 2004, p. 882.
- [3] «Desarrollo de proyectos STI “Fibra óptica para ICT” 2013/2104,» 2013. [En línea]. Available: <https://sites.google.com/site/desarrollosticaura/proyecto-de-ict/stdp-y-tba/4-fibra-optica..>
- [4] Beyondtech Team, 2017 . [En línea]. Available: <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multi-modos> .
- [5] FS Community, «The Bandwidth and Window of Fiber Optic Cable,» 18 September 2012. [En línea]. Available: <https://community.fs.com/blog/the-bandwidth-and-window-of-fiber-optic-cable.html>.
- [6] ITU-Unión Internacional de Telecomunicaciones , «Diseño y consideraciones de los Sistemas Ópticos, ITU-T Series G Suplemento 39,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.Sup39/es>.
- [7] Prored, «Ventanas de transmisión de la fibra óptica,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.prored.es/ventanas-de-transmision/>.
- [8] G. Agrawal, Nonlinear Fiber Optics, San Diego, C.A.: Academic Press, 2007.
- [9] TelproMadrid, «Fibra óptica y las Pérdidas de la Fibra Óptica,» 2018 . [En línea]. Available: <https://telpromadrid.eu/fibra-optica/>.
- [10] R. X. Román Vásquez, Artist, Diseño de la ampliación de la red de comunicación de EMELNORTE utilizando fibra óptica y tecnología inalámbrica. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2010.
- [11] J. Ramírez Bonilla y D. Chimbo Fernández, Artists, *Estudio y diseño del tramo Bucay-Pallatanga-Cajabamba para cerrar el anillo óptico de Chimborazo basado en el estándar G. 655 para la CNT-EP*. [Art]. Escuela Superior Politécnica Nacional del Chimborazo, 2014.
- [12] A. P. Saltos Montaña, Artist, Diseño de una red troncal de fibra óptica que enlace los poblados que se encuentran a lo largo de la carretera Ibarra. San Lorenzo, teniendo como nodo central a la población de Lita, para brindar servicios IP y TV por suscripción. [Art]. Escuela Politécnica Nacional, 2011.
- [13] G. Sasaki, R. Ramaswami y K. Sivarajan, Optical networks: a practical perspective. Third Edition, ELSEVIER SCIENCE, 2009.
- [14] L. M. Toapanta Mejía, Artist, *Análisis técnico comparativo entre LR-PON y XPON*. [Art]. EPN-Escuela Politécnica Nacional, 2018.
- [15] Y. Maeda y F. Montalti, Optical fibres, cables and systems. ITU-T Manual, Geneva: International Telecommunication Union, 2009.
- [16] Fibra óptica Ciencia & Tecnología, Las redes de acceso y las redes ópticas pasivas: definición de las redes de acceso de fibra óptica, 2012.
- [17] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas. ITU-T G.983.1, 2005.

- [18] Á. Osorio, Artist, Redes GPON-FTTH, Evolución y puntos críticos para su despliegue en Argentina. [Art]. ITBA-Instituto Tecnológico de Buenos Aires , 2016.
- [19] Allied Telesis, «Fiber to thr X (FTTX),» 2021. [En línea]. Available: <https://www.alliedtelesis.com/solutions/FTTx>.
- [20] FOC-Fiber Optic Cabling, «What are relations between OLT, ODN, ONU and OLT?,» 2019 . [En línea]. Available: <http://www.fiber-optic-cabling.com/fiber-optic/what-are-relations-between-olt-odn-onu-and-ont/>.
- [21] Electro Industria, «¿Cuál es la mejor fibra para su Red Óptica de Acceso?,» *Revista Electro Industria*, 2020.
- [22] C. F. Lam, Passive optical networks: principles and practice, Academic Press, 2011.
- [23] L. F. Romero Chafra, Artist, Analizar el rendimiento de los receptores en una red TDM/WDM pon (red óptica pasiva). [Art]. Universidad Politécnica Salesiana, 2016.
- [24] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Consideraciones de Protección de redes ópticas pasivas. ITU-T G. Supplement 5, 2017.
- [25] Mundo Telecomunicaciones, «FTTC la mejor solución a todos nuestros problemas,» 2011. [En línea]. Available: <https://martinmoreton.wordpress.com/2011/11/26/fttc-la-mejor-solucion-a-todos-nuestros-problemas/> .
- [26] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Características generales. ITU-T G.984.1, 2003.
- [27] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 40-gigabit-capable passive optical networks (NG\_PON2): Definitions, abbreviations and acronyms,» ITU-T G.989, 2015.
- [28] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas simétricas de capacidad de 10 gigabits (XGS-PON),» ITU-T G.9807.1, 2016.
- [29] Huawei, «Conociendo la historia familiar de las tecnologías PON,» 2019. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/conociendo-la-historia-familiar-de-las-tecnologias-pon/thread/496697-100243>.
- [30] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos. UIT-T G.984.2, 2003.
- [31] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificaciones de la capa de transmisión, ITU-T G.984.3, 2014.
- [32] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de gestión y control de la ONT, ITU-T G.984.4, 2008.
- [33] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de Mejora, ITU-T G.984.5, 2014.
- [34] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Extensión del Enlace, ITU-T G.984.6, 2008.
- [35] E. Pérez, Artist, *Factibilidad de convergencia de redes de acceso de próxima generación en redes FTTX usando tecnología de la familia XPON sobre de redes heredadas*. [Art]. Universidad Católica Andrés Bello, 2019.
- [36] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos. Enmienda 1: Nuevo apéndice III- Prácticas idóneas utilizadas en la industria para redes ópticas pasivas con capacidad de 2,488 Gbps, 2006.

