

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS REDES DE ACCESO
DE NUEVA GENERACIÓN**

**ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO DE LAS REDES DE ACCESO
XGS-PON VERSUS NG-PON2**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
TELECOMUNICACIONES**

BRYAN ALEXANDER CELI IZQUIERDO

bryan.celi01@epn.edu.ec

DIRECTORA: M.Sc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ

maria.jimenez@epn.edu.ec

DMQ, febrero 2022

CERTIFICACIONES

Yo, Bryan Alexander Celi Izquierdo declaro que el trabajo de integración curricular 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.



BRYAN ALEXANDER CELI IZQUIERDO

Certifico que el presente trabajo de integración curricular fue desarrollado por Bryan Alexander Celi Izquierdo, bajo mi supervisión.

M.Sc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ J
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, Análisis técnico comparativo de las redes de acceso XGS-PON versus NG-PON2, es público y estará a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

BRYAN ALEXANDER CELI IZQUIERDO

M.Sc. MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ

DEDICATORIA

Dedico este trabajo principalmente a mi tía Marcia Celi quien ha sido mi segunda madre y la cual me ha apoyado durante toda mi vida para poder cumplir mis metas y lograr culminar mis estudios. También dedico este trabajo a mi tío Wilson y a mi primo Andrés los cuales han estado siempre ahí apoyándome en cualquier cosa que he necesitado.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a toda mi familia que creyó en mí, también agradezco a los maestros que me han brindado sus conocimientos y me han guiado para poder llegar hasta aquí y a todos los amigos que sirvieron de apoyo a lo largo de mi carrera.

Un agradecimiento especial a mi tutora, María Soledad Jiménez por haberme impulsado a desarrollar este tema y guiarme con su sabiduría y conocimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIONES.....	I
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTO	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	V
RESUMEN.....	IX
ABSTRACT	X
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.3 ALCANCE	2
1.4 MARCO TEÓRICO	3
1.4.1 REDES DE ACCESO ÓPTICAS PASIVAS.....	3
1.4.1.1 Arquitectura y componentes de las redes ópticas pasivas.....	4
1.4.1.2 Funcionamiento de la red óptica pasiva.....	5
1.4.1.3 Tipos de redes PON	6
1.4.2 RED ÓPTICA PASIVA CON CAPACIDAD DE GIGABIT (G-PON).....	7
1.4.2.1 Arquitectura y funcionamiento de G-PON.....	7
1.4.2.2 Longitud de onda de operación de G-PON.....	8
1.4.2.3 Servicios de G-PON.....	9
1.4.2.4 Relación de división de los splitters y clases de ODN para G-PON.....	9
1.4.2.5 Velocidades de transmisión de G-PON.....	10
2 METODOLOGÍA.....	11
2.1 XGS-PON.....	11
2.1.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE XGS-PON.....	11
2.1.1.1 Arquitectura y funcionamiento de XGS-PON.....	12
2.1.1.2 Rango de longitudes de onda de operación para XGS-PON	12
2.1.1.3 Requerimientos de servicio para XGS-PON	13
2.1.1.3.1 Interfaz de usuario de red (UNI) e interfaz de nodo de servicio (SNI) para XGS-PON.....	14
2.1.1.4 Requerimientos de la capa física para XGS-PON	15

2.1.1.4.1	Características de la fibra para XGS-PON	15
2.1.1.4.2	Velocidades de transmisión de XGS-PON	15
2.1.1.4.3	Relación de división de los splitters para XGS-PON	15
2.1.1.4.4	Alcance de XGS-PON	16
2.1.1.5	Requisitos del sistema de XGS-PON	16
2.1.1.5.1	Ahorro y eficiencia energética en XGS-PON	16
2.1.1.5.2	Resistencia y protección en la ODN de XGS-PON	17
2.1.1.5.3	Autenticación, identificación y cifrado en XGS-PON	17
2.1.1.5.4	Asignación dinámica del ancho de banda en XGS-PON	18
2.1.1.5.5	Seguridad ocular en XGS-PON	18
2.1.2	<i>ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PMD DE XGS-PON</i>	18
2.1.2.1	Arquitectura de la ODN para XGS-PON	19
2.1.2.2	Clases de ODN para XGS-PON	20
2.1.2.3	Requisitos de la red óptica para XGS-PON	20
2.1.2.3.1	Velocidad y codificación de línea para XGS-PON	20
2.1.2.3.2	Niveles de potencia de XGS-PON	20
2.1.3	<i>ESCENARIOS DE COEXISTENCIA DE XGS-PON CON GENERACIONES ANTERIORES</i>	22
2.1.3.1	XG-PON	22
2.1.3.1.1	Longitud de onda de operación de XG-PON	22
2.1.3.1.2	Velocidades nominales de transmisión de XG-PON	22
2.1.3.1.3	Clases de ODN para XG-PON	22
2.1.3.2	Escenario de coexistencia de G-PON, XGS-PON y video RF	24
2.1.3.3	Escenario de coexistencia de XGS-PON, XG-PON y video RF	24
2.1.3.4	Escenario de coexistencia de XG-PON y XGS-PON	25
2.1.3.5	Escenario de coexistencia de XGS-PON, XG-PON, GPON y video RF ..	26
2.1.4	<i>ESCENARIOS DE MIGRACIÓN DE XGS-PON</i>	27
2.1.4.1	Escenario Brownfield	27
2.1.4.2	Escenario Greenfield	27
2.1.5	<i>BENEFICIOS DE XGS-PON</i>	28
2.2	NG-PON2	29
2.2.1	<i>REQUISITOS GENERALES DE NG-PON2</i>	29
2.2.1.1	Arquitectura y funcionamiento de NG-PON2	29
2.2.1.1.1	PtP WDM PON	30
2.2.1.1.2	TWDM PON	30
2.2.1.2	Requisitos de servicio para NG-PON2	32

2.2.1.3	Requisitos de la capa física para NG-PON2.....	33
2.2.1.3.1	Características de la fibra para NG-PON2	33
2.2.1.3.2	Capacidad (por red feeder y por usuario) de NG-PON2.....	33
2.2.1.3.3	Alcance de la fibra para NG-PON2.....	33
2.2.1.3.4	Relación de división de los splitters para NG-PON2.....	33
2.2.1.4	Requisitos de sistema para NG-PON2.....	33
2.2.1.4.1	ONU incoloras (Colorless)	34
2.2.1.4.2	Flexibilidad espectral.....	34
2.2.1.4.3	Ahorro de energía en NG-PON2	34
2.2.1.4.4	Requisitos de resistencia y redundancia para NG-PON2.....	35
2.2.1.4.5	Seguridad y DBA en NG-PON2	35
2.2.1.4.6	Seguridad ocular en NG-PON2	35
2.2.2	<i>ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PMD DE NG-PON2</i>	36
2.2.2.1	Arquitectura de la ODN para NG-PON2.....	36
2.2.2.2	Clases de ODN para NG-PON2	37
2.2.2.3	Requisitos de la red óptica para NG-PON2	37
2.2.2.3.1	Plan de longitudes de onda para NG-PON2	37
2.2.2.3.2	Características sintonizables para el transmisor y el receptor.....	38
2.2.2.4	Requisitos de la capa PMD para la opción TWDM de NG-PON2	38
2.2.2.4.1	Velocidad y codificación de línea para TWDM PON	38
2.2.2.4.2	Niveles de potencia de TWDM para el enlace de bajada	39
2.2.2.4.3	Niveles de potencia de TWDM para el enlace de subida	40
2.2.3	<i>ESCENARIOS DE COEXISTENCIA DE NG-PON2 CON GENERACIONES ANTERIORES</i>	42
2.2.4	<i>ESCENARIOS DE MIGRACIÓN DE NG-PON2</i>	44
2.2.5	<i>BENEFICIOS DE NG-PON2</i>	44
3	RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	46
3.1	RESULTADOS.....	46
3.1.1	<i>ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRES LAS REDES DE ACCESO XGS-PON Y NG-PON2</i>	46
3.1.1.1	Comparación de arquitectura y funcionamiento.....	46
3.1.1.2	Comparación de velocidades de transmisión	47
3.1.1.3	Comparación de alcance	47
3.1.1.4	Comparación de longitudes de onda de operación	47
3.1.1.5	Comparación de características de la fibra óptica	48

3.1.1.6	Comparación de relación de división de los splitters	48
3.1.1.7	Comparación de servicios soportados	49
3.1.1.8	Comparación de requisitos de sistema	49
3.1.1.9	Comparación de niveles de potencia de la OLT y la ONU	50
3.1.1.10	Comparación de clases de ODN	51
3.1.1.11	Comparación de escenarios de migración y de coexistencia.....	51
3.2	CONCLUSIONES	52
3.3	RECOMENDACIONES.....	53
4	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55
5	ANEXOS	59
	ANEXO I. ATRIBUTOS DEL ESTÁNDAR ITU-T G.652.D	60
	ANEXO II. ATRIBUTOS DEL ESTÁNDAR ITU-T G.657.A	61
	ANEXO III. PARÁMETROS DE XGS-PON PARA LA VELOCIDAD DE 9.95328 GBITS/S PARA EL ENLACE DE BAJADA.....	62
	ANEXO IV. PARÁMETROS DE XGS-PON PARA LA VELOCIDAD DE 9.95328 GBITS/S PARA EL ENLACE DE SUBIDA	63
	ANEXO V. PARÁMETROS DE NG-PON2 PARA LA VELOCIDAD DE 2.48832 GBITS/S PARA EL ENLACE DE BAJADA.....	64
	ANEXO VI. PARÁMETROS DE NG-PON2 PARA LA VELOCIDAD DE 9.95328 GBITS/S PARA EL ENLACE DE BAJADA.....	65
	ANEXO VII. PARÁMETROS DE NG-PON2 PARA LA VELOCIDAD DE 2.48832 GBITS/S PARA EL ENLACE DE SUBIDA	66
	ANEXO VIII. PARÁMETROS DE NG-PON2 PARA LA VELOCIDAD DE 9.95328 GBITS/S PARA EL ENLACE DE SUBIDA	68

RESUMEN

El presente trabajo de integración curricular tiene como finalidad realizar un análisis técnico comparativo entre dos redes de acceso de fibra óptica de nueva generación como son XGS-PON y NG-PON2. Este trabajo consta de tres capítulos.

En el primer capítulo se realiza esencialmente una descripción de las redes ópticas pasivas con un breve análisis de G-PON.

En el segundo capítulo se desarrolla un análisis técnico de las tecnologías XGS-PON y NG-PON2. Este análisis está orientado a requisitos generales, especificaciones de la capa dependiente del medio físico, coexistencia con generaciones anteriores, escenarios de migración y beneficios de cada una de las redes de acceso.

En el tercer capítulo se procede a comparar las dos tecnologías de redes de acceso bajo ciertos parámetros técnicos como: arquitecturas, funcionamiento, velocidades de transmisión, alcance, longitudes de onda de operación, características de la fibra óptica, relación de división de los splitters, entre otros parámetros; para así determinar semejanzas y diferencias entre ellas. Además, se presentan las respectivas conclusiones y recomendaciones del análisis técnico realizado.

PALABRAS CLAVE: XGS-PON, NG-PON2, capa PMD, coexistencia, migración.

ABSTRACT

The purpose of this curricular integration work is to carry out a comparative technical analysis between two new generation fiber optic access networks such as XGS-PON and NG-PON2. This work consists of three chapters.

The first chapter is essentially a description of passive optical networks with a brief analysis of G-PON.

In the second chapter, a technical analysis of XGS-PON and NG-PON2 technologies is developed. This analysis is oriented to general requirements, specifications of the physical medium dependent layer, coexistence with previous generations, migration scenarios and benefits of each of the access networks.

The third chapter compares the two access network technologies under certain technical parameters such as: architectures, operation, transmission speeds, range, operating wavelengths, optical fiber characteristics, splitters division ratio, among other parameters, in order to determine similarities and differences between them. In addition, the respective conclusions and recommendations of the technical analysis are presented.

KEYWORDS: XGS-PON, NG-PON2, PMD layer, coexistence, migration.

1 INTRODUCCIÓN

La demanda de velocidad de conexión y ancho de banda ha ido creciendo a través de los años ya que cada vez se desarrollan nuevas tecnologías que requieren un mayor ancho de banda, además existen un número mayor de usuarios que logran acceder al Internet, por lo tanto, requieren una mayor velocidad de conexión para experimentar una mejor experiencia en sus actividades. Los servicios como videoconferencias, televisión en alta definición, almacenamiento en la nube, videojuegos, realidad virtual, entre otros, han ido ganando popularidad, lo que hace que las velocidades de entrega también deban ser relevantes, además el surgimiento de nuevas tecnologías como la red 5G, IoT (*Internet of Things*) o M2M (*Machine to Machine*) implicarán un aumento significativo en el tráfico de la red a futuro. En la actualidad, una razón del incremento del tráfico en la red sin duda alguna son los dispositivos de video; el impacto de video de los dispositivos sobre el tráfico se nota más debido a la llegada de la tecnología 4K o Ultra HD. Esta tecnología tiene tal impacto porque la tasa de bits de video 4K es de alrededor de 15-18 Mbits/s, que es un poco más del doble de la tasa de bits de video HD [1]. La empresa de telecomunicaciones Cisco predice que para 2023, casi dos tercios de la población alrededor del mundo podrá acceder a Internet, y que la cantidad de dispositivos conectados a una red IP será más de tres veces la población mundial en el mismo año. Además, para el 2023 el 66% de los televisores instalados en pantalla serán UHD (4K) [1].

Para afrontar todos estos problemas del incremento del tráfico en la red, la ITU (*International Telecommunication Union*), desarrolló dos estándares para redes de acceso PON (*Passive Optical Network*) en los años 2015 y 2016 respectivamente, que pueden cumplir perfectamente con las demandas antes mencionadas, los cuales son: NG-PON2 y XGS-PON. El estándar ITU-T G.9807.x define la red de acceso XGS-PON y se divide en dos recomendaciones. La recomendación ITU-T G.9807.1 incluye: definiciones comunes, acrónimos, abreviaturas, convenciones, requisitos generales, requisitos de la capa PMD (*Physical Medium Dependent*) y requisitos de la capa TC (*Transmission Convergence*) del sistema XGS-PON, mientras que la recomendación ITU-T G.9807.2 incluye la extensión de alcance para XGS-PON. Por otro lado, el estándar ITU-T G.989.x define la red de acceso NG-PON2 y se divide en tres recomendaciones, las cuales contienen: requisitos generales (ITU-T G.989.1), especificaciones de la capa PMD (ITU-T G.989.2) y especificaciones de la capa TC (ITU-T G.989.3) del sistema NG-PON2.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Comparar las redes de acceso XGS-PON y NG-PON2 mediante la realización de un análisis técnico de estas dos tecnologías.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Analizar conceptos básicos de las redes de acceso ópticas pasivas con un enfoque general en G-PON.
2. Detallar los requisitos generales y especificaciones de la capa dependiente del medio físico tanto de XGS-PON como de NG-PON2.
3. Determinar las posibilidades de coexistencia, escenarios de migración y beneficios de cada una de las redes de acceso en cuestión desde el aspecto técnico.
4. Analizar comparativamente las dos tecnologías PON respecto de: arquitecturas, funcionamiento, velocidades de transmisión, alcances, longitudes de onda de operación, entre otros parámetros.

1.3 ALCANCE

En el desarrollo de este trabajo de integración curricular se busca realizar la comparación entre las dos clases de redes de acceso como son NG-PON2 y XGS-PON. Para el efecto, se realiza una breve descripción de lo que son las redes acceso. Además, se detalla las características y funcionamiento de las redes ópticas pasivas, con un breve análisis de la tecnología G-PON.

Posteriormente, se realiza un análisis técnico de las tecnologías: XGS-PON y NG-PON2. Este análisis contiene los requisitos generales de cada una de las tecnologías dentro de los cuales se tiene: arquitectura y funcionamiento de las redes de acceso óptico, requisitos de servicios, requisitos de la capa física y requisitos de sistema. También incluye las especificaciones de la capa PMD como son: arquitectura de la ODN (*Optical Distribution Network*), clases de ODN y requisitos de la red óptica para las dos tecnologías. Cabe resaltar que dentro de la tecnología NG-PON2 solo se analiza los requisitos de la capa PMD TWDM (*Time Wavelength Division Multiplexing*) ya que es la opción de NG-PON2 que más se está desarrollando. Después, se estudia y describe los escenarios de migración y coexistencia, así como también los beneficios de ambas tecnologías.

Luego, se procede a comparar estas dos tecnologías en términos de: arquitecturas, funcionamiento, velocidades de transmisión, alcance, longitudes de onda de operación,

características de la fibra óptica, relación de división de los splitters, servicios soportados, requisitos de sistema, niveles de potencia, clases de ODN y escenarios de migración y coexistencia. Además, se presenta las respectivas conclusiones y recomendaciones del análisis técnico realizado.

En este Trabajo de Titulación no se incluye la capa TC (*Transmission Convergence*) de ambas tecnologías ni los requisitos de la capa PMD para PtP (*Point to Point*) WDM de NG-PON2 debido a las limitaciones de tiempo. Tampoco se realiza un diseño de las redes XGS-PON y NG-PON2, ni un estudio de factibilidad de su implementación en el país y no se genera un producto final demostrable.

1.4 MARCO TEÓRICO

Las redes de telecomunicaciones son las encargadas de que los usuarios puedan acceder a servicios como el transporte de información a grandes velocidades o tecnologías nuevas como el 5G o el internet de las cosas. Una red de telecomunicaciones se encuentra conformada por tres partes principales las cuales son: red de acceso, red core o principal y red de transporte. El tema de este trabajo de integración curricular está relacionado con las redes de acceso.

1.4.1 REDES DE ACCESO ÓPTICAS PASIVAS

Las redes de acceso son una de las partes más fundamentales de las redes de telecomunicaciones y representan el "último tramo" de estas, que van desde las instalaciones del proveedor de servicios hasta los hogares y las empresas.

Se tienen dos clasificaciones de redes acceso, las cuales son: redes de acceso por cable y redes de acceso inalámbricas. Las redes de acceso por cable vienen en varios tipos: redes basadas en cobre, redes basadas en fibra óptica y redes híbridas (cobre y fibra). Las redes que son de interés para el desarrollo de este trabajo son las redes de acceso basadas en fibra óptica.

Existe la necesidad de desarrollar nuevas redes de alta capacidad que respalden la gran demanda de ancho de banda y el aumento continuo del transporte de tráfico a través de Internet, video, telefonía, etc. La red de acceso de fibra óptica es un modelo de red que permite atender la creciente demanda y nuevas capacidades de transmisión solicitadas tanto por los usuarios como por los operadores de telecomunicaciones. Existen dos tipos de redes de fibra óptica los cuales son: Redes Ópticas Pasivas (PON, *Passive Optical Network*) y Redes Ópticas Activas (AON, *Active Optical Network*). En este trabajo de

integración curricular solo se aborda redes ópticas pasivas, ya que son las redes en las que se basan las tecnologías de nueva generación como XGS-PON y NG-PON2.

1.4.1.1 Arquitectura y componentes de las redes ópticas pasivas

La arquitectura de una red óptica pasiva utiliza una topología punto a multipunto como se observa en la Figura 1.1 y consta de tres unidades principales: OLT (*Optical Line Termination*), ONU (*Optical Network Unit*) y ODN (*Optical Distribution Network*). La OLT, situada en la oficina central, es la interfaz entre la red óptica pasiva y la red troncal. La OLT distribuye servicios como, por ejemplo: PSTN (Sistema Público de Teléfono, *Public Switched Telephone Network*), Internet, CATV (Televisión por Cable, *Community Antenna Television*), entre otros, a un número máximo de usuarios finales según la capacidad de la misma [2].

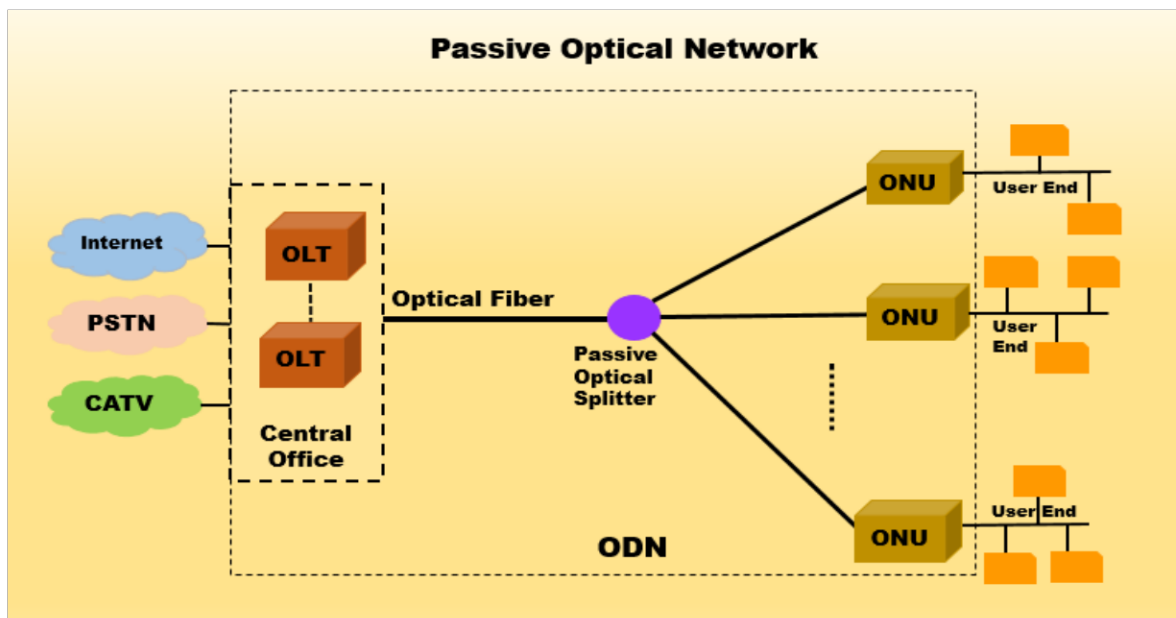


Figura 1.1. Arquitectura de la red óptica pasiva [2].