- [37] I. Cale, A. Salihovic y M. Ivekovic, «Gigabit Passive Optical Network - GPON,» *International Conference on Information Technology Interfaces. IEEE*, pp. 679-684, 2007.
- [38] F. Effenberger, H. T. US, D. Cleary, I. Calix, O. Haran, P. Sierra, G. Kramer, I. Teknovus, R. Ding Li, I. Motorola, M. Oron, I. Tellabs, T. Pfeiffer y A.-L. Germany, «An Introduction to PON Technologies,» *IEEE Communications Magazine*, vol. 45, n° 3, pp. 17-25, 2007.
- [39] C.J, Acosta Arias., "Diseño técnico de la red de acceso para la empresa Arclad S.A, mediante tecnología FTTX (fiber to the x), a través de la infraestructura de red de CNT E.P. y criterios de instalación". Quito, Universidad Politécnica Nacional 2012
- [40] M. López Bonilla, E. Moschim y F. Rudge Barbosa, «Estudio comparativo de redes GPON y EPON,» *Scientia et Technica*, n° 41, pp. 321-326, 2009.
- [41] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas simétricas de capacidad de 10 gigabits (XGS-PON): Extensión de Enlace. ITU-T G.9807.2, 2017.
- [42] A. F. Cabezas García, Sistemas de comunicaciones ópticas, Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada , 2014.
- [43] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Sistemas de acceso óptico de banda ancha con capacidad de servicio incrementada mediante la asignación de longitudes de onda, ITU-T G.983.3, 2001.
- [44] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Características generales. Enmienda 1, ITU-T G.984.2 Enmienda 1, 2009.
- [45] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Características de las fibras y cables ópticos monomodo, ITU-T G.652, 1988.
- [46] Unión Internacional de Telecomunicaciones, 10-gigabit capable passive optical networks (XGPON): General requirements» ITU-T G.987.1, 2016.
- [47] Unión Internacional de Telecomunicaciones, ONU management and control interface (OMCI) specification, ITU- T G.988, 2017.
- [48] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Soluciones de fibra óptica ampliadas en la red de acceso. Comisión de Estudio 6 (2001-2004) del UIT-T por el procedimiento de la Recomendación UIT-T A.8, ITU-T L.42(05/2003), 2003.
- [49] Telefónica, «Huawei y Telefónica España cooperarán en el desarrollo de productos XGS-PON y aplicaciones para redes del hogar,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.telefonica.com/es/web/sala-de-prensa/-/huawei-y-telefonica-espana-cooperaran-en-el-desarrollo-de-productos-xgs-pon-y-aplicaciones-para-redes-del-hogar>.
- [50] Huawei, «XGS-PON para dentro de 5 años,» 2020. [En línea]. Available: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/xGPON-para-este-a%C3%B1o-para-dentro-de-5-a%C3%B1os-an%C3%A1lisis-de-factibilidad-y-viabilidad-para-dise%C3%B1ar-una-red-pasiva-moderna/thread/759277-100275>.
- [51] Aleasoluciones , «Chasis Huawei XGS-PON,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aleashop.es/blog/2018/06/23/chasis-huawei-xgs-gpon/#more>.
- [52] Aleasoluciones , «Migración XGS-GPON,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aleashop.es/blog/2018/08/01/migracion-xgs-gpon/>.
- [53] Aleasoluciones, «TDM PON combo,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.aleashop.es/blog/2018/08/20/tm-pn-combo/>.
- [54] Telesemana, «AT&T prueba coexistencia GPON y XGS-PON en una red virtualizada,» 2018. [En línea]. Available: <https://www.telesemana.com/blog/2018/01/18/att-prueba-coexistencia-gpon-y-xgs-pon-en-una-red-virtualizada/>.