La ONU ubicada en el otro extremo de la red, proporciona una interfaz de servicio a los usuarios finales mientras que la ODN conecta la OLT y las ONU de los usuarios finales utilizando fibras ópticas y splitters ópticos pasivos. En la Figura 1.2 se puede observar los segmentos de una ODN, los cuales son: segmento feeder, segmento de distribución y segmento drop.

Los cables y los splitters de fibra óptica son los verdaderos bloques de construcción "pasivos" de una red PON porque no requieren una fuente de alimentación para su funcionamiento.

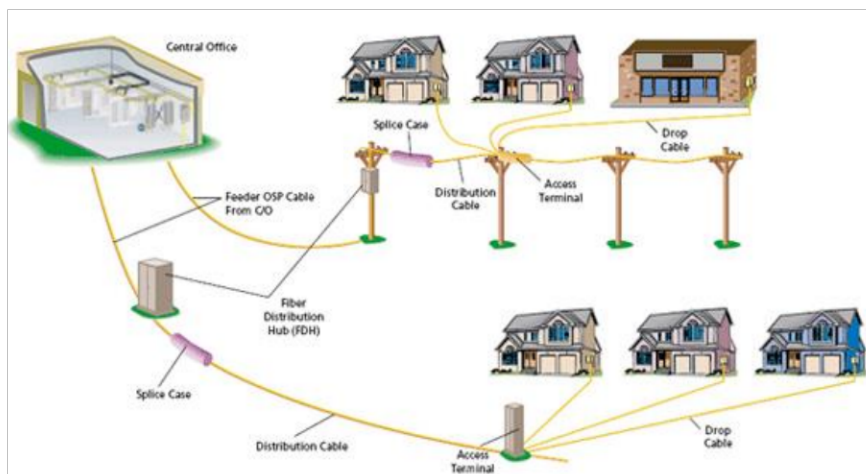


Figura 1.2. Segmentos de la ODN [3]

1.4.1.2 Funcionamiento de la red óptica pasiva

En una red óptica pasiva, la OLT se coloca en el extremo de la red. Un solo cable de fibra óptica va desde el OLT hacia un splitter o divisor óptico, que divide la señal y la transmite hacia muchas ONU. Los dispositivos de usuario final como PC, laptops, televisores o teléfonos están conectados a la ONU. Debido a que la función del splitter es la transmisión de uno a muchos del mismo flujo de datos, las ONU son las encargadas de filtrar los paquetes destinados a los diversos dispositivos de punto final conectados.

Además, dado que la red PON utiliza la misma fibra para enviar y recibir datos, el divisor óptico también actúa como combinador, el cual recibe tráfico de los dispositivos finales conectados. Para lograr esto, la red PON aprovecha dos tipos distintos de conceptos de multiplexación: división de longitud de onda y división de tiempo.

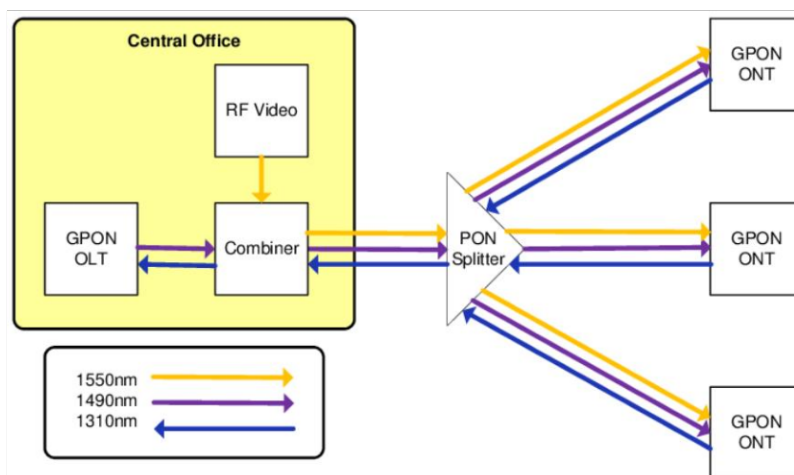


Figura 1.3. Ejemplo de funcionamiento de WDM en G-PON [4].

La multiplexación por división de longitud de onda (WDM) permite que en una red PON el tráfico de bajada se transporte en una longitud de onda y el tráfico de subida se transporte en otra longitud de onda por el mismo hilo de fibra. También ofrece la posibilidad de que se pueda transportar otro servicio como video RF en una longitud de onda diferente a las de subida y de bajada. En la Figura 1.3 podemos observar el funcionamiento de WDM en G-PON que en este caso se encuentra representado por el bloque “combiner”.

En cambio, la multiplexación por división de tiempo (TDM) permite que múltiples dispositivos finales transmitan y reciban señales independientes a través de una sola fibra al reservar espacios de tiempos en un flujo de datos. Por lo tanto, las redes PON utilizan TDM para el tráfico de bajada y acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) para el tráfico de subida. TDMA permite conectar múltiples transmisores de las distintas ONU a un receptor de la OLT. En la Figura 1.4 se puede observar el funcionamiento de TDM y TDMA en una red PON [5].

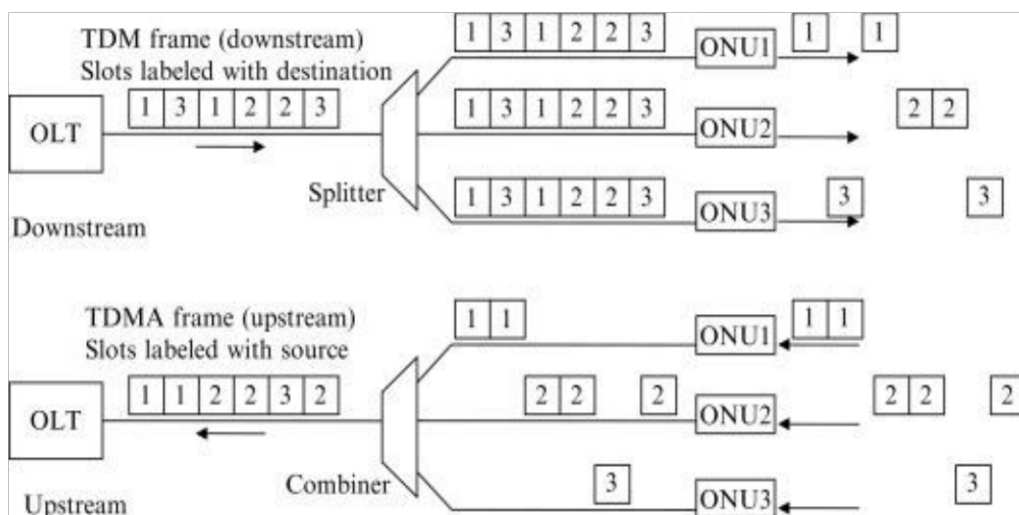


Figura 1.4. Funcionamiento de TDM y TDMA en una red PON [5].

1.4.1.3 Tipos de redes PON

Desde finales del siglo XX, las redes PON se ha desarrollado constantemente y han aparecido una serie de diferentes tecnologías de red PON. Los estándares originales para redes ópticas pasivas, como APON (*Asynchronous Transfer Mode PON*) y BPON (*Broadband PON*), dieron paso gradualmente a nuevas generaciones de redes PON que ofrecen mejoras en el ancho de banda y el rendimiento general. La Figura 1.5 muestra la evolución de la tecnología PON a lo largo de los años.

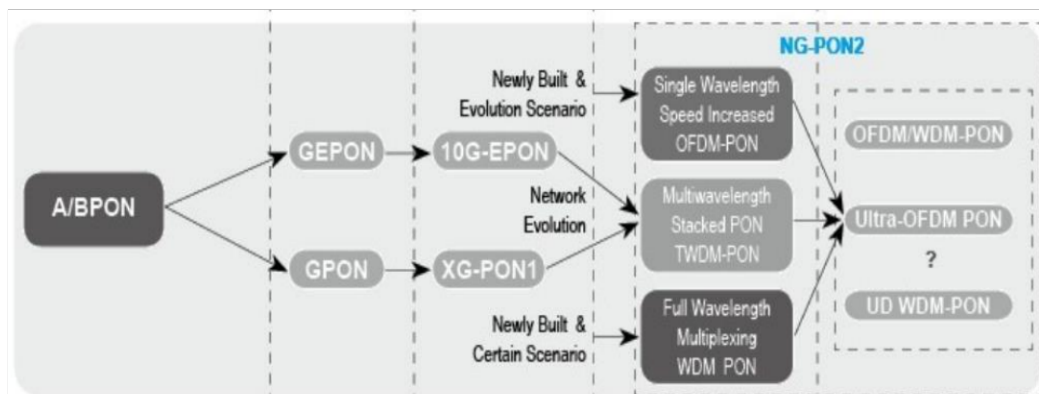


Figura 1.5. Evolución de las tecnologías PON [6].

Dentro de las tecnologías PON que se tiene, la que es de mayor interés para poder comprender las tecnologías de nueva generación, es G-PON, ya que es la tecnología que actualmente se encuentra desplegada en su mayoría alrededor del mundo. Por lo tanto, en este trabajo de integración curricular, se aborda de manera general algunas de las características más importantes de G-PON.

1.4.2 RED ÓPTICA PASIVA CON CAPACIDAD DE GIGABIT (G-PON)

La red óptica pasiva con capacidad de Gigabit (G-PON) está definida por las series de recomendaciones G.984.1 a G.984.7 de la ITU-T. La red G-PON tiene una capacidad mejorada con respecto a generaciones anteriores como APON y BPON, además es compatible con las mismas. La serie de normas G.984 define: las características generales de G-PON (G.984.1), así como la especificación de la capa PMD (G.984.2), la especificación de la capa TC (G.984.3), la especificación OMCI (*ONU Management and Control Interface*) (G.984.4), banda de longitudes de onda de ampliación (G.984.5), extensión de alcance (G.984.6) y largo alcance (G.984.7) [7].

1.4.2.1 Arquitectura y funcionamiento de G-PON

En la figura 1.5 se puede observar la arquitectura de referencia para G-PON, la cual está compuesta de una OLT que conecta varios ONU u ONT (*Optical Network Terminal*) mediante una ODN pasiva. Para su funcionamiento, G-PON utiliza WDM para transportar el tráfico de bajada en una longitud de onda y el tráfico de subida en otra por un mismo hilo de fibra. Además, la red G-PON utiliza TDM para transportar todo el tráfico de bajada y TDMA para el tráfico de subida [8].

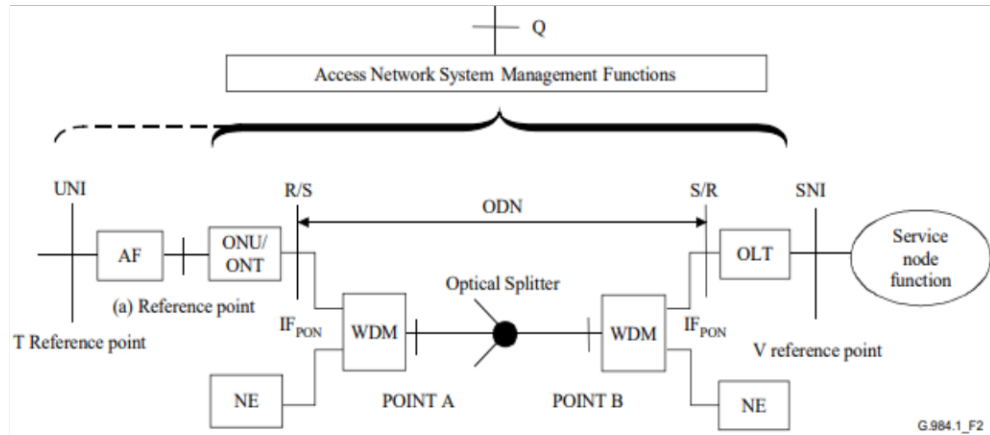


Figura 1.5. Configuración de referencia para G-PON [8].

El significado de algunos de los bloques observados en la Figura 1.5, se describe a continuación:

UNI: *User Network Interface.*- Interfaz de red de usuario.

AF: *Adaptation Function.*- Función de adaptación (se suele incluir en la ONU). Convierte la interfaz de suscriptor ONU/ONT en una interfaz UNI según lo requiera el operador, o convierte la interfaz UNI en la interfaz de suscriptor ONU/ONT.[8].

NE: *Network Element.*- Elemento de red que usa diferente longitud de onda que la OLT y la ONU. Un ejemplo de este elemento sería la adición de video RF en G-PON ya que se utiliza una longitud de onda diferente [8].

R: El punto de la fibra antes del punto de conexión óptica ONU (bajada)/OLT (subida).

SNI: *Service Network Interface.*- Interfaz de nodo de servicio.

S: El punto de la fibra después del punto de conexión óptica OLT (bajada)/ONU (subida)

1.4.2.2 Longitud de onda de operación de G-PON

El rango de longitud de onda operativa para el enlace de bajada en un sistema de una fibra es de 1480-1500 nm mientras que para un sistema de dos fibras es de 1260-1360 nm. Para el enlace de subida, el rango de longitud de onda operativa va desde 1260 hasta 1360 nm [8]. Además, en la recomendación ITU-T G.984.5 se especifica un rango de longitud de onda que va desde 1550 hasta 1560 nm, el cual se utiliza para la distribución de video RF sobre G-PON [9].

1.4.2.3 Servicios de G-PON

En la Tabla 1.1 se incluye ejemplos de servicios que deben ser soportados por G-PON y se realizan observaciones pertinentes a los servicios. Además, G-PON debe soportar todos los servicios ofrecidos por generaciones anteriores como A-PON o B-PON [8].

Tabla 1.1. Ejemplo de servicios soportados por G-PON [8]

Categoría de Servicio	Servicio	Observaciones
Servicio de Datos	Ethernet	Utilizado mayoritariamente para la transmisión de datos como IP, que incluye VoIP, flujos de video codificados por MPEG-2 o MPEG-4, etc.
PSTN	POTS (<i>Plain Old Telephone Service</i>)	Servicio telefónico tradicional
	ISDN (<i>Integrated Services Digital Network</i>) (BRI, <i>Basic Rate Interface</i>)	Velocidad del portador de 144 kbits/s.
	ISDN (PRI, <i>Primary Rate Interface</i>)	Velocidad del portador de 1.54 Mbits/s y 2.048 Mbits/s
Línea Privada	T1	Velocidad del portador de 1.544 Mbits/s
	E1	Velocidad del portador de 2.048 Mbits/s
	T3	Velocidad del portador de 44.736 Mbits/s
	E3	Velocidad del portador de 34.368 Mbits/s
Video	Video Digital	Enfocado principalmente al video sobre IP
	RF	Sobre la longitud de onda de 1550 nm

1.4.2.4 Relación de división de los splitters y clases de ODN para G-PON

G-PON usa una relación de división máxima de los splitters de 1:128 pero la implementación más común es de 1:64 [10].

Las clases de ODN recomendadas para G-PON se observan en la Tabla 1.3.

Tabla 1.3. Clases de ODN para G-PON [10].

	Unidades	Clase A	Clase B	Clase B+	Clase C	Clase C+
Pérdida mínima en la ODN	dB	5	10	13	15	17
Pérdida máxima en la ODN	dB	20	25	28	30	32

Dentro de las pérdidas en la ODN se incluye por lo general: atenuación de la fibra óptica por kilómetro, atenuación debido al splitter óptico, las atenuaciones debido a empalmes, fusiones, conectores y un margen de seguridad.

1.4.2.5 Velocidades de transmisión de G-PON

Esencialmente, G-PON está dirigido principalmente a velocidades de transmisión de 1,2 Gbits/s o más. Sin embargo, también tiene diferentes opciones de velocidad como se muestra en la Tabla 1.2.

Tabla 1.2. Velocidades de transmisión para G-PON [10].

Opción	Unidades	Enlace de Bajada	Enlace de subida
1	Mbits/s	1244.16	155.52
2	Mbits/s	1244.16	622.08
3	Mbits/s	1244.16	1244.16
4	Mbits/s	2448.32	155.52
5	Mbits/s	2448.32	622.08
6	Mbits/s	2448.32	1244.16
7	Mbits/s	2448.32	2448.32

2 METODOLOGÍA

El presente trabajo se desarrolla en base a la utilización de una combinación del método analítico y descriptivo debido a que se realiza un estudio, análisis y descripción de los requisitos generales, las especificaciones de la capa PMD y los escenarios de migración de XGS-PON y NG-PON2. También, se realiza el estudio, análisis y descripción de la coexistencia tanto de XGS-PON como NG-PON2 con generaciones anteriores y se incluye los beneficios de cada tecnología.

Además, se utiliza el análisis documental, ya que la información que se emplea en este trabajo de integración curricular proviene principalmente de los estándares realizados por la ITU-T para XGS-PON y NG-PON2, así como de libros, tesis, revistas, papers, páginas web de diferentes autores cuya finalidad común es la búsqueda e investigación sobre las redes de acceso XGS-PON y NG-PON2.

Finalmente, se utiliza la elaboración de tablas para el análisis de información y la comparación de parámetros como: velocidades de transmisión, alcance, longitudes de onda de operación, características de la fibra óptica, relación de división de splitters, niveles de potencia y clases de ODN.

2.1 XGS-PON

Las siglas de XGS-PON tienen el siguiente significado: “X” por 10, “G” por Gigabit y “S” por simétrico. Entonces, lo que se tiene es una red PON simétrica con capacidad de 10 Gbits/s. Esta red de acceso de nueva generación fue motivada básicamente por la necesidad de negocios, empresas, hospitales, universidades, entre otros, los cuales tienen altas demandas de ancho de banda simétrico por los trabajos de laboratorio, videos, teletrabajo, telemedicina, teleeducación, etc., que realizan.

A continuación, se habla acerca de los requerimientos generales de XGS-PON, las especificaciones de la capa PMD de XGS-PON, los escenarios de migración y coexistencia de XGS-PON con generaciones anteriores y los beneficios de XGS-PON.

2.1.1 REQUERIMIENTOS GENERALES DE XGS-PON

Dentro de los requisitos generales de XGS-PON, se aborda su arquitectura, funcionamiento, rango de longitudes de onda de operación, requisitos de servicios, requisitos de capa física y requisitos de sistema.

2.1.1.1 Arquitectura y funcionamiento de XGS-PON

El sistema XGS-PON funciona sobre una arquitectura de acceso óptico punto a multipunto y está compuesto por una OLT que se conecta a las ONU/ONT a través de la ODN. En la Figura 2.1 se observa una configuración de referencia simple de XGS-PON, la cual es muy similar a las configuraciones de XG-PON y G-PON descritas en los estándares ITU-T G.987.1 y ITU-T G.984.1 respectivamente.

En XGS-PON, la señal se transmite tanto en sentido ascendente como descendente a través de una única fibra y se realiza una transmisión bidireccional mediante la utilización de la técnica WDM. Todo el tráfico de subida de XGS-PON se transmite mediante la utilización de TDMA mientras que el tráfico de bajada se transmite mediante TDM [11].

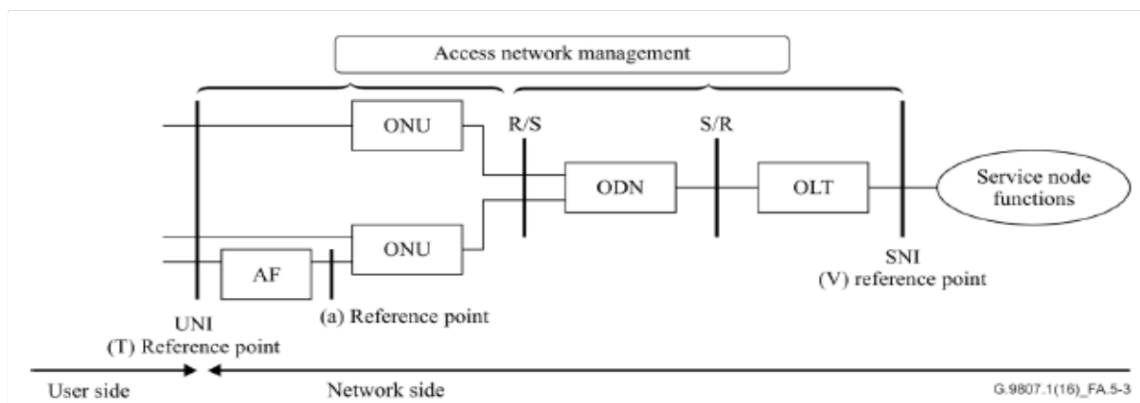


Figura 2.1. Configuración de referencia simple de XGS-PON [11].