- [55] Iskratel, «Safe migration to next-gen optical broadband access,» 2020. [En línea]. Available: <https://assets.cdnma.com/17114/assets/White-papers/Safe-Migration-to-Next-Gen-Opti-cal-Broadband-Access-whitepaper-EN.pdf>.
- [56] Ocular Telecom , «Optimización de la fibra de redes PON con elemento de coexistencia,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.ocular.com/post/optimizaci%C3%B3n-de-la-fibra-de-redes-pon-con-elemento-de-coexistencia> .
- [57] M. A. Ruiz Pérez, Artist, Diseño de una red de fibra óptica FTTH para brindar el servicio de internet a los usuarios de la empresa REDECOM en el centro de la ciudad de Otavalo. [Art]. Universidad Técnica del Norte, 2019.
- [58] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, «Ecuador continúa creciendo en fibra óptica,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-continua-creciendo-en-fibra-optica/> .
- [59] ARCOTEL, «Servicio de Acceso a Internet. Boletín Estadístico,» noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/BOLETIN-NOVIEMBRE-2020-25-11-2020.pdf>.
- [60] Banco Interamericano de Desarrollo, Estado actual de las Telecomunicaciones y la Banda Ancha en Ecuador, Quito: Banco Interamericano de Desarrollo, 2020.
- [61] Unión Internacional de Telecomunicaciones, Estudio de casos: El ecosistema digital y la masificación de las tecnologías de la información y las Comunicaciones (TIC) en Ecuador 2019, 2019.
- [62] ITU Publications Americas , Digital trends in the Americas region, <https://www.itu.int/en/myitu/Publications/2021/04/26/09/33/Digital-trends-in-the-Americas-region-2021>, 2021.
- [63] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, «Ecuador digital,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/25693-2/> .
- [64] Ministerio de Telecomunicaciones y de la Sociedad de la Información, «Ecuador conectado,» 2020 . [En línea]. Available: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuador-conectado/> .
- [65] Portal CNT, «Mapas,» 2021. [En línea]. Available: <https://gis.cnt.gob.ec/appgeoportal/?u=-79.16996,-1.81029,7>.
- [66] ALFASAT, 2021. [En línea]. Available: <http://www.alfasat.com.ec/>.

## 6. ANEXOS

### ANEXO A. Parámetros de la capa dependiente del medio físico–GPON

Figura A.1. Parámetros de la capa dependiente del medio físico de la ODN

Elementos	Unidad	Especificación
Tipo de fibra (Nota 1)	–	Rec. UIT-T G.652
Gama de atenuación (Rec. UIT-T G.982)	dB	Clase A: 5-20 Clase B: 10-25 Clase C: 15-30
Pérdida del trayecto óptico diferencial	dB	15
Máxima penalización del trayecto óptico	dB	1 (véase la nota 5 en los cuadros 2e y 2f-1)
Máximo alcance lógico	km	60 (Nota 2)
Máximo alcance lógico diferencial	km	20
Máxima distancia de fibra entre los puntos S/R y R/S	km	20 (10 como opción)
Mínima relación de división soportada	–	Restringida por la pérdida de trayecto PON con divisores pasivos (divisores de 16, 32 ó 64 vías)
Transmisión bidireccional	–	WDM de 1 fibra o 2 fibras
Longitud de onda de mantenimiento	nm	Por definir
<p>NOTA 1 – La utilización de tipos de fibra diferentes para ampliar el alcance (&gt; 20 km) en el futuro, queda pendiente de estudio, a la espera de una nueva especificación de la PMD.</p> <p>NOTA 2 – Ésta es la máxima distancia gestionada por las capas superiores del sistema (MAC, TC, determinación de distancia), considerando la futura especificación de la PMD.</p>		



Figura A.2. Parámetros de la interfaz óptica a 1244 Mbps en sentido descendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor OLT (interfaz óptica <math>O_{ld}</math>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	1244,16			1244,16		
Longitud de onda de trabajo	nm	1480-1500			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ seudoaleatorizado			NRZ seudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 2			Figura 2		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	NA			NA		
Mínima ORL de ODN en $O_{lu}$ y $O_{ld}$ (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	–4	+1	+5	–4	+1	+5
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+1	+6	+9	+1	+6	+9
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	NA			NA		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz	nm	NA			NA		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 3)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
<b>Receptor ONU (interfaz óptica <math>O_{rd}</math>)</b>							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que –20			menor que –20		
Tasa de errores en los bits	–	menor que $10^{-10}$			menor que $10^{-10}$		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–25	–25	–26	–25	–25	–25
Sobrecarga mínima	dBm	–4	–4	–4 (Nota 4)	–4	–4	–4
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	Figura 5			Figura 5		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		
<p>NOTA 1 – El valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{ru}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{lu}</math> y <math>O_{ld}</math>" debe ser mayor que 20 dB en los casos opcionales descritos en el apéndice I/G.983.1.</p> <p>NOTA 2 – Los valores de la reflectancia del transmisor ONU en el caso de que el valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{ru}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{lu}</math> y <math>O_{ld}</math>" sea 20 dB se describen en el apéndice II/G.983.1.</p> <p>NOTA 3 – En la Rec. UIT-T G.957 se hace referencia a la máxima anchura entre puntos de –20 dB, y a la relación mínima de supresión en modo lateral.</p> <p>NOTA 4 – Aunque sólo se requiere una sobrecarga de –6 dBm para soportar la ODN de clase C, en esta Recomendación se ha elegido un valor de sobrecarga de –4 dBm para uniformidad del receptor ONU en todas las clases de ODN.</p>							

Figura A.3. Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbps en sentido descendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor OLT (interfaz óptica O<sub>td</sub>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	2488,32			2488,32		
Longitud de onda de trabajo	nm	1480-1500			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 2			Figura 2		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	NA			NA		
Mínima ORL de ODN en O <sub>td</sub> y O <sub>td</sub> (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	0	+5	+3 (Nota 4)	0	+5	+3 (Nota 4)
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+4	+9	+7 (Nota 4)	+4	+9	+7 (Nota 4)
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	NA			NA		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz	nm	NA			NA		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 3)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
<b>Receptor ONU (interfaz óptica O<sub>rd</sub>)</b>							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que –20			menor que –20		
Tasa de errores en los bits	–	menor que 10 <sup>-10</sup>			menor que 10 <sup>-10</sup>		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–21	–21	–28 (Nota 4)	–21	–21	–28 (Nota 4)
Sobrecarga mínima	dBm	–1	–1	–8 (Nota 4)	–1	–1	–8 (Nota 4)
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	Figura 3			Figura 3		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		

NOTA 1 – El valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub>" debe ser mayor que 20 dB en los casos opcionales descritos en el apéndice I/G.983.1.

NOTA 2 – Los valores de la reflectancia del transmisor ONU en el caso de que el valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub> y O<sub>td</sub>" sea 20 dB se describen en el apéndice II/G.983.1.

NOTA 3 – En la Rec. UIT-T G.957 se hace referencia a la máxima anchura entre los puntos de –20 dB, y a la relación mínima de supresión en modo lateral.

NOTA 4 – Estos valores suponen la utilización de un láser de alta potencia con realimentación distribuida (DFB, *distributed feedback*) para el transmisor OLT y de un receptor basado en APD para la ONU. Teniendo en cuenta los desarrollos futuros de la tecnología SOA, una implementación alternativa futura podría utilizar un láser DFB + SOA, o un diodo láser de alta potencia, para el transmisor OLT, lo que permitiría utilizar un receptor basado en PIN para la ONU. En ese caso los valores supuestos serían (condicionado a la reglamentación y medidas para la seguridad visual):  
 Potencia media inyectada MÁX del transmisor OLT: +12 dBm  
 Potencia media inyectada MÍN del transmisor OLT: +8 dBm  
 Sensibilidad mínima del receptor ONU: –23 dBm  
 Sobrecarga mínima del receptor ONU: –3 dBm

Figura A.4. Parámetros de la interfaz óptica a 155 Mbps en sentido ascendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor ONU (interfaz óptica O<sub>TU</sub>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	155,52			155,52		
Longitud de onda de trabajo	nm	1260-1360			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 3			Figura 3		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	menor que –6			menor que –6		
Mínima ORL de la ODN en O <sub>TU</sub> y O <sub>rd</sub> (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	–6	–4	–2	–6	–4	–2
Potencia media inyectada MÁX	dBm	–0	+2	+4	–1	+1	+3
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	menor que la sensibilidad mínima –10			menor que la sensibilidad mínima –10		
Máxima activación de Tx (Nota 3)	bits	2			2		
Máxima desactivación de Tx (Nota 3)	bits	2			2		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura cuadrática media	nm	5,8			5,8		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 4)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
Transferencia de fluctuación de fase	–	Figura 4			Figura 4		
Generación de fluctuación de fase entre 0,5 kHz y 1,3 MHz	UI p-p	0,2			0,2		
<b>Receptor OLT (interfaz óptica O<sub>LU</sub>)</b>							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que –20			menor que –20		
Tasa de errores en los bits	–	menor que 10 <sup>–10</sup>			menor que 10 <sup>–10</sup>		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	–27	–30	–33	–27	–30	–33
Sobrecarga mínima	dBm	–5	–8	–11	–6	–9	–12
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	NA			NA		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		
<p>NOTA 1 – El valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos O<sub>TU</sub> y O<sub>rd</sub> y O<sub>LU</sub> y O<sub>ld</sub>" debe ser mayor que 20 dB en los casos opcionales descritos en el apéndice I/G.983.1.</p> <p>NOTA 2 – Los valores de la reflectancia del transmisor ONU en el caso de que el valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos O<sub>TU</sub> y O<sub>rd</sub> y O<sub>LU</sub> y O<sub>ld</sub>" sea 20 dB se describen en el apéndice II/G.983.1.</p> <p>NOTA 3 – Definida en 8.2.6.3.1.</p> <p>NOTA 4 – En la Rec. UIT-T G.957 se hace referencia a los valores de máxima anchura entre puntos de –20 dB, y de la mínima relación de supresión en modo lateral.</p>							