Los puntos T y V en la Figura 2.1 hacen referencia al lado del suscriptor y al lado del proveedor de servicios respectivamente.

Además, cuando se despliega XGS-PON con un servicio de video RF superpuesto, la ODN puede utilizar un dispositivo WDM o un acoplador/distribuidor óptico selectivo a la longitud de onda para combinar las señales de vídeo XGS-PON y RF [11].

2.1.1.2 Rango de longitudes de onda de operación para XGS-PON

Los sistemas XGS-PON tienen dos opciones de longitud de onda de operación, como se muestra a continuación:

- Conjunto básico de longitud de onda: Consiste en reutilizar las longitudes de onda de XG-PON, es decir para el enlace descendente se utiliza el rango de 1575-1580 nm (longitud de onda central 1577 nm) y para el enlace ascendente se utiliza el rango de 1260-1280 nm (longitud de onda central 1270 nm) [11].

- Conjunto opcional de longitud de onda: Consiste en reutilizar las longitudes de onda de G-PON, es decir para el enlace descendente se utiliza el rango de 1480-1500 nm (longitud de onda central 1490 nm) y para el enlace ascendente se utiliza el rango de 1300-1320 nm (longitud de onda central 1310 nm) [11].

2.1.1.3 Requerimientos de servicio para XGS-PON

XGS-PON, al ser una red de nueva generación debe soportar plenamente varios servicios para abonados residenciales, clientes empresariales y el backhaul móvil debido a su alta velocidad de transmisión. En la Tabla 2.1 se resume algunos de los servicios ofrecidos por XGS-PON.

Adicionalmente, XGS-PON debe soportar otros requerimientos como:

- Tolerancia máxima del retardo de transferencia de la señal: Se debe tener un retardo máximo de 1.5 milisegundos entre los puntos T y V de la Figura 2.1 para dar soporte a servicios que requieren este retardo máximo [11].
- Tamaño máximo de los paquetes Ethernet: Debe soportar tramas Ethernet con longitudes entre 2000-9000 bytes para mejorar la eficiencia de transmisión de los datos [11].
- Interfaz de usuario de red (UNI) e interfaz de nodo de servicio (SNI) para ofrecer los servicios mencionados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Ejemplos de servicios ofrecidos por XGS-PON [11].

No.	Servicio	
1	Telefonía	VoIP
2		POTS
3	TV en tiempo real	IPTV
		Video RF
4	Línea dedicada	E1
5		T1
6	Internet de alta velocidad	
7	Red troncal de telefonía móvil	
9	Servicios L2 VPN	
9	Servicios IP	

Cómo se puede observar en la Tabla 2.1, XGS-PON tiene una variedad de servicios y puede soportar todos los servicios que se venían ofreciendo en las generaciones anteriores como por ejemplo G-PON.

2.1.1.3.1 Interfaz de usuario de red (UNI) e interfaz de nodo de servicio (SNI) para XGS-PON

En las Tablas 2.2 y 2.3 se observan ejemplos de UNI y SNI respectivamente soportados por XGS-PON.

Tabla 2.2. Ejemplos de UNI y servicios soportados por XGS-PON [11].

UNI	Interfaz física	Servicio de Conectividad
10 Mbits/s/100 Mbits/s/ 1 Gbits/s Ethernet [IEEE 802.3]	10/100/1000 BASE	Ethernet
MoCA 2.0	-	MoCA 2.0 ¹
1 Gbits/s fibra UNI	-	Ethernet
10 Gbit/s fibra UNI	-	Ethernet
[ITU-T G.8261], [ITU-T G.8262]	-	SyncE ²
[b-ITU-T Q.552]	-	POTS
ISDN [ITU-T I.430]	-	ISDN
VDSL2 [ITU-T G.993.2], ADSL2+ [ITU-T G.992.5]	xDSL	xDSL
G.fast [ITU-T G.9701]	G.fast	G.fast ³
[ITU-T G.703]	PDH	T3, E1, E3
[b-ATIS (<i>Alliance for Telecommunications Industry Solutions</i>) 0900102] and [b-ATIS 0600107]	PDH	DS0, T1, T3, DS3
SDH/SONET	-	STM1- STM64/OC3- OC192,
OTN (<i>Optical Transport Network</i>) [ITU-T G.709], [ITU-T G.872]	-	OTU1, OTU2

Tabla 2.3. Ejemplos de SNI y servicios soportados por XGS-PON [11].

SNI	Interfaz física	Servicio
1 GigE [IEEE 802.3]	1000BASE	Ethernet
10 GigE [IEEE 802.3]	10GBASE	Ethernet
40 GigE [IEEE 802.3]	40GBASE	Ethernet
100GigE [IEEE 802.3]	100GBASE	Ethernet
[ITU-T G.8261], [ITU-T G.8262]		SyncE
[b-ITU-T G.965]	V5.2 ⁴	POTS
[ITU-T G.703]	PDH, STM-1	T3, E1, E3, STM-1, T1, DS0
[ITU-T G.957]	STM-1, 4, 16, 64	E1, E3, T1, T3, E4, STM-n, DS0
[b-ATIS 0600107]	PDH	DS0, T1, T3
SDH/SONET	SDH/SONET	STM1- STM64/OC3 – OC192,
OTN [ITUT G.709] and [ITU-T G.872]	OTN	OTU1, OTU2, OTU3 ⁵

¹ Ethernet sobre cable coaxial con velocidades de 400 y 800 Mbits/s [34].

² Transferencia de señales de reloj a través de Ethernet [35]

³ DSL mejorado con capacidad de hasta 1 Gbits/s [36].

⁴ Interfaz que permite conectar la central telefónica con los abonados [37].

⁵ La OTN es un protocolo para enviar información a través de fibra óptica. Sus interfaces se denominan OTU y cuentan con velocidades nominales de 2(OTU1),10 (OTU2) y 43 (OTU3) Gbits/s [38].

La UNI es la interfaz que permite la interconexión entre la red de acceso y el cliente, mientras que la SNI se define como la interfaz que permite la interconexión entre la red de acceso y el nodo de servicio. La ONU es la encargada de proporcionar la UNI hacia los usuarios finales mientras que la OLT proporciona la SNI hacia la red central.

2.1.1.4 Requerimientos de la capa física para XGS-PON

Dentro de los requisitos de la capa física para XGS-PON, se aborda: características de la fibra, velocidades de transmisión, relación de división de los splitters y alcance.

2.1.1.4.1 Características de la fibra para XGS-PON

El despliegue de los sistemas XGS-PON se realiza mediante la utilización de la fibra monomodo estándar descrita en la ITU-T G.652 categoría D, la cual también se utiliza para los sistemas XG-PON. Esta fibra se usa esencialmente en la red feeder y en la red de distribución, mientras que en la red drop o de dispersión se suele utilizar la fibra insensible a pérdidas por flexión descrita en el estándar ITU-T G.657 categoría A [11]. Se utiliza estas fibras debido a que poseen valores de atenuación muy bajos en torno al rango de longitudes de onda de 1260 nm a 1625 nm [12] [13]. En los anexos I y II se pueden observar los atributos de cada estándar respectivamente.

2.1.1.4.2 Velocidades de transmisión de XGS-PON

Para XGS-PON se tienen dos conjuntos de velocidades de transmisión:

- XGS-PON: tasa nominal de 10 Gbits/s para el enlace descendente y 10 Gbits/s para el enlace ascendente [11].
- XG-PON: tasa nominal de 10 Gbits/s para el enlace descendente y 2.5 Gbits/s para el enlace ascendente [11].

2.1.1.4.3 Relación de división de los splitters para XGS-PON

Dado que muchos operadores han desplegado su propia arquitectura ODN con una división de hasta 1:128 para redes G-PON, entonces la relación 1:128, es el requisito mínimo para los sistemas XGS-PON para permitir la coexistencia con estos sistemas. La máxima relación de división para XGS-PON es de 1:256 [11]. Para lograr esta relación de división se puede utilizar uno o varios splitters en cascada como se puede observar en la Figura 2.2.

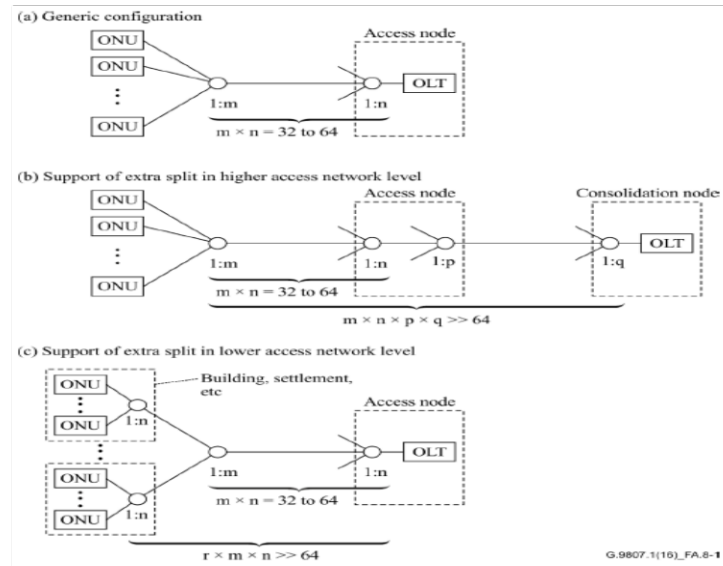


Figura 2.2. Opciones de arquitectura del divisor para XGS-PON

Para los escenarios b y c se debe utilizar un extensor de alcance. El extensor de alcance es un dispositivo (regenerador o amplificador óptico en el enlace de fibra) que permite aumentar el presupuesto de pérdidas (clase de ODN) para así obtener una mayor relación de división de los splitters y un mayor alcance.

2.1.1.4.4 Alcance de XGS-PON

XGS-PON tiene un alcance físico mínimo de 20 km y un alcance máximo de 60 km con la utilización de extensores de alcance entre los puntos T y V de la figura 2.1. Además, la distancia máxima diferencial de fibra es de 40 km como en XG-PON [11] [14].

2.1.1.5 Requisitos del sistema de XGS-PON

Dentro de los requisitos del sistema de XGS-PON, se tiene:

- Ahorro de energía y eficiencia energética
- Resistencia y protección en la ODN
- Autenticación, identificación y cifrado
- Asignación dinámica del ancho de banda
- Seguridad ocular

2.1.1.5.1 Ahorro y eficiencia energética en XGS-PON

XGS-PON, al ser una red de nueva generación debe cumplir con el requisito de ahorro de energía, en donde el objetivo es seguir prestando los servicios ofrecidos el mayor tiempo

posible mediante la utilización de una batería de reserva cuando se corta el servicio eléctrico. Por lo tanto, XGS-PON debe soportar una mayor eficiencia energética que generaciones anteriores siempre que sea compatible con los requisitos de servicio antes mencionados [11]. Es decir, esta mejora en la eficiencia energética no debe afectar a los servicios ofrecidos por XGS-PON.

2.1.1.5.2 Resistencia y protección en la ODN de XGS-PON

El término resistencia hace referencia a la capacidad del sistema de resistir a fallos en la red y seguir funcionando. La tecnología XGS-PON es necesaria para admitir una amplia gama de servicios para aplicaciones residenciales y también empresariales. Los fallos en las partes compartidas de la PON afectarán a múltiples clientes y servicios. Por ello, XGS-PON debe incluir una gama de opciones de resistencia rentables con configuraciones de sistemas dúplex⁶, como se define en la cláusula 14 de [ITU-T G.984.1] [8], así como las extensiones descritas en los Apéndices II y III de esa misma recomendación. Estos esquemas de resistencia deben ser opciones disponibles en los escenarios XGS-PON, independientemente de que utilicen o no extensores de alcance de medio tramo y serán un mecanismo opcional de protección.

2.1.1.5.3 Autenticación, identificación y cifrado en XGS-PON

El sistema XGS-PON está basado en un medio compartido, en el que todas las ONU reciben los datos de unidifusión de la PON. Por lo tanto, se deben tomar medidas para evitar la suplantación de identidad y el acceso no autorizado a los datos de un usuario (*snooping*) u empresa[11].

Se deben implementar mecanismos de autenticación e identificación como, por ejemplo:

- Identificación del número de serie de la ONU y/o un ID de registro utilizado para el proceso de registro de la ONU [11].
- Autenticación de los equipos de las instalaciones del cliente, basado en la norma IEEE 802.1X⁷[11].

Además, para protegerse del *snooping*, todos los datos de unidifusión en la dirección descendente deben cifrarse con un algoritmo fuerte, por ejemplo, el estándar de cifrado

⁶ Los sistemas duplex hacen referencia a opciones de resistencia en donde se pueden duplicar ya sea las fibras ópticas, los divisores ópticos, las OLT e incluso las ONU para que en caso de un fallo estos puedan conmutar a los elementos que no han sido afectados y la red siga funcionando.

⁷ IEEE 802.1X es un estándar para el control de acceso a redes basadas en puertos y protege a las redes con el acceso de usuarios no autorizados.

AES (*Advanced Encryption System*). Para la dirección ascendente, el cifrado es opcional y depende de las necesidades de cada operador [11].

2.1.1.5.4 *Asignación dinámica del ancho de banda en XGS-PON*

La OLT de XGS-PON debe soportar la asignación dinámica de ancho de banda (DBA, *Dynamic Bandwidth Allocation*) para un reparto eficiente del ancho de banda ascendente entre las ONU conectadas, basándose en la indicación dinámica de su actividad.

La actividad dinámica puede apoyarse en uno de los métodos siguientes:

- Informe de estado: DBA utiliza un informe de ocupación de búfer explícito solicitado por la OLT y enviado por la ONU en respuesta [11].
- Supervisión del tráfico: DBA realiza la medición por parte de la OLT de la cantidad de tráfico real en comparación con la capacidad total que tiene la ONU de transmitir tráfico ascendente [11].

2.1.1.5.5 *Seguridad ocular en XGS-PON*

El aumento de la velocidad a 10 Gbits/s, las relaciones de división de hasta 1:256 y el aumento del alcance físico supone un aumento en la potencia óptica en comparación a las generaciones de PON anteriores. Por lo tanto, se debe prever mecanismos necesarios para garantizar que no se produzcan daños oculares a los usuarios finales. Los elementos de XGS-PON deben ajustarse a las siguientes clases de láseres definidas en el estándar IEC 60825-2 [15] [11]:

- Clase 1M para la OLT
- Clase 1 para la ONU

Los láseres de clase 1 son seguros en todas las condiciones de uso y que sean previsibles, incluso cuando se utilizan instrumentos ópticos. Los láseres de clase 1M, por otro lado, son seguros en condiciones de uso razonablemente predecibles en el rango de longitud de onda de 302,5 a 4000 nm, pero pueden resultar peligrosos cuando se utilizan elementos ópticos para una visión directa. Las potencias de los láseres clase 1 y clase M están en el orden de los 0.01 mW [16].

2.1.2 **ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PMD DE XGS-PON**

La capa PMD se basa principalmente en el estándar ITU- T G.987.2 [14]. Excepto por el requisito de velocidad de línea simétrica de 10 Gbit/s, los cambios más importantes en la capa PMD XGS-PON relacionados con la capa PMD XG-PON son:

- La adición de una alternativa de un rango de longitudes de onda opcionales [11] para permitir la coexistencia con generaciones anteriores.
- La adición de clases de ODN de G-PON con las respectivas pérdidas de trayecto óptico para el caso del conjunto de longitudes de onda opcionales [11] para permitir la coexistencia con G-PON.

Dentro de las especificaciones de la capa PMD de XGS-PON, se tiene: arquitectura de la ODN, clases de ODN y los requisitos de la red óptica.

2.1.2.1 Arquitectura de la ODN para XGS-PON

La Figura 2.3 corresponde a la configuración física genérica de la ODN para XGS-PON y se observa la conexión de la OLT con las ONU a través de la ODN.

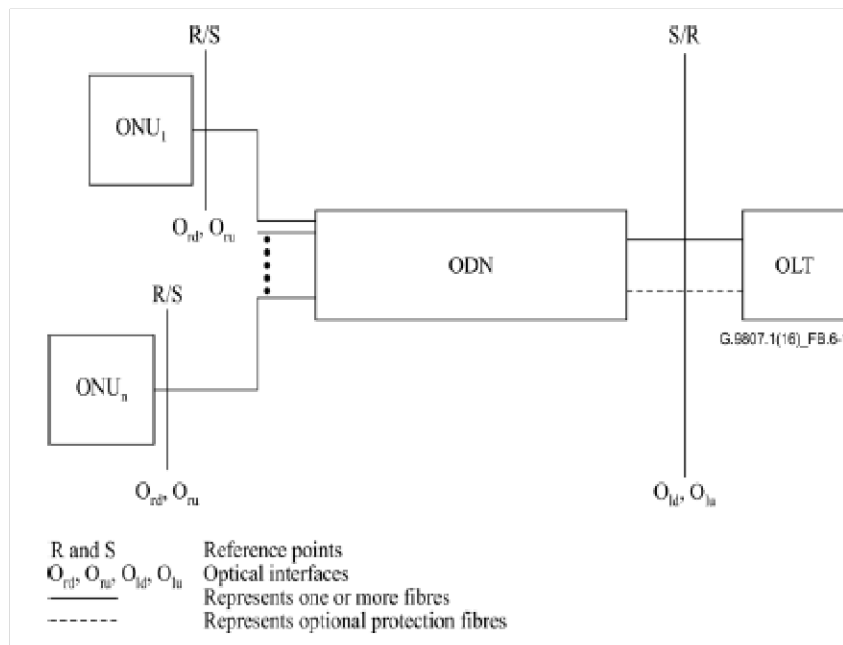


Figura 2.3. Configuración física genérica de la ODN [11].

En la Figura 2.3 se tienen los siguientes puntos de referencia:

S/R, R/S: Combinación de puntos S y R existentes simultáneamente en una misma fibra, cuando se opera en modo bidireccional.

O_{ru}, O_{rd}: Interfaces ópticas de subida y de bajada en los puntos de referencia R/S entre la ONU y la ODN, respectivamente.

O_{lu}, O_{ld}: Interfaces ópticas de subida y de bajada en los puntos de referencia S/R entre la ONU y la ODN, respectivamente.

2.1.2.2 Clases de ODN para XGS-PON

Las clases de ODN recomendadas para XGS-PON se observan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Clases de ODN para XGS-PON [11].

	Unidades	Conjunto opcional de longitudes de onda		Conjunto básico de longitudes de onda			
		Clase B+	Clase C+	Clase N1	Clase N2	Clase E1	Clase E2
Clase OPL (<i>Optical Path Loss</i>)							
Pérdida mínima en la ODN	dB	13	17	14	16	18	20
Pérdida máxima en la ODN	dB	28	32	29	31	33	35

Se definen cuatro clases de ODN para XGS-PON para el conjunto básico de longitudes de onda y dos clases para el conjunto opcional de longitudes de onda de XGS-PON, las cuales sirven para los escenarios de coexistencia de XGS-PON con generaciones anteriores.

2.1.2.3 Requisitos de la red óptica para XGS-PON

Dentro de los requisitos de la red óptica para XGS-PON, se tiene:

- Velocidad y codificación de línea
- Niveles de potencia

2.1.2.3.1 Velocidad y codificación de línea para XGS-PON

Para XGS-PON, la velocidad de línea ascendente es de 9.95328 Gbits/s y la velocidad de línea descendente es de 9.95328 Gbits/s. La codificación de línea utilizada para XGS-PON tanto para el enlace ascendente como descendente es NRZ [11].

2.1.2.3.2 Niveles de potencia de XGS-PON

Todos los niveles de potencia que se muestran a continuación son para la distancia diferencial de fibra de 20 km. Los niveles de potencia de XGS-PON para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada y para el enlace de subida se observan en las Tablas 2.5 y 2.6 respectivamente.

Tabla 2.5. Niveles de potencia de XGS-PON para 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada [11].

Parámetros	Unidades	Valores		
Tx OLT (O_{ld})				
Velocidad nominal de línea	Gbits/s	9.95328		
ORL (<i>Optical Return Loss</i>) mínimo de la ODN en O _{lu} y O _{ld} ⁸	dB	32		
Clase de ODN		N1	N2	E1
Potencia media mínima de lanzamiento en S/R	dBm	+2.0	+4.0	+6.0
Potencia media máxima de lanzamiento en S/R	dBm	+5.0	+7.0	+9.0
Potencia óptica reflejada máxima ⁹	dB	-15		
Rx ONU (O_{rd})				
Clases de ODN		N1	N2	E1
Sensibilidad	dBm	-28	-28	-28
Sobrecarga ¹⁰	dBm	-9	-9	-9
Potencia óptica reflejada máxima	dB	10		

Tabla 2.6. Niveles de potencia de XGS-PON para 9.95328 Gbits/s para el enlace de subida [11].