Figura A.5. Parámetros de la interfaz óptica a 622 Mbps en sentido ascendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor ONU (interfaz óptica <math>O_{ru}</math>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	622,08			622,08		
Longitud de onda de trabajo (Nota 5)	nm	MLM tipo 1 o SLM: 1260~1360 MLM tipo 2: 1280~1350 MLM tipo 3: 1288~1338			MLM tipo 1 o SLM: 1260~1360 MLM tipo 2: 1280~1350 MLM tipo 3: 1288~1338		
Código de línea	–	NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 3			Figura 3		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	menor que –6			menor que –6		
Mínima ORL de la ODN en $O_{ru}$ y $O_{rd}$ (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	–6	–1	–1	–6	–1	–1
Potencia media inyectada MÁX	dBm	–1	+4	+4	–1	+4	+4
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	menor que la sensibilidad mínima –10			menor que la sensibilidad mínima –10		
Máxima activación de Tx (Nota 3)	bits	8			8		
Máxima desactivación de Tx (Nota 3)	bits	8			8		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz (Nota 5)	nm	MLM tipo 1: 1,4 MLM tipo 2: 2,1 MLM tipo 3: 2,7			MLM tipo 1: 1,4 MLM tipo 2: 2,1 MLM tipo 3: 2,7		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 4)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
Transferencia de fluctuación de fase	–	Figura 4			Figura 4		
Generación de fluctuación de fase entre 2,0 kHz y 5,0 MHz	UI p-p	0,2			0,2		



Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que -20			menor que -20		
Tasa de errores en los bits	-	menor que $10^{-10}$			menor que $10^{-10}$		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	-27	-27	-32	-27	-27	-32
Sobrecarga mínima	dBm	-6	-6	-11	-6	-6	-11
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	-	NA			NA		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		
<p>NOTA 1 – El valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{rn}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{rn}</math> y <math>O_{ld}</math>" debe ser mayor que 20 dB en los casos opcionales descritos en el apéndice I/G.983.1.</p> <p>NOTA 2 – Los valores de la reflectancia del transmisor ONU en el caso de que el valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{rn}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{rn}</math> y <math>O_{ld}</math>" sea 20 dB se describen en el apéndice II/G.983.1.</p> <p>NOTA 3 – Definida en 8.2.6.3.1.</p> <p>NOTA 4 – En la Rec. UIT-T G.957 se hace referencia a los valores de la máxima anchura entre puntos de -20 dB, y de la mínima relación de supresión de modo lateral.</p> <p>NOTA 5 – Los tipos de transmisor que cumplen con especificaciones de anchura espectral más estrecha pueden utilizar intervalos de longitud de onda central mayores. Los tipos de láser especificados producen una penalización en el trayecto óptico menor que 1 dB en la ODN. Se pueden utilizar láseres con otros parámetros ópticos siempre que: 1) el intervalo de longitudes de onda no rebase 1260~1360 nm, y 2) cualquier aumento de penalización en el trayecto óptico mayor que 1 dB se compense con un aumento de la potencia inyectada transmitida mínima o con un aumento de la sensibilidad mínima del receptor.</p>							

Figura A.6. Parámetros de la interfaz óptica a 1244 Mbps en sentido ascendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor ONU (interfaz óptica O<sub>ru</sub>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	1244,16			1244,16		
Longitud de onda de trabajo	nm	1260-1360			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 3			Figura 3		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	menor que –6			menor que –6		
Mínima ORL de la ODN en O <sub>ru</sub> y O <sub>rd</sub> (Notas 1 y 2)	dB	mayor que 32			mayor que 32		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	–3 (Nota 5)	–2	+2	–3 (Nota 5)	–2	+2
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+2 (Nota 5)	+3	+7	+2 (Nota 5)	+3	+7
Potencia óptica inyectada sin entrada al transmisor	dBm	menor que la sensibilidad mínima –10			menor que la sensibilidad mínima –10		
Máxima activación de Tx (Nota 3)	bits	16			16		
Máxima desactivación de Tx (Nota 3)	bits	16			16		
Relación de extinción	dB	mayor que 10			mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	mayor que –15			mayor que –15		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz	nm	(Nota 5)			(Nota 5)		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB (Nota 4)	nm	1			1		
Si el láser es SLM – Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
Transferencia de fluctuación de fase	–	Figura 4			Figura 4		
Generación de fluctuación de fase entre 4,0 kHz y 10,0 MHz	UI p-p	0,33			0,33		

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Receptor OLT (interfaz óptica <math>O_{ru}</math>)</b>							
Máxima reflectancia de equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que -20			menor que -20		
Tasa de errores en los bits	-	menor que $10^{-10}$			menor que $10^{-10}$		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	-24 (Nota 6)	-28	-29	-24 (Nota 6)	-28	-29
Sobrecarga mínima	dBm	-3 (Nota 6)	-7	-8	-3 (Nota 6)	-7	-8
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la fluctuación de fase	-	NA			NA		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		
<p>NOTA 1 – El valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{ru}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{lu}</math> y <math>O_{ld}</math>" debe ser mayor que 20 dB en los casos opcionales descritos en el apéndice I/G.983.1.</p> <p>NOTA 2 – Los valores de la reflectancia del transmisor ONU en el caso de que el valor de "ORL mínima de la ODN en los puntos <math>O_{ru}</math> y <math>O_{rd}</math> y <math>O_{lu}</math> y <math>O_{ld}</math>" sea 20 dB se describen en el apéndice II/G.983.1.</p> <p>NOTA 3 – Definida en 8.2.6.3.1.</p> <p>NOTA 4 – En la Rec. UIT-T G.957 se hace referencia a los valores de la máxima anchura entre puntos de -20 dB, y de la mínima relación de supresión en modo lateral.</p> <p>NOTA 5 – Aunque los tipos de láser MLM no permiten soportar toda la distancia de fibra de la ODN indicada en el cuadro 2a, se pueden utilizar si la máxima distancia de fibra de la ODN entre puntos R/S y S/R se restringe a 10 km. Se pueden utilizar los tipos de láser MLM del cuadro 2e para soportar esta distancia de fibra restringida a 1244,16 Mbit/s. Estos tipos de láser han de cumplir las condiciones indicadas en la nota 5 del cuadro 2e.</p> <p>NOTA 6 – Estos valores suponen la utilización de un receptor basado en PIN en la OLT para la clase A. En función de la cantidad de ONU conectadas a la OLT, una implementación alternativa desde el punto de vista del costo podría utilizar en la OLT un receptor basado en APD, permitiendo utilizar láseres más económicos en las ONU, con menos potencia emitida acoplada a la fibra. En este caso los valores para la clase A serían:</p> <p>Potencia media inyectada MÍN del transmisor ONU: -7 dBm</p> <p>Potencia media inyectada MÁX del transmisor ONU: -2 dBm</p> <p>Sensibilidad mínima del receptor OLT: -28 dBm</p> <p>Sobrecarga mínima del receptor OLT: -7 dBm</p>							

Figura A.7. Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbps en sentido ascendente

Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor ONU (interfaz óptica <math>O_{ru}</math>)</b>							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	2488,32			2488,32		
Longitud de onda de trabajo	nm	1260-1360			1260-1360		
Código de línea	–	NRZ pseudoaleatorizado			NRZ pseudoaleatorizado		
Plantilla del diagrama en ojo del transmisor	–	Figura 3			Figura 3		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	FFS			FFS		
Mínima ORL de la ODN en $O_{ru}$ y $O_{rd}$	dB	FFS			FFS		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Potencia media inyectada MÁX	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Potencia óptica inyectada sin entrada al transmisor	dBm	FFS			FFS		
Máxima activación del Tx (Nota 2)	bits	32			32		
Máxima desactivación del Tx (Nota 2)	bits	32			32		
Relación de extinción	dB	FFS			FFS		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	FFS			FFS		
Si el láser es MLM – Máxima anchura eficaz	nm	FFS			FFS		
Si el láser es SLM – Máxima anchura entre puntos de –20 dB	nm	FFS			FFS		
Si el láser es SLM– Mínima relación de supresión de modo lateral	dB	FFS			FFS		
Transferencia de fluctuación de fase	–	Figura 4			Figura 4		
Generación de fluctuación de fase (el intervalo de frecuencias de medición se encuentra en estudio)	UI p-p	FFS			FFS		
<b>Receptor OLT (interfaz óptica <math>O_{lu}</math>)</b>							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	FFS			FFS		
Tasa de errores en los bits	–	FFS			FFS		
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Sobrecarga mínima	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	FFS			FFS		
Tolerancia a la fluctuación de fase	–	FFS			FFS		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	FFS			FFS		
NOTA 1 – FFS = "en estudio" ( <i>for further study</i> )							
NOTA 2 – Definida en 8.2.6.3.1.							