Parámetros	Unidades	Valores		
Tx ONU (O_{ru})				
Velocidad nominal de línea	Gbits/s	9.95328		
ORL mínimo (<i>Optical Returns Loss</i>) de la ODN en O _{ru} y O _{rd}	dB	32		
Clase de ODN		N1	N2	E1
Potencia media de lanzamiento mínima en R/S	dBm	+4.0	+4.0	+4.0
Potencia media de lanzamiento máxima en R/S	dBm	+9.0	+9.0	+9.0
Potencia óptica reflejada máxima	dB	-15		
Rx OLT (O_{lu})				
Clase de ODN		N1	N2	E1
Sensibilidad	dBm	-26	-28	-30
Sobrecarga	dBm	-5	-7	-9

⁸ Relación entre la potencia óptica transmitida y la potencia óptica reflejada.

⁹ Relación entre la potencia óptica reflejada y la potencia óptica transmitida.

¹⁰ Máxima potencia óptica recibida que produce el nivel de BER especificado.

Adicionalmente, en los anexos III y IV se observa todos los parámetros para la velocidad de 9.95328 Gbits/s de XGS-PON para el enlace de bajada y de subida respectivamente. Dentro de estos anexos se tiene parámetros como: diafonía, nivel de referencia del BER (*Bit Error Rate*), jitter, entre otros.

2.1.3 ESCENARIOS DE COEXISTENCIA DE XGS-PON CON GENERACIONES ANTERIORES

A continuación, se habla acerca de XG-PON de manera general para poder entender los escenarios de coexistencia que existen entre XGS-PON y XG-PON.

2.1.3.1 XG-PON

La red óptica pasiva XG-PON está definida en el estándar ITU-T G.987.x. El estándar contiene: definiciones, siglas, abreviaturas, requisitos generales (ITU-T G.987.1), especificaciones de la capa PMD (ITU-T G.987.2), especificaciones de la capa TC (ITU-T G.987.3) y ampliación del alcance (ITU-T G.987.4) de XG-PON [7].

Los parámetros de XG-PON como arquitectura, funcionamiento, alcance, características de la fibra óptica, requerimientos de servicio y relación de división de los splitters son iguales a los de XGS-PON revisados anteriormente en este trabajo.

2.1.3.1.1 Longitud de onda de operación de XG-PON

El rango de longitud de onda de operación para el enlace de bajada de XG-PON es de 1575-1580 nm (longitud de onda central 1577 nm) mientras que el rango de longitud para el enlace de subida de XG-PON es de 1270-1290 nm (longitud de onda central 1270 nm) [17].

2.1.3.1.2 Velocidades nominales de transmisión de XG-PON

La velocidad nominal de transmisión para el enlace de bajada de XG-PON es de 10 Gbits/s y para el enlace de subida de XG-PON es de 2.5 Gbits/s.

2.1.3.1.3 Clases de ODN para XG-PON

XG-PON posee las mismas clases de ODN que XGS-PON cuando utiliza el conjunto básico de longitudes de onda. Sin embargo, no posee las dos opciones adicionales que utiliza XGS-PON cuando trabaja con el conjunto opcional de longitudes de onda [14].

En XGS-PON existen diferentes tipos de arquitecturas ODN para lograr escenarios de coexistencia con generaciones anteriores y servicios adicionales como la distribución de

video RF. En la Figura 2.4 se observa la arquitectura de referencia para la coexistencia de XGS-PON, XG-PON, G-PON y servicio de video RF.

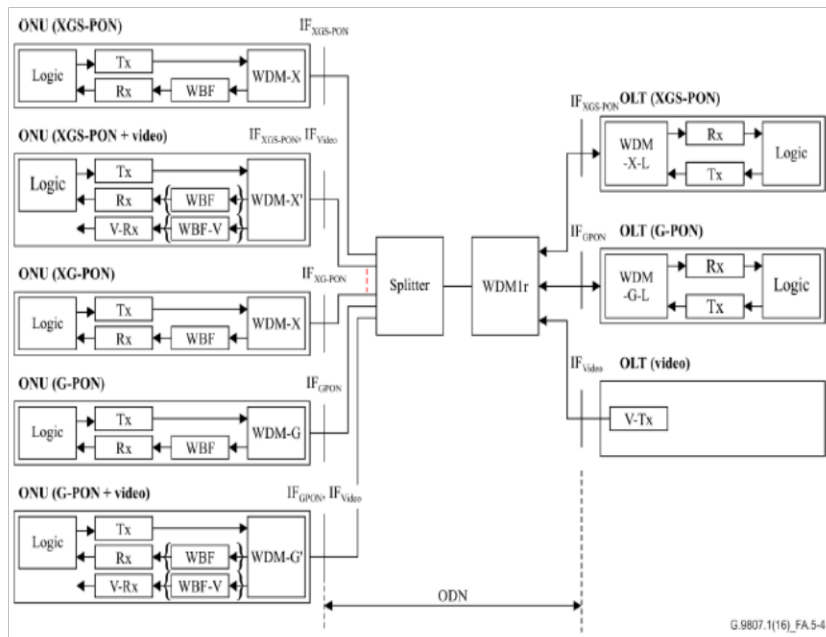


Figura 2.4. Arquitectura de referencia para la coexistencia de XGS-PON, G-PON, XG-PON y servicio de video RF [11].

Algunos de los bloques que se observan en la Figura 2.4, tienen las siguientes funciones:

Tx, Rx: Transmisor y receptor respectivamente.

V-Tx, V-Rx: Transmisor y receptor de video respectivamente

WBF: Filtro de bloqueo de longitud de onda para bloquear las señales de interferencia hacia Rx.

WBF-V: Filtro de bloqueo de longitud de onda para bloquear las señales de interferencia en V-Rx.

WDM-X: Filtro WDM en la ONU XG-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y de bajada de XG-PON.

WDM-X': Filtro WDM en la ONU XG-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y de bajada de XGS-PON y separa señales de video.

WDM-G: Filtro WDM en la ONU G-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y bajada de G-PON.

WDM-G’: Filtro WDM en la ONU G-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y de bajada de G-PON y separa señales de video.

WDM-X-L: Filtro WDM en la OLT XG-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y de bajada de XG-PON.

WDM-G-L: Filtro WDM en la OLT G-PON que combina/aísla longitudes de onda de subida y de bajada de G-PON.

Dentro de la arquitectura de referencia de la Figura 2.4 se pueden dar cuatro escenarios de coexistencia, los cuales se mencionan a continuación:

2.1.3.2 Escenario de coexistencia de G-PON, XGS-PON y video RF

Este escenario logra a través de la utilización de un elemento multiplexor/demultiplexor WDM1r, el cuál puede estar ubicado en la oficina central y es capaz de combinar o aislar longitudes de onda de las señales de XGS-PON, G-PON y que además también puede combinar las señales de video RF. En el escenario de la Figura 2.5 se utiliza el conjunto básico de longitudes de onda XGS-PON, es decir, G-PON utiliza sus bandas de longitud de onda de operación (1490/1310 nm) mientras que XGS-PON también utiliza sus bandas de longitud de onda de operación (1577/1270 nm) como se observa en la Figura.

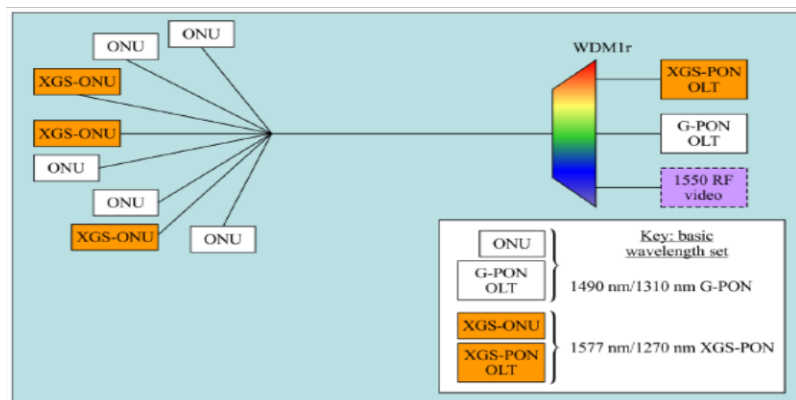


Figura 2.5. Bandas de longitud de onda de operación utilizadas en el escenario de coexistencia de G-PON, XGS-PON y servicio de video RF [11].

2.1.3.3 Escenario de coexistencia de XGS-PON, XG-PON y video RF

Al igual que en el escenario anterior, para la coexistencia de XGS-PON, XG-PON y video RF, también se utiliza un elemento WDM1r. Sin embargo, para este escenario se utiliza el conjunto opcional de longitudes de onda de XGS-PON. En la Figura 2.6 se puede visualizar la arquitectura de referencia para la coexistencia de XGS-PON, XG-PON y video RF.

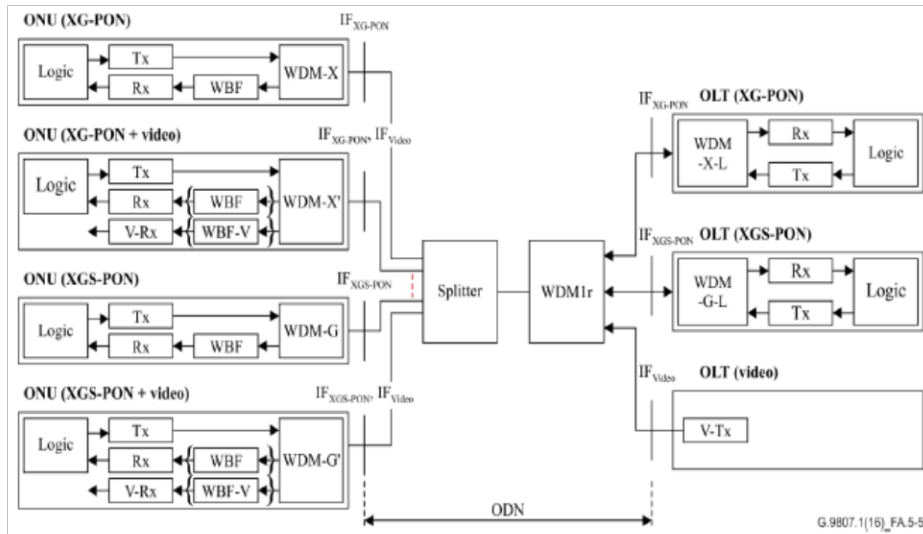


Figura 2.6. Arquitectura de referencia para la coexistencia de XGS-PON, XG-PON y video RF [11].

En este escenario, XGS-PON reutiliza la banda de longitud de onda de operación de G-PON mientras que XG-PON utiliza su banda de longitud de onda de operación propia como se muestra en la Figura 2.7.

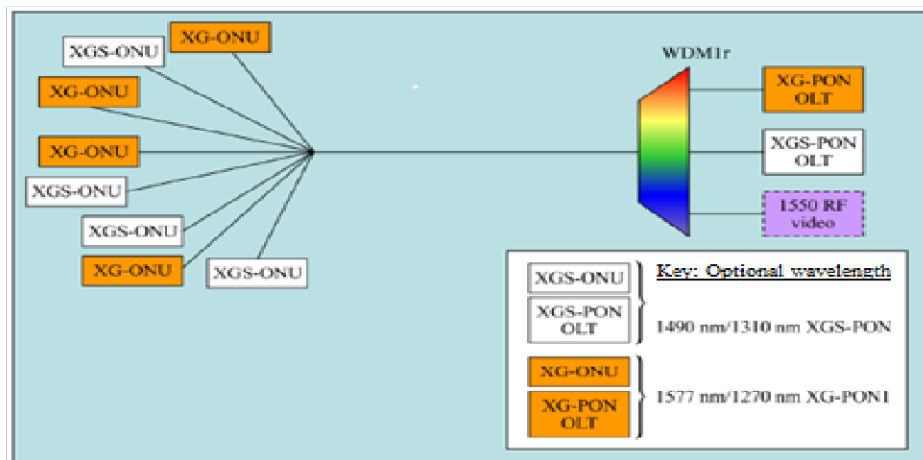


Figura 2.7. Bandas de longitud de onda operación utilizadas en el escenario de coexistencia de XG-PON, XGS-PON y video RF [11].

2.1.3.4 Escenario de coexistencia de XG-PON y XGS-PON

En este escenario de coexistencia, no se utiliza el elemento WDM1r y se trabaja con el conjunto básico de longitudes de onda. Para que XGS-PON y XG-PON puedan coexistir en este escenario, se trabaja con un esquema TDM/TDMA. Se asignan espacios de tiempo a cada ONU para que puedan enviar su información a través del mismo hilo de fibra. Este esquema permite el alojamiento simultáneo de las ONU de XG-PON y XGS-PON en un

puerto de la OLT de XGS-PON. En la dirección ascendente, la OLT puede extraer y diferenciar las transmisiones de datos de cualquier tipo de ONU mientras que, en la dirección descendente las ONU pueden ignorar las transmisiones relacionadas a una tecnología que no admite. En la Figura 2.8 se observa este escenario.

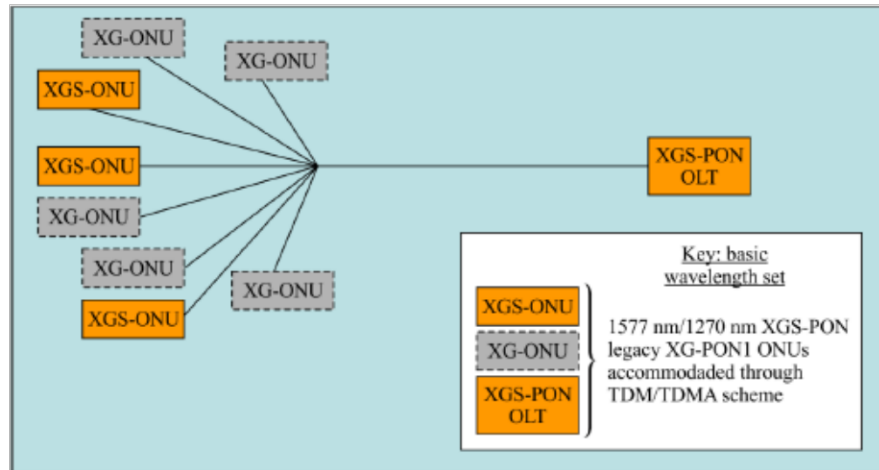


Figura 2.8. Escenario de coexistencia de XGS-PON con XG-PON utilizando el conjunto básico de longitudes de onda [11].

2.1.3.5 Escenario de coexistencia de XGS-PON, XG-PON, GPON y video RF

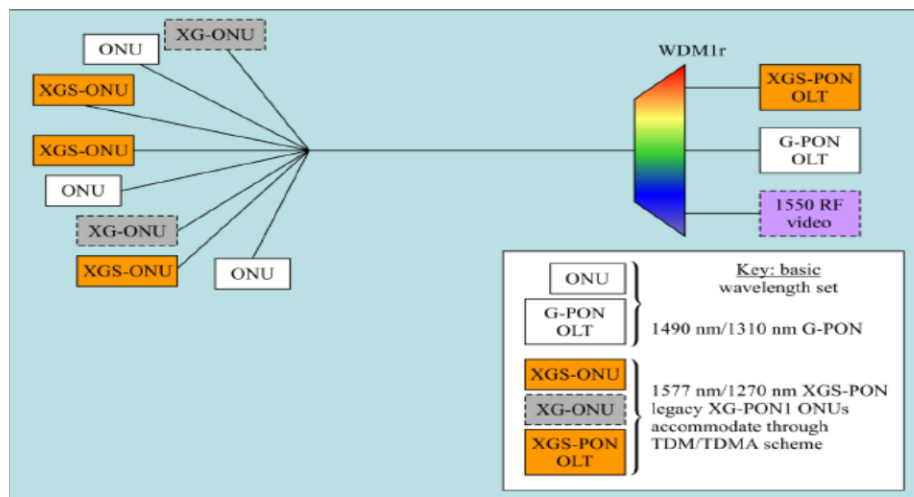


Figura 2.9. Distribución de las bandas de longitud de onda de operación para coexistencia de XGS-PON, XG-PON, GPON y video RF [11].

Este escenario se logra a través de la utilización del elemento WDM1r para combinar o aislar las señales de XGS-PON, G-PON y video RF. En este escenario se utiliza el conjunto básico de longitudes de onda y la coexistencia de XGS-PON con XG-PON se da por lo descrito en el escenario anterior. En la Figura 2.9 se muestra la distribución de las bandas de longitud de onda de operación para las tecnologías en mención.

2.1.4 ESCENARIOS DE MIGRACIÓN DE XGS-PON

El sistema XGSPON debe ser capaz de proteger las inversiones realizadas en las redes PON heredadas, al tiempo que garantiza una migración fluida y transparente para los usuarios de estas redes PON a la red XGS-PON. Se definen dos escenarios de migración para XGS-PON: el escenario de migración Brownfield y el escenario de migración Greenfield.

2.1.4.1 Escenario Brownfield

El escenario PON Brownfield se refiere al escenario de despliegue en el que ya se ha desarrollado un sistema PON y los operadores deciden aprovechar la infraestructura de fibra existente para ofrecer servicios portadores de mayor ancho de banda utilizando XGS-PON. Algunos abonados del sistema G-PON o XG-PON existentes pueden necesitar una actualización a este servicio de mayor velocidad y el operador puede optar por trasladar estos abonados al sistema XGS-PON, mientras que otros abonados permanecerán en los sistemas G-PON o XG-PON [11].

Los requisitos generales para este escenario son:

- Si los recursos de fibra no siempre son abundantes, G-PON y XGS-PON deberían coexistir en la misma fibra.
- Se deben minimizar las interrupciones del servicio para usuarios no actualizados.
- XGS-PON debe admitir/emular todos los servicios G-PON y XG-PON anteriores para una migración completa.

La principal desventaja de este escenario es que G-PON ya lleva implementado varios años y la vida útil de la fibra óptica es de aproximadamente 25 años [18] entonces necesariamente se tendrá que cambiar a una infraestructura nueva después.

2.1.4.2 Escenario Greenfield

Las áreas donde G-PON aún no se ha implementado se denominan "PON Greenfields". No se requieren requisitos de coexistencia con G-PON en este escenario. Si no se utiliza XG-PON en la red, tampoco es necesario que coexista con XG-PON [11]. Este escenario brinda ventajas como: mayor ancho de banda, alcance y mayor relación de división. Sin embargo, también tiene sus desventajas como: mayor inversión económica y mayor tiempo de implementación.

2.1.5 BENEFICIOS DE XGS-PON

La tecnología XGS-PON proporciona varios beneficios, los cuales se muestran a continuación:

- **Rendimiento mejorado:** En comparación con el cobre de par trenzado, los cables coaxiales y las generaciones PON anteriores, XGS-PON puede proporcionar mayor velocidad que estos sistemas. Esto se debe a que los proveedores de servicios pueden ofrecer velocidades de 10 Gbits/s tanto en enlaces de bajada como de subida. Al aumentar la capacidad a 10 Gbits/s, pueden incrementar las velocidades de conexión de los 300 Mbits/s actuales a 500 Mbits/s, 1 Gbits/s y 2 Gbits/s para los principales abonados. Esto permite a los proveedores de servicios dar servicio a más suscriptores principales que, aprovechan las aplicaciones de mayor ancho de banda como el *streaming* de vídeo UHD, el IoT y los dispositivos domésticos inteligentes.
- **Mayor alcance:** XGS-PON tiene un mayor alcance que tecnologías PON anteriores. Mientras que el alcance máximo para las tecnologías PON anteriores como G-PON es de 20 km, XGS-PON tiene un alcance de 40 km sin extensores y un alcance de 60 km con extensores. Este alcance es similar a XG-PON.
- **Mayor capacidad de usuarios:** XGS-PON tiene la capacidad de albergar más usuarios que tecnologías PON anteriores ya que tiene una relación máxima de división de 1:256, la cual es superior a la relación máxima de 1:128 que tienen las redes G-PON. Esta capacidad de albergar usuarios es igual a la capacidad de XG-PON.
- **Mayor productividad empresarial:** XGS-PON, mejora la comunicación entre empleados y clientes o proveedores debido a que facilita el intercambio de datos en tiempo real y ofrece un mejor acceso a los servicios en la nube. Esto significa un ahorro significativo y una mayor eficiencia. Además, la red XGS-PON permite que se pueda teletrabajar de manera rápida, segura y cómoda debido a la mejora en la conexión de internet.
- **Futuro y coexistencia:** XGS-PON es un estándar preparado para el futuro que puede coexistir con tecnologías PON anteriores. Además, la misma infraestructura de fibra óptica se puede utilizar tanto para la PON tradicional como para la avanzada. Un proveedor de red puede incluso actualizar de forma selectiva a los usuarios que necesiten velocidades más rápidas y dejar a los demás usuarios como están.

2.2 NG-PON2

Las redes de acceso ópticas pasivas de primera generación NG-PON1 (XG-PON y XGS-PON) ofrecían velocidades mejoradas con respecto a G-PON, sin embargo, tuvieron dificultades para que los clientes las aceptaran, ya que estas tecnologías exigían a los operadores la compra de equipos completamente nuevos a cambio de un beneficio de capacidad de solo cuatro veces. La solución NG-PON2 es relativamente sencilla, básicamente consiste en apilar varios sistemas NG-PON1 en una red de fibra, utilizando técnicas de multiplexación por división de tiempo y de longitud de onda (TWDM), para garantizar que funcionen juntos.

A continuación, se habla acerca de los requisitos generales de NG-PON2, las especificaciones de la capa PMD de NG-PON2, los escenarios de migración y coexistencia de NG-PON2 con generaciones anteriores y los beneficios de NG-PON2.

2.2.1 REQUISITOS GENERALES DE NG-PON2

En esta sección se aborda los requisitos generales de NG-PON2 dentro de los cuales se tiene: arquitectura y funcionamiento, requisitos de servicio, requisitos de capa física y requisitos del sistema.

2.2.1.1 Arquitectura y funcionamiento de NG-PON2

En la Figura 2.10 se observa la arquitectura funcional de NG-PON2 con coexistencia de generaciones PON anteriores, video RF y sistemas de supervisión.

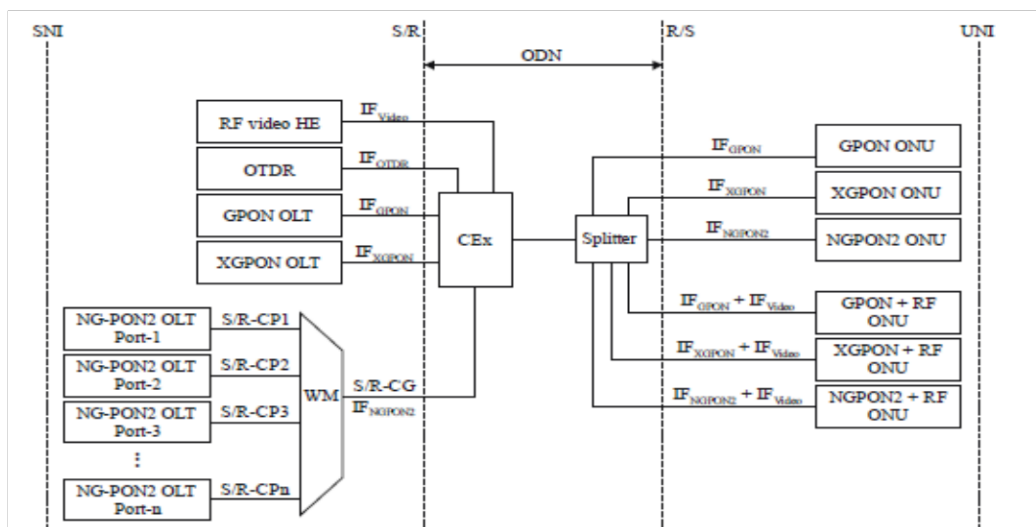


Figura 2.10. Arquitectura funcional de referencia y puntos para la coexistencia del sistema NG-PON2 con generaciones PON anteriores, video RF y sistemas de supervisión

[19].

La ODN incluye al divisor y al elemento de coexistencia (CEx). El CEx es un multiplexor/demultiplexor de longitud de onda que se utiliza para conectar sistemas PON heredados a la misma ODN. Algunos de los términos y bloques observados en la Figura 2.10, se definen a continuación:

CG (Channel Group): Conjunto de canales transportados por una fibra común utilizando WM.

CP (Channel Pair): Conjunto de un canal de longitud de onda descendente y un canal de longitud de onda ascendente entre la OLT y una o varias ONU.

WM (Wavelength Multiplexer): Elemento bidireccional utilizado para multiplexar/demultiplexar los pares de canales de longitud de onda NG-PON2 y grupos de canales WDM.

En NG-PON2, la señal se transmite tanto en sentido ascendente como descendente a través de la fibra, y la transmisión bidireccional se realiza mediante tecnología WDM [20].

En NG-PON2 se tiene dos opciones: TWDM PON y PtP WDM PON. En este capítulo se aborda ciertos parámetros de PtP WDM para conocimiento general pero no se incluye los parámetros PMD del mismo debido a limitaciones de tiempo.

2.2.1.1.1 PtP WDM PON

La opción PtP WDM permite que NG-PON2 cumpla los exigentes requisitos de los operadores para los servicios empresariales y de backhaul. PtP WDM permite proporcionar un canal dedicado a cada ONU. En la configuración básica, se consideran ocho canales de PtP WDM para permitir la plena coexistencia con los sistemas heredados como se observa en la Figura 2.11. Dependiendo del escenario de despliegue concreto, un operador de red puede dedicar el espectro no utilizado a canales PtP WDM adicionales de forma flexible. Los ONUs para PtP WDM requieren elementos transmisores y receptores sintonizables similares a los de TWDM-PON con la principal diferencia del modo de operación continuo (canal dedicado) de PtP WDM frente al modo ráfaga de TWDM-PON. Además, las tasas de transmisión para PtP WDM están en el rango de 1-10 Gbits/s.

2.2.1.1.2 TWDM PON

El TWDM PON de referencia utiliza cuatro canales DWDM (*Dense WDM*) bidireccionales espaciados, cada uno con una velocidad de línea de 10 Gbits/s de bajada y 2,5 Gbits/s de subida. Los canales son DWDM ya que el espaciamiento entre canales va entre 50 y 200 GHz [20]. El resultado es una capacidad total de 40 Gbits/s de bajada y 10 Gbits/s de

subida. Así, se utilizan cuatro longitudes de onda entre 1524 y 1544 nm para transmitir la señal ascendente y cuatro longitudes de onda entre 1596 y 1603 nm para transmitir la señal descendente.

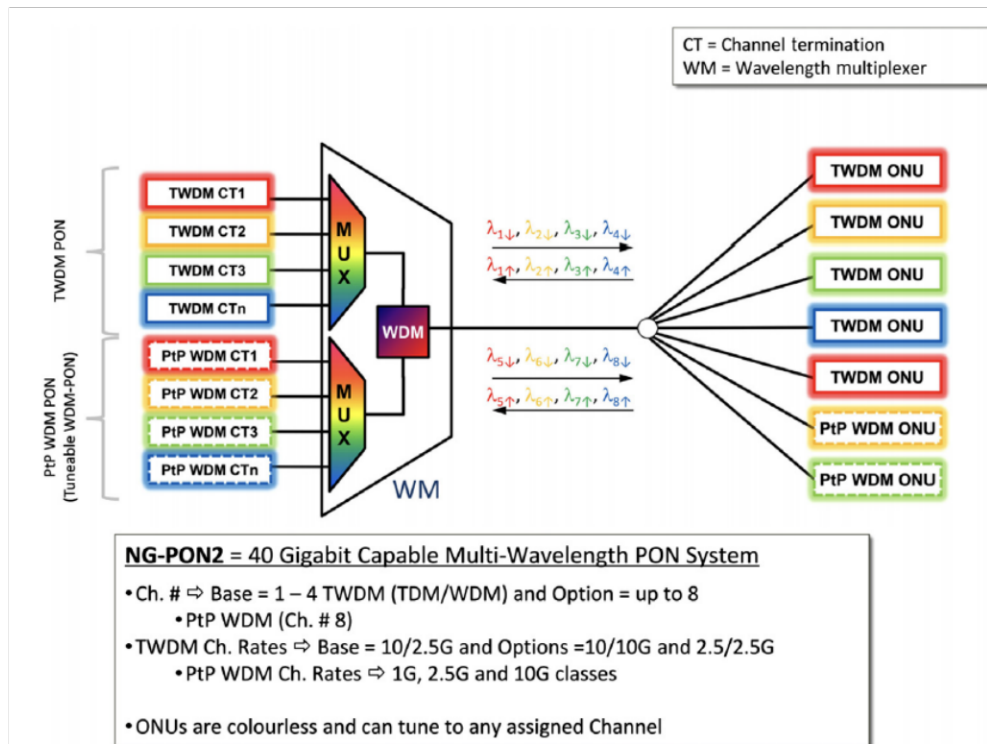


Figura 2.11. Funcionamiento de NG-PON2 [21].

La OLT utiliza un transceptor de matriz con cuatro transmisores y cuatro receptores porque usa cuatro longitudes de onda para el enlace descendente y cuatro longitudes de onda para el enlace ascendente. Todos estos están multiplexados con un multiplexor/demultiplexor de longitud de onda interno integrado en el módulo óptico de la OLT. Para ser compatible con las generaciones PON anteriores, NG-PON2 hereda la ODN de dichas generaciones. Por lo tanto, las cuatro longitudes de onda se transmiten a cada ONU de NG-PON2; sin embargo, las ONU de NG-PON2 sólo están especificadas con un único transceptor de 10 Gbits/s, con un láser de subida y un receptor sintonizables. El funcionamiento de NG-PON2 se observa en la Figura 2.11.

En comparación con generaciones PON anteriores (G-PON, XG-PON), los únicos componentes significativamente nuevos son los receptores y transmisores sintonizables en las ONU. Las opciones tecnológicas para implementar las funciones de sintonización de longitudes de onda necesarias en la ONU se resumen a continuación:

- **Receptor sintonizable ONU:** El receptor de la ONU TWDM-PON debe sintonizar su longitud de onda con cualquiera de las longitudes de onda descendentes de la

TWDM-PON siguiendo los comandos de la OLT. Esta función puede implementarse utilizando tecnologías candidatas como el filtro Fabry-Perot (FP) sintonizado térmicamente [22], el filtro FP sintonizado en ángulo , el resonador de anillo de silicio sintonizado por inyección [23], el filtro sintonizable de cristal líquido [24] y el detector FP sintonizable térmicamente [25].

- **Transmisor sintonizable ONU:** El transmisor de la ONU puede sintonizar su longitud de onda con cualquiera de las longitudes de onda ascendentes. Las tecnologías de implementación son el láser de retroalimentación distribuida (DFB, *Distributed FeedBack*) con control de temperatura (TC, *Temperature Control*) [26], el láser DFB con TC parcial [27], el láser de reflector de Bragg distribuido de varias secciones (control eléctrico) sin refrigeración [28], el láser de cavidad externa (ECL, *External Cavity Laser*) con control mecánico sin refrigeración [29], el ECL con control termo/electro/ piezo/magneto-óptico sin refrigeración [30], [31].

La implementación de una red NG-PON2 requiere que tanto el transmisor como el receptor sintonizable de la ONU deban estar sintonizados en los canales de longitud de onda TWDM o PtP WDM asignados para sentido ascendente y sentido descendente. Además, una red de este tipo requiere un amplificador óptico en la OLT para potenciar la señal descendente y preamplificar las señales ascendentes. Por lo tanto, TWDM-PON obtiene un presupuesto de potencia mayor que NG-PON1 [32]. La ODN sigue siendo pasiva y la OLT está equipada con el amplificador, el multiplexor y el demultiplexor .

La recomendación ITU-T G.989.2 especifica al menos cuatro canales para TWDM y los amplía hasta ocho. PtP WDM admite un mínimo de 4 canales y no especifica un máximo [20].

2.2.1.2 Requisitos de servicio para NG-PON2

NG-PON2 debe soportar diversos servicios para abonados residenciales, clientes empresariales, backhaul fijo y móvil, y otras aplicaciones debido a su alta capacidad de velocidad de transmisión. Adicionalmente NG-PON2, debe soportar otros requisitos como:

- Interfaz de usuario de red (UNI) e interfaz de nodo de servicio (SNI).
- Máxima tolerancia promedio del retardo de la transferencia de la señal para soportar servicios que requieren un retardo máximo.
- Tamaño máximo de los paquetes Ethernet para mejorar la eficiencia de la transmisión de los datos.

NG-PON2 debe cumplir al menos los requisitos del sistema XGS-PON definidos en el apartado 2.1.1.3 de este trabajo.

2.2.1.3 Requisitos de la capa física para NG-PON2

Dentro de los requisitos de la capa física para NG-PON2 se incluye: características de la fibra, capacidad, alcance de la fibra y relación de división de los splitter.

2.2.1.3.1 Características de la fibra para NG-PON2

Los sistemas NG-PON2 utilizan la fibra monomodo descrita en el estándar ITU-T G.652.D Pueden utilizarse otros tipos de fibra para el cableado interior y/o la sección de caída (drop), como la fibra insensible a pérdidas por flexión descrita en el estándar ITU-T G.657.A [19]. Se utilizan estas fibras por la baja atenuación que tienen en el rango de longitud de operación del sistema NG-PON2.

2.2.1.3.2 Capacidad (por red feeder y por usuario) de NG-PON2

Los sistemas NG-PON2 deben ofrecer una capacidad por usuario significativamente mayor que sus predecesores como XGS-PON, XG-PON y G-PON. Los sistemas NG-PON2 deben soportar al menos 40 Gbits/s de capacidad agregada por fibra feeder en sentido descendente y al menos 10 Gbits/s en sentido ascendente. La meta de capacidad máxima para NG-PON2 es de 160 Gbits/s en sentido descendente y 80 Gbits/s en sentido ascendente. Por lo general, cualquier ONU NG-PON2 debe ser capaz de soportar como máximo un servicio de 10 Gbits/s y además este servicio debe ser simétrico [19].

2.2.1.3.3 Alcance de la fibra para NG-PON2

El sistema NG-PON2 debe admitir un alcance de fibra óptica de al menos 40 km sin extensor de alcance y 60 km con extensor de alcance. NG-PON2 también debe admitir una distancia de fibra diferencial máxima de 40 km [19].

2.2.1.3.4 Relación de división de los splitters para NG-PON2

Actualmente, los ODN que utilizan divisores de potencia se implementan típicamente con relaciones de división entre 1:16 y 1:128 [16]. La OLT NG-PON2 debe admitir una relación de división de al menos 1:256 con la posibilidad de una relación de división más alta si se requiere en el futuro [19].

2.2.1.4 Requisitos de sistema para NG-PON2

Dentro de los requisitos de sistema para NG-PON2, se tiene:

- ONU incoloras (colorless)
- Flexibilidad espectral
- Ahorro de energía
- Requisitos de resistencia y redundancia
- Seguridad y DBA
- Seguridad ocular.

2.2.1.4.1 ONU incoloras (Colorless)

Los sistemas NG-PON2 deben usar ONU incoloras, es decir, las ONU no son específicas para una determinada longitud de onda sino son sintonizables. El sistema NG-PON2, al utilizar ONU incoloras no requiere el manejo de múltiples ONU que en las generaciones anteriores se ampliaban según el número de longitudes onda utilizadas en la red. Esto disminuye significativamente el tiempo y los costos de mantenimiento en comparación con las ONU coloreadas [19].

2.2.1.4.2 Flexibilidad espectral

NG-PON2 debería permitir cierta flexibilidad espectral en el sistema. Esta flexibilidad permitirá que diferentes tipos de clientes y sistemas PON sean compatibles con la misma ODN de manera flexible. Además, debe permitir la expansión gradual o modular de la capacidad a medida que aumenta la demanda. Se debe permitir un número de canales flexibles para TWDM y PtP WDM (4,8,16) para facilitar el crecimiento de la capacidad. Adicionalmente, la flexibilidad del espectro facilitará una amplia gama de escenarios de coexistencia evitando interferencias con los sistemas existentes.

Para cumplir con los requisitos anteriores, el sistema NG-PON2 debe brindar acceso a grupos de longitudes de onda, bandas de longitudes de onda o múltiples longitudes de onda que pueden separarse de forma lógica y física y que además puedan administrarse de manera independiente, por un solo OLT o por varios OLT independientes, con funciones completamente independientes [19].

2.2.1.4.3 Ahorro de energía en NG-PON2

El sistema NG-PON2 debe apoyar las mejoras en la eficiencia energética mientras mantiene la compatibilidad con los requisitos del servicio. El sistema NG-PON2 debe tener como objetivo reducir el consumo de energía durante el funcionamiento normal de la red sin comprometer la calidad del servicio y la experiencia del usuario. Al igual que XGS-PON,

el objetivo del ahorro de energía es mantener los servicios fundamentales, como el servicio de voz, el mayor tiempo posible mediante el uso de una batería de reserva cuando se corte el servicio eléctrico [19].

2.2.1.4.4 Requisitos de resistencia y redundancia para NG-PON2

Se requiere un mecanismo de redundancia para evitar la interrupción del servicio a miles de usuarios potenciales en caso de fallo del cable de fibra o del equipo. Además de los requisitos habituales de redundancia de hardware en la OLT y en el equipo de transmisión de backhaul (hacia la red metro/núcleo), las redes requieren opciones de redundancia de líneas de alimentación y/o OTL para evitar cortes de servicio a gran escala de los clientes. Los sistemas NG-PON2 deben soportar las opciones de resistencia definidas en la cláusula 14 de ITU-T G.984.1 [19].

2.2.1.4.5 Seguridad y DBA en NG-PON2

Los sistemas NG-PON2 requieren altos niveles de seguridad debiendo ser al menos tan seguros como los de XG-PON. En las aplicaciones de servicios múltiples, es necesario una mayor seguridad para distinguir los datos entre los servicios en la OLT, además las ONU deben estar sujetas a una autenticación más segura. Los datos del tráfico descendente deben ser cifrados con algún algoritmo fuerte como por ejemplo, el estándar de cifrado AES.

Los canales TWDM en el sistema NG-PON2 deben soportar DBA para compartir eficientemente el ancho de banda. Esto no es necesario para los canales PtP WDM [19].

2.2.1.4.6 Seguridad ocular en NG-PON2

Se espera que el sistema NG-PON2 pueda lanzar una potencia total significativamente mayor en las fibras feeder en comparación con las generaciones PON anteriores. Esto se ve reflejado en los niveles de potencia mencionados en este trabajo, de cada una de las tecnologías. Por lo tanto, deben preverse todos los mecanismos necesarios para garantizar que no se produzcan daños oculares a los usuarios finales.

Debido a que el sistema NG-PON2 podría coexistir con otras generaciones de PON y vídeo RF, la potencia óptica total resultante de todas las diferentes longitudes de onda de la fibra debe estar dentro del rango de funcionamiento seguro especificado en cada ubicación, por ejemplo, la clase 1M en las zonas de acceso restringido (OLT y RE(*Reach Extender*)) y Clase 1 en zonas de acceso no restringido como el hogar (ONU) que se muestra en el estándar IEC 60825-2 [15].

2.2.2 ESPECIFICACIONES DE LA CAPA PMD DE NG-PON2

Dentro de las especificaciones de la capa PMD para NG-PON2, se tiene: arquitectura de la ODN, clases de ODN, requisitos de la red óptica y los requisitos de la capa PMD para la opción TWDM PON. Los requisitos de la capa PMD para PtP WDM están fuera del alcance de este trabajo.

2.2.2.1 Arquitectura de la ODN para NG-PON2

La Figura 2.10 muestra la arquitectura multisistema para la coexistencia de NG-PON2 y los sistemas heredados, mientras que la Figura 2.12 muestra la arquitectura de referencia lógica del sistema NG-PON2. Esta arquitectura permite tanto conexiones punto a multipunto (TWDM PON) como conexiones virtuales punto a punto (PtP WDM PON).

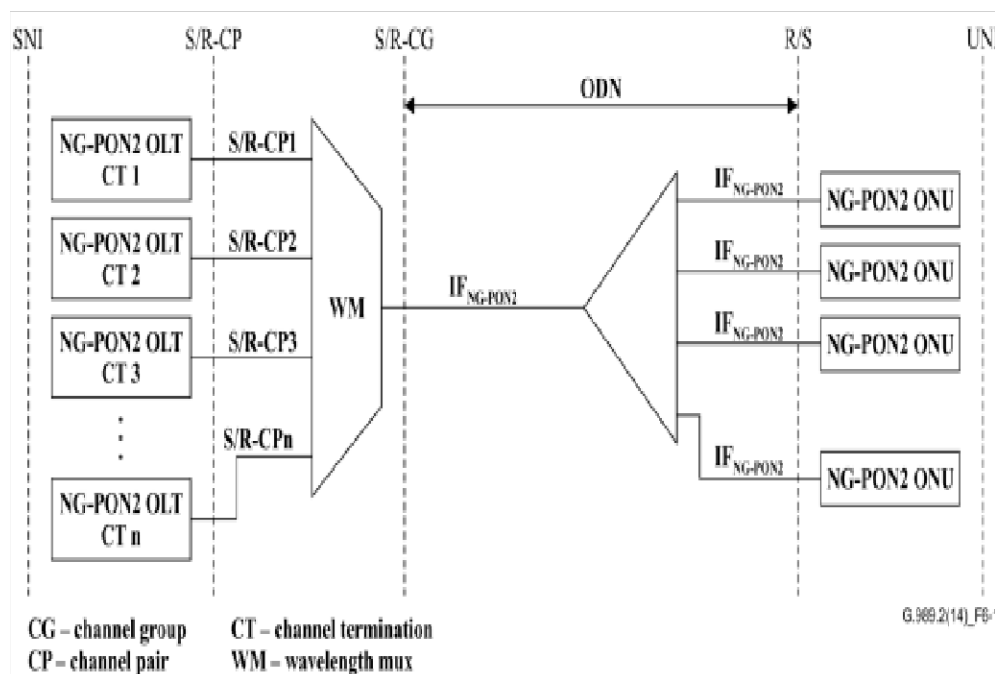


Figura 2.12. Arquitectura lógica de referencia de NG-PON2 [20].

En la Figura 2.12 se tiene los siguientes puntos de referencia:

- S: Interfaz de envío a la red.
- R: Interfaz de recepción desde la red.
- S/R, R/S: Combinación de puntos S y R existente simultáneamente en una sola fibra cuando se opera en modo bidireccional. El punto S/R se refiere al lado de la OLT, el punto R/S se refiere al lado de la ONU.
- IF_{NG-PON2}: Interfaz de NG-PON2 en los puntos de referencia S/R-CG y R/S.