Elementos	Unidad	Fibra única			Fibra doble		
<b>Transmisor ONU (interfaz óptica O<sub>ru</sub>)</b>							
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Potencia media inyectada MÍN	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Potencia media inyectada MÁX	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
<b>Receptor OLT (interfaz óptica O<sub>m</sub>)</b>							
Clase de ODN		A	B	C	A	B	C
Sensibilidad mínima	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
Sobrecarga mínima	dBm	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS	FFS
<p>NOTA – En este cuadro se indican únicamente los parámetros del cuadro 2g-1 que se modifican por aplicación del mecanismo de nivelación de potencia en el transmisor ONU, concretamente las potencias inyectadas del transmisor ONU y la sensibilidad y sobrecarga del receptor OLT. Los demás parámetros y notas son idénticos a los del cuadro 2g-1.</p>							

## ANEXO B. Parámetros de la capa dependiente del medio físico – XGS-PON

Figura B.1. Parámetros de la capa dependiente del medio físico de la ODN

Item	Unit	Specification
Fibre type (Note)	–	[ITU-T G.652] or compatible
Attenuation range (as defined in clause B.6.1)	dB	B+ class: 13-28 C+ class: 17-32
		N1 class: 14-29 N2 class: 16-31 E1 class: 18-33 E2 class: 20-35
Maximum fibre distance between S/R and R/S points	km	DD20: 20
Minimum fibre distance between S/R and R/S points	km	0
Bidirectional transmission	–	1-fibre WDM
Maintenance wavelength	nm	[ITU-T L.66]
NOTE – See clause B.9.2.3.1		

Figura B.2. Parámetros de la interfaz óptica a 9.95328 Gbps en sentido descendente

Item	Unit	Value			
<b>OLT transmitter (optical interface Old)</b>					
Nominal line rate	Gbit/s	9.95328			
Operating wavelength (Note 1)	nm	1 575-1 580			
Line code	-	Scrambled NRZ			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause B.9.2.7.6.1			
Maximum reflectance of equipment at S/R, measured at transmitter wavelength	dB	NA			
Minimum ORL of ODN at $O_{in}$ and $O_{id}$ (Notes 2 and 3)	dB	More than 32			
ODN class		N1	N2	E1	E2
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+4.0	+6.0	FFS
Mean launched power MAX	dBm	+5.0	+7.0	+9.0	FFS
Launched optical power without input to the transmitter	dBm	NA			
Minimum extinction ratio	dB	8.2			
Transmitter tolerance to reflected optical power (Note 7)	dB	More than -15			
Dispersion range	ps/nm	0-400			
Minimum side mode suppression ratio	dB	30			
Maximum differential optical path loss	dB	15			
Jitter generation	-	See clause B.9.2.9.7.3			
<b>ONU receiver (optical interface Ora)</b>					
Maximum optical path penalty (Note 6)	dB	1.0			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at receiver wavelength	dB	Less than -20			
Bit error ratio reference level	-	10 <sup>-3</sup> (Note 4)			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Minimum sensitivity at BER reference level (Note 5)	dBm	-28.0	-28.0	-28.0	FFS
Minimum overload at BER reference level	dBm	-9.0	-9.0	-9.0	FFS
Consecutive identical digit immunity	bit	more than 72			
Jitter tolerance	-	See clause B.9.2.9.7.2			
Receiver tolerance to reflected optical power (Note 8)	dB	less than 10			
<p>NOTE 1 – In the case of outdoor OLT deployment, it is allowed for the operating wavelength to span between 1 575 – 1 581 nm.</p> <p>NOTE 2 – There are optional cases where the "minimum ORL of ODN at Olu and Old" can be as low as 20 dB. (see Appendix I of [ITU-T G.983.1])</p> <p>NOTE 3 – The value of ONU transceiver reflectance corresponding to the "minimum ORL of ODN at Olu and Old" is -20 dB. (see Appendix II of [ITU-T G.983.1])</p> <p>NOTE 4 – See clause 9.4.1 of [ITU-T G.Sup39] for additional details.</p> <p>NOTE 5 – This sensitivity shall be met in the presence of G-PON and video overlay on the same ODN. If either G-PON, or video overlay or both of them are absent, the sensitivity may be different (precise value is for further study).</p> <p>NOTE 6 – If a transmitter exhibits a higher penalty than specified, it can still comply if it equally increases the minimum launch power to compensate for extra optical path penalty (OPP), while remaining under the maximum launch power. In no case should the OPP exceed 2 dB.</p> <p>NOTE 7 – Parameter known in [ITU-T G.984.2] as "Tolerance to the transmitter incident light power"</p> <p>NOTE 8 – Parameter known in [ITU-T G.984.2] as "Tolerance to the reflected optical power"</p>					

Figura B.3. Parámetros de la interfaz óptica a 9.95328 Mbps en sentido ascendente

Item	Unit	Value			
<b>ONU transmitter (optical interface O<sub>1a</sub>)</b>					
Nominal line rate	Gbit/s	9.95328			
Operating wavelength band	nm	1 260-1 280			
Line code	-	Scrambled NRZ			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause B.9.2.7.6.2			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at transmitter wavelength	dB	-10			
Minimum ORL of ODN at O <sub>m</sub> and O <sub>1a</sub> (Note 1)	dB	More than 32			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Mean launch power minimum (at R/S) (Note 2)	dBm	+4.0	+4.0	+4.0	FFS
Mean launch power maximum (at R/S)	dBm	+9.0	+9.0	+9.0	FFS
Maximum transmitter enable transient time (Note 3)	bits (nsec)	1 280 (~128.6)			
Maximum transmitter disable transient time (Note 3)	bits (nsec)	1 280 (~128.6)			
Minimum extinction ratio (Note 2)	dB	6.0			
Tolerance to reflected optical power (Note 4)	dB	More than -15			
Dispersion Range	ps/nm	0 to -140			
Minimum side mode suppression ratio	dB	30			
Launched optical power without input to the transmitter (Note 3)	dBm	-45			
Jitter transfer	-	See clause B.9.2.9.7.1			
Jitter generation	-	See clause B.9.2.9.7.3			
<b>OLT receiver (optical interface O<sub>1b</sub>)</b>					
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Maximum optical path penalty	dB	1.0	1.0	1.0	FFS
Maximum reflectance of equipment at S/R, measured at receiver wavelength	dB	-12			
Bit error ratio reference level	-	10 <sup>-3</sup> (Note 5)			
ODN class		N1	N2	E1	E2
Sensitivity (at S/R) (Note 6)	dBm	-26.0	-28.0	-30.0	FFS
Overload (at S/R)	dBm	-5.0	-7.0	-9.0	FFS
Consecutive identical digit immunity	bit	72			
Jitter tolerance	-	See clause B.9.2.9.7.2			
NOTE 1 – There are optional cases where the "minimum ORL of ODN at O <sub>m</sub> and O <sub>1a</sub> " can be as low as 20 dB. (see Appendix I of [ITU-T G.983.1]).					
NOTE 2 – The minimum average launch power and the minimum ER are consistent with a minimum OMA of 4.78 dBm. (See Figure I.1.1 of Appendix I for details).					
NOTE 3 – As defined in clause B.9.2.7.3.1. The values in nanoseconds are informative.					
NOTE 4 – Parameter known in [ITU-T G.984.2] as "Tolerance to the transmitter incident light power".					
NOTE 5 – See clause 9.4.1 of [ITU-T G.Sup39] for additional details.					
NOTE 6 – The sensitivity is based on ER = 6.0 dB received signal.					

## ANEXO C. Parámetros de las longitudes de onda en GPON

Figura C.1. Parámetros de las longitudes de onda en GPON

Table 2/G.983.3 – Parameters for wavelength allocation in Figure 5

Items	Notation	Unit	Nominal value	Application examples
1.3 $\mu\text{m}$ wavelength band				For use in ATM-PON upstream.
Lower limit	–	nm	1260	
Upper limit	–	nm	1360	
Intermediate wavelength band				For future use – Reserved band including guardbands for allocation by ITU-T.
Lower limit	–	nm	1360	
Upper limit	$\lambda_1$	nm	1480	
Basic Band				For use in ATM-PON downstream.
Lower limit	$\lambda_1$	nm	1480	
Upper limit	$\lambda_2$	nm	1500	
Enhancement Band (Option 1)				For additional digital service use.
Lower limit	$\lambda_3$	nm	1539	
Upper limit	$\lambda_4$	nm	1565	
Enhancement Band (Option 2)				For video distribution service.
Lower limit	$\lambda_3$	nm	1550	
Upper limit	$\lambda_4$	nm	1560	
Future L Band				For future use – Reserved band for allocation by ITU-T.
Lower limit	$\lambda_5$	nm	For further study	
Upper limit	$\lambda_6$	nm		
NOTE 1 – The central frequencies in the Enhancement Band for DWDM application shall be based on the frequency grid given in ITU-T G.959.1 and G.692.				
NOTE 2 – The value of isolation between the Basic Band signal and the Enhancement Band signal is not decided uniquely, because system configuration varies by regulations, service strategy, and geographic conditions as well as offered services in the Enhancement Band. Here, isolation should be interpreted as both the ratio of leaked Basic Band signal to E-ONU or E-OLT from Basic Band signal and the ratio of leaked Enhancement Band signal to ONU or OLT from Enhancement Band signal at WF1 or WF2. Both types of isolation should be defined separately. Common use of WDM filters is expected for cost reduction through large volume production. The isolation examples required in typical cases are described in Appendix III.				
NOTE 3 – Isolation value recommended for between the Basic Band signal and the Enhancement Band signals (Option 1) is for further study.				
NOTE 4 – Isolation value recommended for between the Basic Band signal and the Enhancement Band signals (Option 2) is for further study.				
NOTE 5 – Applied filter has appropriate loss characteristics to achieve required isolation. However, loss characteristics outside the 1480-1580 nm range (e.g. in the future L Band) is for further study.				

## **ORDEN DE EMPASTADO**