La arquitectura puede ampliarse para admitir múltiples OLT en una ODN común para otros fines, como el despliegue de pago por crecimiento y la flexibilidad espectral [20].

2.2.2.2 Clases de ODN para NG-PON2

Las clases de ODN para NG-PON2 se presentan en la Tabla 2.7. Cada clase se especifica entre los puntos de referencia S/R-CP y R/S de la Figura 2.12.

Tabla 2.7. Clases de ODN para NG-PON2 [20].

	Unidades	Clase N1	Clase N2	Clase E1	Clase E2
Pérdida mínima en la ODN	dB	14	16	18	20
Pérdida máxima en la ODN	dB	29	31	33	35
Máxima pérdida diferencial	dB	15			

Las clases de ODN para NG-PON2 consideran: atenuación de la fibra óptica por kilómetro, atenuación debido al splitter óptico, las atenuaciones debido a empalmes, fusiones, conectores y un margen de seguridad. Estas clases de ODN son las mismas que utiliza XG-PON [14].

2.2.2.3 Requisitos de la red óptica para NG-PON2

2.2.2.3.1 Plan de longitudes de onda para NG-PON2

La Tabla 2.8 se muestra el plan de longitudes de onda de NG-PON2. El espectro TWDM descendente se asigna para evitar posibles interferencias con señales de video de RF y XG-PON [20].

Tabla 2.8. Bandas de longitud de onda para NG-PON2 [20].

Opción TWDM PON		Opción PtP WDM PON
Ascendente	Descendente	Descendente/Ascendente
1596-1603 nm	Banda ancha: 1524-1544 nm Banda reducida: 1528-1540 nm Banda estrecha: 1532-1540 nm	Espectro expandido 1524-1625 nm Espectro compartido 1603-1625 nm

El plan de longitudes de onda de NG-PON2 se especifica para permitir la coexistencia mediante superposición de longitudes de onda con las generaciones PON anteriores. El espectro compartido permite la coexistencia total con G-PON, XG-PON1, superposición de video RF y TWDM. El espectro expandido de PtP WDM PON permite la flexibilidad espectral descrita en el apartado 2.2.1.4.2 y puede utilizarse en ausencia de cualquiera de estos sistemas de coexistencia [20].

2.2.2.3.2 Características sintonizables para el transmisor y el receptor

Una característica clave de NG-PON2 es la capacidad de sintonizar el transmisor y el receptor de la ONU. En la dirección de bajada, se requiere un receptor ONU sintonizable para seleccionar el canal de longitud de onda adecuado. En la dirección ascendente, el transmisor de la ONU se sintoniza para emitir en el canal de longitud de onda deseado.

Una característica específica del dispositivo sintonizable (Rx o Tx óptico) en una ONU NG-PON2 es su tiempo de sintonía, el cual está definido como el tiempo que transcurre desde que el sintonizador deja el canal de longitud de onda de origen hasta que alcanza el canal de longitud de onda de destino. En la Tabla 2.9 se observa las clases de tiempo de sintonía para los transceptores de NG-PON2.

Tabla 2.9. Clases de tiempo de sintonía [20].

Clase de tiempo de sintonía	Tiempo de sintonía
Clase 1	Menor que 10 us
Clase 2	10 us a 25 ms
Clase 3	25 ms a 1 s

2.2.2.4 Requisitos de la capa PMD para la opción TWDM de NG-PON2

Dentro de los requisitos de la capa PMD para TWDM, se aborda: velocidad de línea, codificación de línea y niveles de potencia.

2.2.2.4.1 Velocidad y codificación de línea para TWDM PON

Cada canal TWDM en el grupo de canales de una PON TWDM puede utilizar cualquiera de las opciones de velocidades de línea especificadas en la Tabla 2.10.

Tabla 2.10. Opciones de velocidad de línea de TWDM PON [20].

	Unidades	Velocidad nominal de línea	
		Bajada	Subida
Velocidad básica	Gbits/s	9.95328	2.48832
Opción de velocidad 1	Gbits/s	9.95328	9.95328
Opción de velocidad 2	Gbits/s	2.48832	2.48832

NG-PON2 utiliza la codificación NRZ tanto para la dirección descendente como ascendente y es independiente del alcance físico o de las opciones de velocidades [20].

2.2.2.4.2 Niveles de potencia de TWDM para el enlace de bajada

En las Tablas 2.11 y 2.12 se puede apreciar los niveles de potencia para cada opción de velocidad del enlace de bajada. Los siguientes niveles de potencia son aplicables para los alcances de 20 y 40 km y de 1 a 8 canales TWDM.

Tabla 2.11. Niveles de potencia de TWDM para 2.48832 Gbit/s enlace de bajada [20].

Parámetros	Unidades	Valores			
Tx OLT (S)					
Velocidad nominal de línea	Gbits/s	2.48832			
ORL mínimo de ODN	dB	32			
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Potencia media mínima de lanzamiento del canal	dBm	+0.0	+2.0	+4.0	+6.0
Potencia media máxima de lanzamiento del canal	dBm	+4.0	+6.0	+8.0	+10
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	-15			
Rx ONU (R)					
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Sensibilidad	dBm	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0
Sobrecarga	dBm	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0

Tabla 2.12. Niveles de potencia de TWDM para 9.95328 Gbit/s enlace de bajada [20].

Parámetros	Unidades	Valores			
Tx OLT (S)					
Velocidad nominal de línea	Gbits/s	9.95328			
ORL mínimo de ODN	dB	32			
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Potencia media mínima de lanzamiento del canal	dBm	+3.0	+5.0	+7.0	+9.0
Potencia media máxima de lanzamiento del canal	dBm	+7.0	+9.0	+11.0	+11.0
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	-15			
Rx ONU (R)					
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Sensibilidad	dBm	-28.0	-28.0	-28.0	-28.0
Sobrecarga	dBm	-7.0	-7.0	-7.0	-9.0

En los anexos V y VI se observan todos los parámetros de la opción TWDM de NG-PON2 para las velocidades de 2.48832 y 9.95328 Gbits/s respectivamente en el enlace de bajada. Dentro de estos anexos se encuentran parámetros como: diafonía, jitter, nivel de referencia del BER, espaciamento de canales, entre otros.

2.2.2.4.3 Niveles de potencia de TWDM para el enlace de subida

Los siguientes niveles de potencia son aplicables para los alcances de 20 y 40 km y de 1 a 8 canales TWDM. En las Tablas 2.13 y 2.14 se puede apreciar los niveles de potencia para cada opción de velocidad del enlace de subida.

Tabla 2.13. Niveles de potencia de TWDM para 2.48832 Gbit/s enlace de subida [20].

Parámetros	Unidades	Valores			
Tx ONU (S)					
Velocidad nominal de línea	Gbits/s	2.48832			
ORL mínimo de ODN	dB	32			
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Potencia media mínima de lanzamiento de canal					
- Enlace tipo A ¹¹	dBm	+4	+4	+4	+4
- Enlace tipo B ¹²	dBm	0	0	0	0
Potencia media máxima de lanzamiento del canal					
- Enlace tipo A	dBm	+9	+9	+9	+9
- Enlace tipo B	dBm	+5	+5	+5	+5
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	-15			
Rx OLT (R)					
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Sensibilidad (20 km-4 canales)					
- Enlace tipo A	dBm	-26	-28	-30.5	-32.5
- Enlace tipo B	dBm	-30	-32	-34.5	-36.5
Sobrecarga					
- Enlace tipo A	dBm	-5	-7	-9	-11
- Enlace tipo B	dBm	-9	-11	-13	-15

¹¹ Los valores de los enlaces de tipo A suponen un receptor OLT no amplificado [20].

¹² Los valores del enlace tipo B suponen un receptor OLT amplificado con el amplificador en el punto de referencia S/R-CG [20].

Tabla 2.14. Niveles de potencia de TWDM para 9.95328 Gbit/s enlace de subida [20].

Parámetros	Unidades	Valores			
Tx ONU (S)					
Velocidad de línea nominal	Gbits/s	9.95328			
ORL mínimo de ODN	dB	32			
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Potencia media mínima de lanzamiento del canal					
- Enlace tipo A	dBm	+4	+4	+4	NA
- Enlace tipo B	dBm	+2	+2	+2	+4.0
Potencia media máxima de lanzamiento del canal					
- Enlace tipo A	dBm	+9	+9	+9	NA
- Enlace tipo B	dBm	+7.0	+7.0	+7.0	+9.0
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	-15			
Rx OLT (R)					
Clase ODN		N1	N2	E1	E2
Sensibilidad (20 km-4 canales)					
- Enlace tipo A	dBm	-26	-28	-30.5	NA
- Enlace tipo B	dBm	-28	-30	-32.5	-32.5
Sobrecarga					
- Enlace tipo A	dBm	-5	-7	-9	NA
- Enlace tipo B	dBm	-7	-9	-11	-11

En los anexos VII y VIII se encuentran todos los parámetros de la opción TWDM de NG-PON2 para las velocidades de 2.48832 y 9.95328 Gbits/s respectivamente en el enlace subida. Dentro de estos anexos se encuentran parámetros como: diafonía, jitter, espaciado de canales, entre otros.

2.2.3 ESCENARIOS DE COEXISTENCIA DE NG-PON2 CON GENERACIONES ANTERIORES

La coexistencia permite una transición fluida de las generaciones PON anteriores hacia NG-PON2, lo que facilita la migración y el despliegue de nuevas conexiones PON según sea necesario sin interrumpir el servicio. Para una máxima flexibilidad, el sistema NG-PON2 debe poder coexistir con G-PON y XG-PON1 en la misma ODN.

Para permitir la coexistencia, el sistema NG-PON2 debe poder reutilizar los divisores de potencia ópticos PON existentes y también debe operar en el espectro utilizable no ocupado por las PON heredadas en un despliegue particular. Sin embargo, el sistema NG-PON2 puede volver a utilizar el espectro asignado al sistema PON heredado si no coexiste con el mismo. NG-PON2 debe proporcionar coexistencia en toda la ODN de extremo a extremo, incluida la coexistencia en la fibra feeder como se observa en la Figura 2.13.

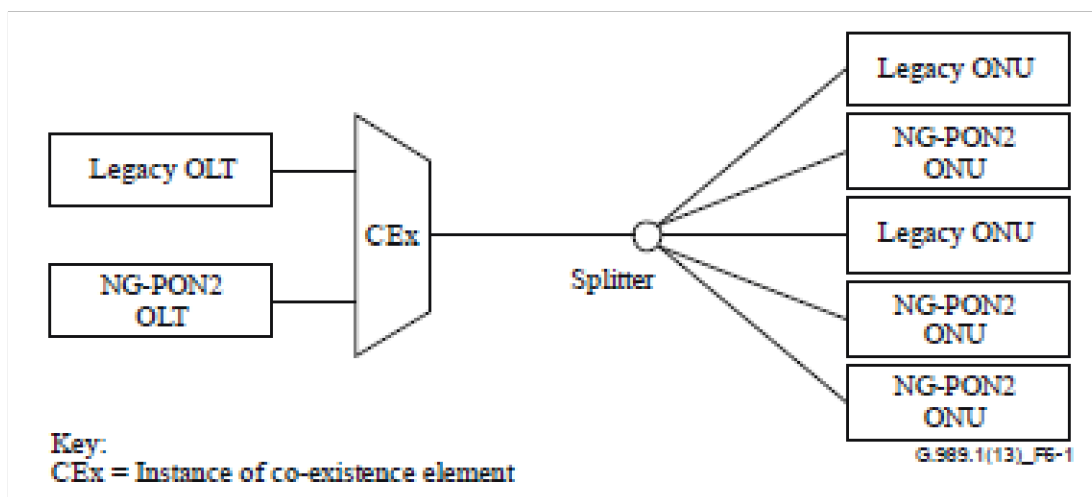


Figura 2.13. Escenario de coexistencia de la ODN [19].

El sistema NG-PON2 utiliza el elemento CEx para lograr la coexistencia con los sistemas heredados PON. El elemento CEx es un dispositivo multiplexor/demultiplexor WM que permite combinar o aislar longitudes de onda de señales NG-PON2, PON heredadas y de video RF.

En la Figura 2.14 se puede observar un ejemplo de escenario de coexistencia entre NG-PON2, G-PON y video RF. En este escenario NG-PON2 utiliza cuatro longitudes de onda para los enlaces de bajada y 4 longitudes de onda para el enlace de subida, las cuales se multiplexan por un WM mientras que G-PON utiliza una longitud para su enlace de bajada y una longitud de onda para su enlace de subida. Además, también se tiene una longitud de onda de diferente a G-PON y NG-PON2, utilizada para la distribución de video RF. Todo

este conjunto de longitudes de onda se combina en el elemento de coexistencia y se transmiten a través de un hilo de fibra hacia las ONU.

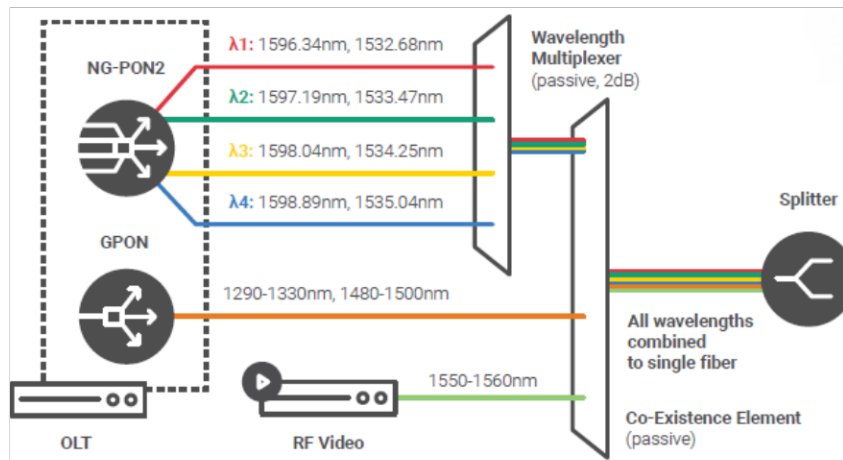


Figura 2.14. Coexistencia de NG-PON2, G-PON y video RF [33].

Por otro lado, en la Figura 2.15 se puede visualizar el mapa de las bandas de longitud de onda cuando se da la coexistencia completa de NG-PON2 con tecnologías PON anteriores, video RF y sistemas de supervisión como el OTDR. En la figura se observan las bandas de guarda las cuales son necesarias para evitar interferencias entre las distintas tecnologías cuando se da la coexistencia completa.

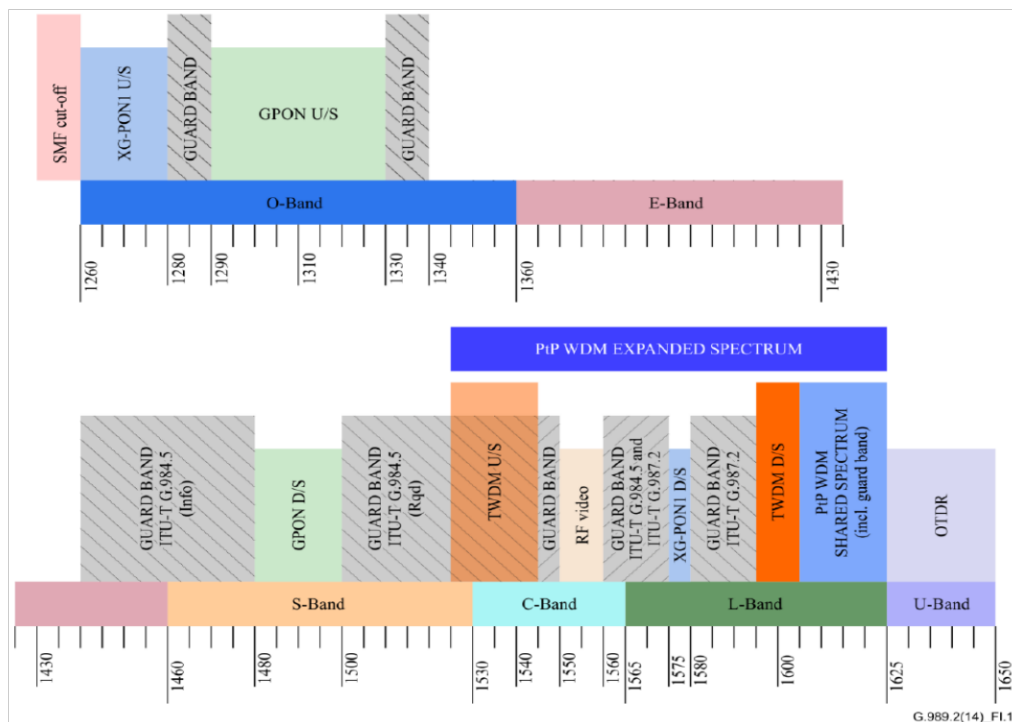


Figura 2.15. Plan de longitudes de onda de NG-PON2-Representación de la coexistencia [20].

2.2.4 ESCENARIOS DE MIGRACIÓN DE NG-PON2

Los dos posibles escenarios de migración para NG-PON2 al igual que en XGS-PON son el de Brownfield y Greenfield. El sistema NGPON2 debería permitir una transición tecnológica sin interrumpir el servicio durante largos períodos de tiempo. Los clientes individuales deben poder actualizar a pedido y deben admitir la ruta de migración de G-PON a NG-PON2 y la ruta de migración de XG-PON1 a NG-PON2.

Para realizar la ruta de migración, existen tres opciones que difieren en el nivel de flexibilidad:

- **Migración directa:** Esta es una ruta de migración directa de G-PON a NG-PON2 a través de XG-PON. Esto requiere una migración completa de G-PON a XG-PON antes de actualizar a NG-PON2. Esta opción de migración se puede lograr eliminando G-PON de la ODN y reutilizando la ventana de longitud de onda de PON, lo que permite que la tecnología NG-PON2 coexista con XG-PON [19].
- **Migración flexible:** La migración flexible cubre una ruta de migración directa de G-PON a NG-PON2. La migración flexible requiere un sistema NG-PON2 que también pueda coexistir con G-PON.
- **Migración integral:** El nivel más alto de flexibilidad se logra con el sistema NGPON2, donde pueden coexistir G-PON, XG-PON y NG-PON2. La opción de integración completa es la más difícil porque requiere el uso de una amplia gama de longitudes de onda ópticas. La capacidad de NG-PON2 para coexistir con los sistemas G-PON y XG-PON brinda más flexibilidad para actualizar a XG-PON a corto plazo y migrar a NG-PON2 en el futuro. Esto también permite la migración directa de G-PON a NG-PON2. Esta es la opción preferida ya que hace que la ODN heredada sea viable y brinda a los operadores un alto grado de flexibilidad [19].

2.2.5 BENEFICIOS DE NG-PON2

La tecnología NG-PON2 brinda algunos beneficios, entre los cuales se puede destacar:

- **Coexistencia y ahorro de costos:** Actualizar las tecnologías PON heredadas a NG-PON2 es posible, ya que ambas utilizan la misma infraestructura principal. Esto significa que todos los cables, armarios, divisores, fibras y otros activos físicos siguen siendo los mismos. Por lo tanto, reutilizar la infraestructura ODN de la tecnología PON heredada reduce los costos.

- **Velocidades de conexión mejoradas:** Inicialmente, NG-PON2 proporcionará una capacidad agregada de 40 Gbits/s en el enlace de bajada y una capacidad agregada de 10 Gbits/s para el enlace de subida. Además, tiene una meta de 160 Gbits/s para el enlace de bajada y 80 Gbits/s para el enlace de subida. Estas velocidades son sumamente superiores a tecnologías PON anteriores como G-PON que poseen velocidades máximas de hasta 2.5 Gbits/s.
- **Capacidad simétrica y aumento de productividad:** NG-PON2 tiene la capacidad de ofrecer velocidades de línea simétricas de hasta 10 Gbits/s. Estas velocidades de línea simétrica son requeridas principalmente por usuarios empresariales para una mejor comunicación con sus clientes (transferencia de datos en tiempo real), por lo tanto, NG-PON2 también aumenta la productividad de las empresas.
- **Mayor alcance:** NG-PON2 tiene un mayor alcance que tecnologías PON anteriores. Mientras que el alcance máximo para las tecnologías PON anteriores es de 20 km, NG-PON2 tiene un alcance de 40 km sin extensores y un alcance de 60 km con extensores.
- **Mayor capacidad de usuarios:** NG-PON2 tiene la capacidad de albergar más usuarios que tecnologías PON anteriores ya que tiene una relación mínima de división de 1:256 con capacidad de ampliarse mucho más. Si se compara esta relación de división con G-PON, se observa que es sumamente superior ya que G-PON posee una relación de división máxima de 1:128
- **Alta escalabilidad:** NG-PON2, al utilizar la tecnología TWDM, tiene la capacidad de añadir o quitar canales, por lo que brinda una mayor escalabilidad es decir la capacidad de añadir más usuarios a su red. NG-PON2 puede añadir hasta 8 canales.
- **Pago según el crecimiento:** NG-PON2, permite a los usuarios de todo tipo actualizar y ampliar su capacidad cuando estos tengan los recursos y así lo requieran. Es importante escalar gradualmente según el tamaño o las necesidades del usuario. Esta es una excelente opción para que las pequeñas empresas actualicen el servicio TWDM-PON a medida que crecen, adaptándose a las necesidades de cada usuario individual. Además, permite a los operadores expandir su negocio a medida que las pequeñas empresas crecen y actualizan sus conexiones.

3 RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este capítulo se procede a realizar el análisis técnico comparativo entre XGS-PON y NG-PON2 en términos de arquitectura, funcionamiento, velocidades de transmisión, características de la fibra óptica, alcance, longitud de onda de operación, relación de máxima división de los splitters, servicios soportados, requisitos de sistema, niveles de potencia, clases de ODN y escenarios de migración y coexistencia.

3.1 RESULTADOS

3.1.1 ANÁLISIS TÉCNICO COMPARATIVO ENTRE LAS REDES DE ACCESO XGS-PON Y NG-PON2

3.1.1.1 Comparación de arquitectura y funcionamiento

En términos de arquitectura, tanto XGS-PON como NG-PON2 poseen arquitecturas punto a multipunto en las cuales la OLT se conecta a las ONU u ONT mediante la ODN. Además, ambas tecnologías pueden utilizar extensores de alcance para lograr una mayor cobertura si así lo requieren. Para la distribución total del tráfico en la red utilizan la técnica de TDM para el enlace de bajada y TDMA para el enlace de subida.

La principal diferencia radica en el funcionamiento de cada tecnología. XGS-PON utiliza WDM para transportar el tráfico de bajada en una longitud de onda y el tráfico de subida en otra longitud de onda por un mismo hilo de fibra. Por otro lado, NG-PON2 puede utilizar TWDM PON o PtP WDM PON para su funcionamiento, donde se utilizan al menos 4 longitudes de onda para el tráfico de bajada y 4 longitudes de onda para el tráfico de subida, esto implica que los transmisores y receptores de las ONU deben ser sintonizables, es decir deben admitir múltiples longitudes de onda. El uso de transmisores y receptores sintonizables supone el uso de diferentes ONU y de configuraciones diferentes en la OLT con respecto a las que se han venido utilizando en generaciones anteriores.

Por lo tanto, es más complicado implementar una red óptica NG-PON2 frente a XGS-PON ya que XGS-PON no requiere el uso de nuevas ONU ni de configuraciones adicionales en la OLT para su implementación. XGS-PON requiere simplemente la actualización de la tarjeta de línea de la OLT a 10 Gbits/s.

3.1.1.2 Comparación de velocidades de transmisión

En la tabla 3.1 se puede observar claramente que NG-PON2 tiene velocidades de transmisión más elevadas que XGS-PON y además posee distintas configuraciones de velocidades para distintos usos. Esta diferencia de velocidades se da porque NG-PON2 utiliza TDWM donde se realiza la agregación de canales para alcanzar la velocidad de 40 Gbits/s de subida y 10 Gbits/s ya que cada canal contiene un enlace de subida con 2.5 Gbit/s y un enlace de bajada con 10 Gbits/s.

Tabla 3.1. Velocidades de transmisión de XGS-PON y NG-PON2.

	Unidades	XGS-PON	NG-PON2
Bajada	Gbits/s	10	40, 10
Subida	Gbits/s	10, 2.5	10, 2.5

3.1.1.3 Comparación de alcance

En la Tabla 3.2 se puede observar los alcances máximos y mínimos de XGS-PON y NG-PON2. Se observa que XGS-PON tiene un alcance mínimo de 20 km mientras que NG-PON2 tiene un alcance mínimo de 40 km. Ambas tecnologías tienen un alcance máximo de 60 km utilizando extensores de alcance y poseen una distancia máxima diferencial de fibra de 40 km.

Tabla 3.2. Alcances de XGS-PON y NG-PON2.

	Unidades	XGS-PON	NG-PON2
Alcance mínimo	km	20	40
Alcance máximo	km	60	60
Distancia máxima diferencial de fibra	km	40	40

3.1.1.4 Comparación de longitudes de onda de operación

En la Tabla 3.3 se sintetiza las longitudes de onda de operación de XGS-PON y NG-PON2 en base a lo indicado en el capítulo 2. Como se puede observar XGS-PON está regido a una longitud de onda de subida y una longitud de bajada dependiendo del conjunto que se utilice, mientras que NG-PON2 posee una alta gama de longitudes de onda para su operación. Ambas tecnologías permiten diferentes opciones de longitud de onda para la coexistencia con generaciones PON anteriores.

Tabla 3.3. Longitudes de onda de operación de XGS-PON y NG-PON2.

Tipo de enlace	Tecnología			
	XGS-PON		NG-PON2	
	Conjunto Básico	Conjunto Opcional	Opción TWDM PON	Opción PtP WDM PON
Enlace Descendente	1575-1580 nm (1577 nm)	1480-1500 nm (1490 nm)	1596-1603 nm	Espectro expandido: 1524-1625 nm Espectro compartido: 1603-1625 nm
Enlace Ascendente	1260-1280 nm (1270 nm)	1300-1320 nm (1310 nm)	Banda ancha: 1524-1544 nm Banda reducida: 1528-1540 nm Banda estrecha: 1532-1540 nm	

Por lo tanto, se concluye que NG-PON2 tiene más flexibilidad espectral que XGS-PON, lo que le permite coexistir con otras tecnologías sin causar interferencias. Esto no sucede en XGS-PON cuando utiliza el conjunto básico de longitudes de onda en el cual utiliza las mismas longitudes de onda que XG-PON y tiene que utilizar TDM/TDMA para poder coexistir con esta tecnología.

3.1.1.5 Comparación de características de la fibra óptica

Como se puede visualizar en la Tabla 3.4, tanto XGS-PON como NG-PON2 utilizan la fibra óptica monomodo definida en el estándar ITU-T G.652.D para el despliegue de la red feeder y la red de distribución de sus respectivos sistemas, mientras que para la sección de cableado interior o la sección drop suelen utilizar la fibra óptica monomodo insensible a pérdidas por flexión definida en la norma ITU-T G.657.A.

Los sistemas NG-PON2 y XGS-PON utilizan estas fibras debido a que poseen niveles de atenuación bajos en sus respectivos rangos de longitud de onda de operación.

Tabla 3.4. Fibra óptica utilizada para XGS-PON y NG-PON2.

	XGS-PON	NG-PON2
Segmento feeder y distribución	ITU-T G.652.D	ITU-T G.652.D
Segmento drop	ITU-T G.657.A	ITU-T G.657.A

3.1.1.6 Comparación de relación de división de los splitters

En la tabla 3.5 se visualiza claramente que NG-PON2 tiene una relación de división de los splitters más elevada que XGS-PON. La tecnología XGS-PON tiene una relación mínima de división de los splitters de 1:128 y una relación máxima de 1:256, mientras que la

tecnología NG-PON2 tiene una relación mínima de división de los splitters de 1:256, con capacidad de tasas más elevadas si en el futuro la demanda así lo requiere. Esto significa que NG-PON2 tiene capacidad de albergar más usuarios que XGS-PON.

Tabla 3.5. Relación de división de los splitters de XGS-PON y NG-PON2.

	XGS-PON	NG-PON2
Relación de división mínima	1:128	1:256
Relación de división máxima	1:256	>1:256 (según la demanda)

3.1.1.7 Comparación de servicios soportados

El soporte de los servicios depende de las velocidades de transmisión ofrecidas por las tecnologías y su capacidad de manejo de estos. XGS-PON y NG-PON2, al ser tecnologías de nueva generación con altas velocidades de transmisión, pueden manejar todos los servicios que ofrecían las tecnologías PON anteriores dentro de los cuales se tiene:

- Telefonía
- Televisión en tiempo real
- Línea dedicada
- Internet de alta velocidad
- Red troncal de telefonía móvil
- Servicios L2VPN
- Servicios IP

Además, ambas tecnologías cumplen con el requisito de retardo máximo de transferencia de señal de 1.5 ms y pueden transportar tramas Ethernet de tamaños entre 2000 y 9000 bytes para cumplir con los requerimientos de servicios exigentes y mejorar la eficiencia de transmisión. Entonces, ambas tecnologías no presentan problemas al tener que soportar servicios ofrecidos por tecnologías anteriores.

3.1.1.8 Comparación de requisitos de sistema

En lo que a requisitos de sistema se refiere, ambas tecnologías tienen en común los siguientes requisitos de sistema:

- Ahorro de energía

- Resistencia y protección
- Autenticación, identificación y cifrado
- Asignación dinámica de ancho de banda
- Seguridad ocular

Sin embargo, NG-PON2 posee requisitos de sistema adicionales como las ONU colorless y la flexibilidad espectral debido a que es una tecnología TWDM PON. Entonces, NG-PON2 posee requisitos de sistema más complejos que XGS-PON lo que la hace menos factible de implementar.

3.1.1.9 Comparación de niveles de potencia de la OLT y la ONU

Tabla 3.6. Niveles de potencia de la OLT y la ONU de XGS-PON y NG-PON2 para enlace descendente de 10 Gbits/s .

Ítem	Unidades	XGS-PON			NG-PON2		
		N1	N2	E1	N1	N2	E1
OLT							
Potencia mínima de lanzamiento	dBm	+2	+4	+6	+3	+5	+7
Potencia máxima de lanzamiento	dBm	+5	+7	+9	+7	+9	+11
ONU							
Sensibilidad	dBm	-28	-28	-28	-28	-28	-28
Sobrecarga	dBm	-9	-9	-9	-7	-7	-7

Tabla 3.7. Niveles de potencia de la OLT y la ONU de XGS-PON y NG-PON2 para enlace ascendente de 10 Gbits/s.

Ítem	Unidades	XGS-PON			NG-PON2		
		N1	N2	E1	N1	N2	E1
ONU							
Potencia mínima de lanzamiento	dBm	+4	+4	+4	+4	+4	+4
Potencia máxima de lanzamiento	dBm	+9	+9	+9	+9	+9	+9
OLT							
Sensibilidad	dBm	-26	-28	-30	-26	-28	-30.5
Sobrecarga	dBm	-5	-7	-9	-5	-7	-9

La comparación de los niveles de potencia de la OLT y la ONU entre XGS-PON y NG-PON2 se realizan para las velocidades de 10 Gbits/s tanto en sentido descendente como sentido ascendente y con las potencias de la opción TWDM de NG-PON2. Se realiza esta comparación ya que XGS-PON trabaja principalmente con estas velocidades. Además, en opción TWDM de NG-PON2 para el enlace ascendente se toma en cuenta las potencias

con enlace tipo A, ya que este enlace utiliza un receptor OLT no amplificado, el cual concuerda con los niveles de potencia de XGS-PON donde no se utiliza un receptor amplificado.

Como se puede observar en las Tablas 3.6 y 3.7, casi no existe diferencia de potencias de lanzamiento en el enlace ascendente mientras que en enlace descendente si existe una ligera diferencia de potencias de lanzamiento. En el enlace descendente, se observa una diferencia de 1 dB entre las distintas clases de ODN para la potencia mínima de lanzamiento de la OLT y una diferencia de 2 dB para la potencia máxima de lanzamiento de la OLT. En cambio, en la ONU existe una diferencia de 2 dB en la sobrecarga mientras que para la sensibilidad no existe diferencia alguna.

Se observa que NG-PON2 tiene potencias de lanzamiento mayores que XGS-PON en el enlace descendente y por tanto tiene una mayor tolerancia a la sobrecarga en la ONU. Esto se da debido a que NG-PON2 tiene que alcanzar mayores velocidades de transmisión que XGS-PON y tiene que lidiar con problemas de diafonía presentes en la técnica TWDM.

3.1.1.10 Comparación de clases de ODN

NG-PON2 conserva las mismas clases de ODN que XGS-PON cuando XGS-PON trabaja con el conjunto básico de longitudes onda. Sin embargo, XGS-PON tiene 2 clases de ODN adicionales para el conjunto opcional de longitudes de onda, las cuales sirven para la coexistencia con generaciones PON anteriores. Esto se puede evidenciar en la Tabla 3.8, en la cual se detalla las clases de ODN recomendadas para XGS-PON y NG-PON2.

Tabla 3.8. Clases de ODN para XGS-PON y NG-PON2.

Parámetro	Unidades	XGS-PON						NG-PON2			
		Conjunto básico de longitudes de onda				Conjunto Opcional de longitudes de onda					
		N1	N2	E1	E2	B+	C+	N1	N2	E1	E2
Pérdida mínima en la ODN	dB	14	16	18	20	13	17	14	16	18	20
Pérdida máxima en la ODN	dB	29	31	33	35	28	32	29	31	33	35

3.1.1.11 Comparación de escenarios de migración y de coexistencia

Tanto XGS-PON como NG-PON2 tienen la posibilidad de coexistir con generaciones anteriores ya que sus bandas de operación se encuentran fuera del rango de las bandas

de operación de las tecnologías PON anteriores. La coexistencia con generaciones anteriores para ambas tecnologías se da con elementos multiplexores/demultiplexores WDM. Para el caso de XGS-PON se utiliza el elemento WDM1r mientras que para NG-PON2 se utiliza el elemento CEx. En lo que a escenarios de migración se refiere, ambas tecnologías poseen las opciones de escenario de migración brownfield o greenfield.

3.2 CONCLUSIONES

En el presente trabajo de integración curricular se ha realizado un análisis técnico comparativo de las redes de acceso XGS-PON y NG-PON2, partiendo de las recomendaciones realizadas por parte de la ITU para cada una de las tecnologías. Como resultado de todo el análisis realizado, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- En términos de arquitectura, se pudo evidenciar que NG-PON2 es más difícil de implementar ya que es la primera red de acceso que utiliza la tecnología TWDM para su funcionamiento, lo cual implica tener que utilizar transmisores y receptores sintonizables en su arquitectura, en tanto que XGS-PON al utilizar una longitud de onda para el enlace de bajada y otra longitud de onda para el enlace de subida, usa los mismos transmisores y receptores que se han venido utilizando en redes predecesoras solo que con una mejora en su capacidad de transmisión y recepción.
- Se pudo evidenciar en el análisis técnico realizado que tanto XGS-PON como NG-PON2 tienen capacidad para soportar los mismos servicios y cumplir con los requerimientos de transferencia de señal de una red PON de 1.5 ms. Sin embargo, NG-PON2 puede utilizar múltiples longitudes de onda para gestionar la capacidad de la PON, por lo que, a medida que aumenta y se diversifican los servicios, la capacidad de la PON se puede redistribuir fácilmente, sin afectar a la prestación de los servicios existentes. Esto no sucede en XGS-PON ya que se encuentra sujeta a una longitud de onda y a una capacidad máxima.
- Dadas las características de velocidades de transmisión y capacidad de gestionar la demanda se puede concluir que, XGS-PON está orientado más al sector empresarial, donde se necesita velocidades de línea simétricas para la comunicación y transmisión de datos en tiempo real mientras que NG-PON2 está orientado a usuarios residenciales (consumo de video en 4K), soporte al backhaul móvil y soporte de nuevas tecnologías (IoT, 5G) ya que todos estos implican una gran demanda de ancho de banda y velocidades de transmisión más elevadas.

- Tanto NG-PON2 como XGS-PON poseen alcances máximos similares, los cuales son superiores a tecnologías anteriores como G-PON y permiten tener una mayor cobertura.
- En términos de albergar más usuarios en la red PON, NG-PON2 es superior a XGS-PON ya que posee relaciones de división de los splitters más elevadas.
- Los requisitos de sistema para XGS-PON y NG-PON2 en su mayoría son similares debido a que son redes de nueva generación y deben cumplir con requisitos como: ahorro de energía, asignación dinámica de ancho de banda, seguridad, resistencia y protección. Sin embargo, en términos de seguridad ocular se debe tener un poco más de precaución en NG-PON2 ya que sus potencias de lanzamiento son mayores a las de XGS-PON.
- Debido a que NG-PON2 y XGS-PON utilizan longitudes de onda que están fuera del espectro asignado a G-PON y video RF, todas estas tecnologías pueden coexistir en la misma fibra. Como resultado, los usuarios tienen la posibilidad de acceder a una amplia gama de servicios y opciones de velocidad que antes no podían acceder debido a las limitaciones de las redes PON de generaciones anteriores.
- En base al análisis técnico realizado, se concluye que la red de acceso óptica pasiva NG-PON2 es mejor que XGS-PON debido a que ofrece mayores beneficios en ámbitos como velocidades de transmisión, capacidad de albergar usuarios, capacidad de gestionar el tráfico, flexibilidad espectral; y es similar a XGS-PON en ámbitos como alcance, características de la fibra óptica y clases de ODN.

3.3 RECOMENDACIONES

Después de haber desarrollado el análisis técnico comparativo entre XGS-PON y NG-PON2, se realizan las siguientes recomendaciones que permitirán conocer más a fondo estas tecnologías.

- Se recomienda realizar un análisis técnico comparativo a nivel de capa de convergencia de transmisión entre estas dos tecnologías, para determinar las diferencias o semejanzas a nivel de esta capa y así poder complementar este estudio.

- Se recomienda realizar el estudio de los requerimientos de la capa PMD de la opción de PtP de NG-PON2 para observar qué tan factible es frente a TWDM y en qué escenarios se aplicaría esta tecnología.
- Se recomienda realizar un análisis de factibilidad económica y legal tanto para XGS-PON como NG-PON2, para así poder determinar qué tan viable es la implementación de estas nuevas tecnologías en el país.
- Se recomienda realizar el análisis técnico comparativo entre las redes de acceso NG-PON2 y 50G-EPON para determinar cuáles son las mejoras que existen con respecto a NG-PON2.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] CISCO, “Cisco Annual Internet Report (2018–2023),” 2020. Accessed: May 05, 2021. [Online]. Available: <https://bit.ly/3dsfdWk>.
- [2] V. Khosia, “A Comprehensive Review of Recent Advancement in Optical Communication Networks,” *Int. J. Comput. Sci. Eng.*, vol. 6, no. 9, pp. 617–626, Sep. 2018, doi: 10.26438/IJCSE/V6I9.617626.
- [3] CATELSA, “Soluciones FTTX.” <http://www.catelsa.com.pe/soluciones-FTTX.php> (accessed Dec. 08, 2021).
- [4] R. Timmerman, J. Ekstrom, M. Chair, B. Bailey, and B. Lunt, “Open Access Fiber to the Home Networking,” Brigham Young University, 2009.
- [5] S. Weinstein, “Introduction to digital transmission,” *Acad. Press Libr. Mob. Wirel. Commun. Transm. Tech. Digit. Commun.*, pp. 1–48, Jan. 2016, doi: 10.1016/B978-0-12-398281-0.00001-6.
- [6] X. Wang, “Insights into Next-Generation PON Evolution - ztetechnologies,” Jul. 12, 2012. https://www.zte.com.cn/global/about/magazine/zte-technologies/2012/4/en_572/325632.html (accessed Feb. 10, 2022).
- [7] ITU-T, “Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales.” <https://www.itu.int/rec/T-REC-G/es> (accessed Nov. 30, 2021).
- [8] Recommendation ITU-T G.984.1, “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.” 2008.
- [9] Recommendation ITU-T G.984.5, “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Enhancement band.” 2014.
- [10] Recommendation ITU-T G.984.2, “Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification.” 2019.
- [11] Recommendation ITU-T G.9807.1, “10-Gigabit-capable symmetric passive optical network (XGS-PON),” 2016.
- [12] Recommendation ITU-T G.652, “Characteristics of a single-mode optical fibre and cable.” 2016.
- [13] Recommendation ITU-T G.657, “Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fibre and cable.” 2016.

- [14] Recommendation ITU-T G.987.2, "10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification." 2016.
- [15] IEC 60825-2:2021, "Safety of laser products - Part 2: Safety of optical fibre communication systems (OFCSs)." 2021.
- [16] Rockwell Laser Industries, "Laser Standards and Classifications." <https://www.rli.com/resources/articles/classification.aspx> (accessed Jan. 24, 2022).
- [17] ITU-T G.987.1, "10 Gigabit-Capable Passive Optical Networks (XG-PON): General Requirements," 2016.
- [18] V. Chávez, "Guía de cable de fibra óptica ," Nov. 27, 2017. <https://esemanal.mx/2017/11/104962/> (accessed Feb. 22, 2022).
- [19] ITU-T Recommendation G.989.1, "40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements." 2013.
- [20] Recommendation ITU-T G.989.2 (2019) – Amendment 1, "40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification." 2020.
- [21] D. Nasset, "NG-PON2 technology and standards," *J. Light. Technol.*, vol. 33, no. 5, pp. 1136–1143, Mar. 2015, doi: 10.1109/JLT.2015.2389115.
- [22] B. Geller *et al.*, "An upstream multi-wavelength shared PON based on tunable self-seeding Fabry-Pérot laser diode for upstream capacity upgrade and wavelength multiplexing," *Opt. Express*, Vol. 19, Issue 9, pp. 8000-8010, vol. 19, no. 9, pp. 8000–8010, Apr. 2011, doi: 10.1364/OE.19.008000.
- [23] D. Liang, D. Liang, M. Fiorentino, S. Srinivasan, J. E. Bowers, and R. G. Beausoleil, "Low Threshold Electrically-Pumped Hybrid Silicon Microring Lasers," *IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron.*, vol. 17, no. 6, pp. 1528–1533, Nov. 2011, Accessed: Jan. 23, 2022. [Online]. Available: https://www.academia.edu/4650873/Low_Threshold_Electrically_Pumped_Hybrid_Silicon_Microring_Lasers.
- [24] A. Kato, K. Nakatsuhara, and T. Nakagami, "Tunable optical filter with cascaded waveguide Fabry-Pérot resonators featuring liquid crystal cladding," *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 24, no. 4, pp. 282–284, 2012, doi: 10.1109/LPT.2011.2177452.
- [25] R. Murano, W. Sharfin, and M. Cahill, "Tunable 2.5Gb/s receiver for wavelength-agile

- DWDM-PON,” 2008.
- [26] G. W. Yoffe, S. Y. Zou, S. A. Rishton, R. W. Olson, M. A. Emanuel, and B. Pezeshki, “Widely-tunable 30mW laser source with sub-500kHz linewidth using DFB array,” *Conf. Proc. - Lasers Electro-Optics Soc. Annu. Meet.*, pp. 892–893, 2008, doi: 10.1109/LEOS.2008.4688909.
- [27] D. Ton *et al.*, “2.5-Gb/s modulated widely tunable laser using an electroabsorption modulated DFB array and MEMS selection,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 16, no. 6, pp. 1573–1575, Jun. 2004, doi: 10.1109/LPT.2004.827123.
- [28] Y. Liu, A. R. Davies, J. D. Ingham, R. V. Penty, and I. H. White, “Uncooled DBR laser directly modulated at 3.125 Gb/s as athermal transmitter for low-cost WDM systems,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 17, no. 10, pp. 2026–2028, Oct. 2005, doi: 10.1109/LPT.2005.856367.
- [29] P. Ossieur *et al.*, “Demonstration of a 32×512 split, 100 km reach, 2×32×10 gb/s hybrid DWDM-TDMA pon using tunable external cavity lasers in the onus,” *J. Light. Technol.*, vol. 29, no. 24, pp. 3705–3718, 2011, doi: 10.1109/JLT.2011.2173459.
- [30] F. Wei *et al.*, “Tunable external cavity diode laser with a PLZT electrooptic ceramic deflector,” *IEEE Photonics Technol. Lett.*, vol. 23, no. 5, pp. 296–298, 2011, doi: 10.1109/LPT.2010.2103936.
- [31] J. Zheng, C. Ge, C. J. Wagner, L. Meng, B. T. Cunningham, and J. G. Eden, “Optically tunable ring external-cavity laser,” *IEEE Photonic Soc. 24th Annu. Meet. PHO 2011*, pp. 644–645, 2011, doi: 10.1109/PHO.2011.6110713.
- [32] Y. Luo *et al.*, “Time- and wavelength-division multiplexed passive optical network (TWDM-PON) for next-generation PON stage 2 (NG-PON2),” *J. Light. Technol.*, vol. 31, no. 4, pp. 587–593, 2013, doi: 10.1109/JLT.2012.2215841.
- [33] CALIX, “Next-Generation PON: Eliminating physical constraints from the access network,” 2020. <https://bit.ly/3ubj2pA> (accessed Nov. 24, 2021).
- [34] Multimedia over Coax Alliance, “MoCA Frequently Asked Questions.” <https://mocalliance.org/about/faqs.php> (accessed Jan. 24, 2022).
- [35] EXFO, “SyncE Synchronous Ethernet synchronization.” <https://www.exfo.com/es/recursos/glosario/synce/> (accessed Jan. 03, 2022).
- [36] S. Font, “G.fast: acceso Gigabit a través del cableado telefónico - Teldat Blog -

- Connectando el mundo.” <https://www.teldat.com/blog/es/gfast-acceso-gigabit-familia-xdsl/> (accessed Jan. 03, 2022).
- [37] TERRATEL, “V5.2 Protocol Architecture .” <https://www.terratel.eu/v5-2-protocol-architecture.html> (accessed Jan. 24, 2022).
- [38] RF Wireless World, “OTN Interfaces | Difference between OTU1,OTU2,OTU3,OTU4.” <https://www.rfwireless-world.com/Terminology/OTN-Interfaces-OTU1-OTU2-OTU3-OTU4.html> (accessed Jan. 03, 2022).

5 ANEXOS

ANEXO I. Atributos del estándar ITU-T G.652.D

ANEXO II. Atributos del estándar ITU-T G.657.A

ANEXO III. Parámetros de XGS-PON para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada

ANEXO IV. Parámetros de XGS-PON para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de subida

ANEXO V. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 2.48832 Gbits/s para el enlace de bajada

ANEXO VI. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada

ANEXO VII. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 2.48832 Gbits/s para el enlace de subida

ANEXO VIII. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de subida

ANEXO I. Atributos del estándar ITU-T G.652.D

Fibre attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Mode field diameter	Wavelength	1310	nm
	Range of nominal values	8.6-9.2	μm
	Tolerance	± 0.4	μm
Cladding diameter	Nominal	125.0	μm
	Tolerance	± 0.7	μm
Core concentricity error	Maximum	0.6	μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0	%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260	nm
Macrobending loss	Radius	30	mm
	Number of turns	100	
	Maximum at 1625 nm	0.1	dB
Proof stress	Minimum	0.69	GPa
Chromatic dispersion parameter	$\lambda_{0\text{min}}$	1300	nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324	nm
3-term Sellmeier fitting (1260 nm to 1460 nm)	$S_{0\text{min}}$	0.073	$\text{ps}/(\text{nm}^3 \times \text{km})$
	$S_{0\text{max}}$	0.092	$\text{ps}/(\text{nm}^3 \times \text{km})$
Linear fitting (1460 nm to 1625 nm)	Minimum at 1550 nm	13.3	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Maximum at 1550 nm	18.6	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Minimum at 1625 nm	17.2	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Maximum at 1625 nm	23.7	$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
Cable attributes			
Attribute	Detail	Value	Unit
Attenuation coefficient (Note 1)	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.40	dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm after hydrogen ageing (Note 3)	0.40	dB/km
	Maximum at 1530-1565 nm	0.30	dB/km
PMD coefficient (Note 4,5)	M	20	cables
	Q	0.01	%
	Maximum PMD _Q	0.20	$\text{ps}/\sqrt{\text{km}}$
<p>NOTE 1 – The attenuation coefficient values listed in this table should not be applied to short cables such as jumper cables, indoor cables and drop cables. For example, [b-IEC 60794-2-11] specifies the attenuation coefficient of indoor cable as 1.0 dB/km or less at both 1310 and 1550 nm. Attenuation coefficient at a wavelength longer than 1625 nm (for monitoring purpose) is not well known. In general, the attenuation increases as the wavelength increases, and it may show steep wavelength dependence due to both macro- and microbending losses.</p> <p>NOTE 2 – This wavelength region can be extended to 1260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1310 nm.</p> <p>NOTE 3 – The hydrogen ageing is a type test that shall be done to a set of sampled fibres, according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fibre category.</p> <p>NOTE 4 – According to clause 7.2, a maximum PMD_Q value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD_Q.</p> <p>NOTE 5 – Optical fibre cables with higher PMD coefficient can be used for systems with less stringent PMD requirements.</p>			

ANEXO II. Atributos del estándar ITU-T G.657.A

Fibre attributes							
Attribute	Detail	Value					Unit
Mode field diameter	Wavelength	1 310					nm
	Range of nominal values	8.6-9.2					μm
	Tolerance	± 0.4					μm
Cladding diameter	Nominal	125.0					μm
	Tolerance	± 0.7					μm
Core concentricity error	Maximum	0.5					μm
Cladding non-circularity	Maximum	1.0					%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1 260					nm
Uncabled fibre macrobending loss (Notes 1, 2)			ITU-T G.657.A1		ITU-T G.657.A2		
	Radius	15	10	15	10	7.5	mm
	Number of turns	10	1	10	1	1	
	Max. at 1 550 nm	0.25	0.75	0.03	0.1	0.5	dB
	Max. at 1 625 nm	1.0	1.5	0.1	0.2	1.0	dB
ITU-T G.657 category A							
Proof stress	Minimum	0.69					GPa
Chromatic dispersion parameter 3-term Sellmeier fitting (1 260nm to 1 460 nm)	$\lambda_{0\text{min}}$	1 300					nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1 324					nm
	$S_{0\text{min}}$	0.073					$\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$
	$S_{0\text{max}}$	0.092					$\text{ps}/(\text{nm}^2 \times \text{km})$
Linear fitting (1 460 nm to 1 625 nm)	Min. at 1 550 nm	13.3					$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Max. at 1 550 nm	18.6					$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Min. at 1 625 nm	17.2					$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
	Max. at 1 625 nm	23.7					$\text{ps}/(\text{nm} \times \text{km})$
Cable attributes							
Attenuation coefficient (Note 3)	Maximum from 1 310 nm to 1 625 nm (Note 4)		0.40			dB/km	
	Maximum at 1 383 nm ± 3 nm after hydrogen ageing (Note 5)		0.40			dB/km	
	Maximum at 1 530–1 565 nm		0.30			dB/km	
PMD coefficient	M		20			cables	
	Q		0.01			%	
	Maximum PMD _Q		0.20			$\text{ps}/\text{km}^{3/2}$	
<p>NOTE 1 – ITU-T G.652 fibres deployed at a radius of 15 mm generally can have macrobending losses of several dB per 10 turns at 1 625 nm.</p> <p>NOTE 2 – The macrobending loss can be evaluated using a mandrel winding method (method A of [IEC 60793-1-47]), substituting the bending radius and the number of turns specified in this table.</p> <p>NOTE 3 – Due to the lack of accuracy in measuring the attenuation coefficient of a short cable, its value can be taken from that of the original longer donor cable.</p> <p>NOTE 4 – This wavelength region can be extended to 1 260 nm by adding 0.07 dB/km induced Rayleigh scattering loss to the attenuation value at 1 310 nm.</p> <p>NOTE 5 – Hydrogen ageing is a type test that shall be done to a set of sampled fibres, according to [IEC 60793-2-50] regarding the B1.3 fibre category.</p>							

ANEXO III. Parámetros de XGS-PON para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada

Item	Unit	Value			
OLT transmitter (optical interface O_{ld})					
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 _m and O _{ld} (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			
ONU receiver (optical interface O_{rd})					
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 ⁻³ (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 O_{lu} and O_{ld}" 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 O_{lu} and O_{ld}" 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.Supp39] 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>					

ANEXO IV. Parámetros de XGS-PON para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de subida

Item	Unit	Value			
ONU transmitter (optical interface O_m)					
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 _m and O _{rd} (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			
OLT receiver (optical interface O_m)					
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 ^{–3} (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 _m and O _{rd} " 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 V. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 2.48832 Gbits/s para el enlace de bajada

Item	Unit	Value			
OLT transmitter (optical interface S)					
Nominal line rate	Gbit/s	2.48832 (Note 1)			
Operating wavelength band	nm	1596-1603			
Operating central frequency	THz	Table 11-2			
Operating channel spacing	GHz	100 (Note 2)			
Maximum spectral excursion	GHz	+/-20			
Line code	-	Scrambled NRZ (Note 1)			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause 11.1.5.3			
Maximum reflectance of equipment at S/R-CG, measured at transmitter wavelength	dB	NA			
Minimum ORL of ODN at S/R-CG	dB	32			
ODN class		N1	N2	E1	E2
Mean channel launch power minimum (at S/R-CG)	dBm	+0.0	+2.0	+4.0	+6.0
Mean channel launch power maximum (at S/R-CG)	dBm	+4.0	+6.0	+8.0	+10
Maximum downstream WNE-PSD	dBm (15 GHz)	-63.5			
Minimum extinction ratio (Note 3)	dB	8.2			
Tolerance to reflected optical power	dB	-15			
Dispersion range	ps/nm	0-420 (DD20) 0-840 (DD40)			
Minimum side mode suppression ratio (at S/R-CP)	dB	30			
Maximum downstream per channel out-of-band optical PSD (Note 4)	dBm (15 GHz)	-44.9 (4 channels) -52.1 (8 channels)			
Maximum downstream per channel out-of-channel optical PSD (Note 5)	dBm (15 GHz)	-34.5 (4 channels) -42.4 (8 channels)			
Jitter generation	-	See clause 11.1.5.4.3			
ONU receiver (optical interface R)					
Maximum OPP (Note 6)	dB	1.0			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at receiver wavelength	dB	-20			
Bit error ratio reference level	-	10 ⁻⁴ (Note 7)			
Rx wavelength channel tuning time		See Table 9-2			
Maximum tuning granularity	GHz	5			
ODN class		N1	N2	E1	E2
Sensitivity (at R/S)	dBm	-30.0	-30.0	-30.0	-30.0
Overload (at R/S)	dBm	-10.0	-10.0	-10.0	-10.0
In-band crosstalk tolerance	dB (15 GHz)	32.3			
Consecutive identical digit immunity	bit	72			
Jitter tolerance	-	See clause 11.1.5.4.2			
NOTE 1 – Two additional line codes that have been developed to facilitate support of the RF Video Overlay are covered in Appendix IX.					
NOTE 2 – Minor deviations from the nominal 100 GHz spacing are allowed in order to accommodate a combined wavelength mux/demux device, see Table 11-2.					
NOTE 3 – A lower extinction ratio is allowed but must be compensated by a larger transmitter launch power within the limits of the "Mean launch power maximum" value. However, the impact of reduced ER on OOB/OOC power must be considered.					
NOTE 4 – This value is based on the following assumptions: OOB impact from TWDM PON on PtP WDM PON can be controlled through appropriate filtering, 0.1 dB penalty, PtP WDM PON operates without FEC, and 4 or 8 interfering TWDM channels, respectively.					
NOTE 5 – This value is based on the following assumptions: OOC in downstream can be controlled through filtering from WM, 0.1 dB penalty, TWDM PON operates with FEC, and 4 or 8 TWDM channels (three or seven interferers), respectively.					
NOTE 6 – The specified OPP is valid up to a 40 km optical link distance. If the actual OPP is worse than the specified value, it must be compensated by the transmitter launch power increase up to the limits of the Mean launch power maximum.					
NOTE 7 – See clause 9.4.1 of [b-ITU-T G.Supp39] for additional details.					
NOTE 8 – The definition of In-band crosstalk tolerance and its implication on receiver sensitivity is defined in clause 3.2.2.10 of [ITU-T G.989].					

ANEXO VI. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de bajada

Item	Unit	Value			
OLT transmitter (optical interface S)					
Nominal line rate	Gbit/s	9.95328 (Note 1)			
Operating wavelength band	nm	1596-1603			
Operating central frequency	THz	Table 11-2			
Operating channel spacing	GHz	100 (Note 2)			
Maximum spectral excursion	GHz	+/-20			
Line code	-	Scrambled NRZ (Note 1)			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause 11.1.5.3			
Maximum reflectance of equipment at S/R-CG, measured at transmitter wavelength	dB	NA			
Minimum ORL of ODN at S/R-CG	dB	32			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Mean channel launch power minimum (at S/R-CG)	dBm	+3.0	+5.0	+7.0	+9.0
Mean channel launch power maximum (at S/R-CG)	dBm	+7.0	+9.0	+11.0	+11.0
Maximum downstream WNE-PSD	dBm (15 GHz)	-63.7			
Minimum extinction ratio (Note 3)	dB	8.2			
Tolerance to reflected optical power	dB	-15			
Dispersion range	ps/nm	0-420 (DD20) 0-840 (DD40)			
Minimum side mode suppression ratio (at S/R-CP)	dB	30			
Maximum downstream per channel out-of-band optical PSD (Note 4)	dBm (15 GHz)	-44.9 (4 channels) -52.1 (8 channels)			
Maximum downstream per channel out-of-channel optical PSD (Note 5)	dBm (15 GHz)	-34.5 (4 channels) -42.4 (8 channels)			
Jitter generation	-	See clause 11.1.5.4.3			
ONU receiver (optical interface R)					
Maximum OPP (Note 6)	dB	2.0			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at receiver wavelength	dB	-20			
Bit error ratio reference level	-	10 ⁻³ (Note 7)			
Rx wavelength channel tuning time		See Table 9-2			
Maximum tuning granularity	GHz	5			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Sensitivity (at R/S)	dBm	-28.0	-28.0	-28.0	-28.0
Overload (at R/S)	dBm	-7.0	-7.0	-7.0	-9.0
In-band crosstalk tolerance	dB (15 GHz)	35.3			
Consecutive identical digit immunity	bit	72			
Jitter tolerance	-	See clause 11.1.5.4.2			
NOTE 1 – Two additional line codes that have been developed to facilitate support of the RF video overlay are covered in Appendix IX.					
NOTE 2 – Minor deviations from the nominal 100 GHz spacing are allowed in order to accommodate a combined wavelength mux/demux, see Table 11-2.					
NOTE 3 – A lower extinction ratio is allowed but must be compensated by a larger transmitter launch power within the limits of the "Mean launch power maximum" value. However, the impact of reduced ER on OOB/OOC power must be considered.					
NOTE 4 – This value is based on the following assumptions: OOB impact from TWDM PON on PtP WDM PON can be controlled through appropriate filtering, 0.1 dB penalty. PtP WDM PON operates without FEC, and 4 or 8 interfering TWDM channels, respectively.					
NOTE 5 – This value is based on the following assumptions: OOC in downstream can be controlled through filtering from WM, 0.1 dB penalty, TWDM PON operates with FEC, and 4 or 8 TWDM channels (three or seven interferers), respectively.					
NOTE 6 – The specified OPP is valid up to a 40 km optical link distance. If the actual OPP is worse than the specified value, it must be compensated by the transmitter launch power increase up to the limits of the Mean launch power maximum.					
NOTE 7 – See clause 9.4.1 of [b-ITU-T G.Supp39], for additional details.					
NOTE 8 – The definition of In-band crosstalk tolerance and its implication on receiver sensitivity is defined in clause 3.2.2.10 of [ITU-T G.989].					

ANEXO VII. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 2.48832

Gbits/s para el enlace de subida

Item	Unit	Value			
ONU transmitter (optical interface S)					
Nominal line rate	Gbit/s	2.48832			
Operating wavelength band	nm	1524-1544 (wide band option), 1528-1540 (reduced band option), 1532-1540 (narrow band option)			
Minimum operating channel spacing	GHz	50			
Maximum operating channel spacing	GHz	200			
Maximum spectral excursion (over 1 OLT-ONU tuning cycle) (Note 1)	GHz	+/-12.5 (for 50 GHz CS) +/-20 (for 100 GHz CS) +/-25 (for 200 GHz CS)			
Transmitter power wavelength dependency (Note 13)	dB	+/-0.05 dB/GHz			
Minimum tuning window (Note 2) When using cyclic channel grid When not using cyclic channel grid	GHz	(N-1)*CS (N-1)*CS+2*MSE			
Maximum tuning granularity	GHz	CS/20			
Tx wavelength channel tuning time		See Table 9-2			
Line code	-	Scrambled NRZ			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause 11.1.5.3.2			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at transmitter wavelength (Note 19)	dB	-32			
Minimum ORL of ODN at R/S	dB	32			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Mean channel launch power minimum (at R/S)					
- Type A link (Note 3)	dBm	+4	+4	+4	+4
- Type B link (Note 4)	dBm	0	0	0	0
Mean channel launch power maximum (at R/S) (Note 14)					
- Type A link (Note 3)	dBm	+9	+9	+9	+9
- Type B link (Note 4)	dBm	+5	+5	+5	+5
Maximum Tx enable transient time	bits	320 (128.6)			
Maximum Tx disable transient time	bits	320 (128.6)			
Minimum extinction ratio (Note 5)	dB	8.2			
Tolerance to reflected optical power	dB	-15			
Dispersion range	ps/nm	0 to 355 (DD20) 0 to 710 (DD40)			
Minimum side mode suppression ratio (Note 6)	dB	30			
Maximum upstream out-of-band optical PSD (Note 7)	dBm (15GHz)	-57.4 (4 channels) -64.6 (8 channels)			
Maximum upstream out-of-channel optical PSD - OOC1 (Note 8)	dBm (15 GHz)	-36.7 for 50GHz CS -40.5 for 100 GHz CS -44.4 for 200 GHz CS			
Maximum upstream out-of-channel optical PSD - OOC2 (Note 8)	dBm (15 GHz)	-41.6 (4 channels) -48.8 (8 channels)			
Maximum upstream WNE-PSD (Note 9)	dBm (15 GHz)	-62.6			
Jitter transfer	-	See clause 11.1.5.4.1			
Jitter generation	-	See clause 11.1.5.4.3			
OLT receiver (optical interface R)					
ODN class		N1	N2	E1	E2
Maximum OPP (Note 10)	dB				
- with Raman effects (DD20, 4 channel) (Note 15)		1.0	1.0	1.5	1.5
- with Raman effects (DD40, 4 channel)		1.4	1.6	1.9	1.9
- with Raman effects (DD20, 8 channel)		1.0	1.3	1.8	1.8
- with Raman effects (DD40, 8 channel)		1.7	2.1	2.8	2.8
Maximum OPP excluding Raman (Note 17)	dB	0.5 1.0			
- DD20					
- DD40					
Maximum reflectance of equipment at S/R-CG, measured at receiver wavelength	dB	-20			
Bit error ratio reference level	-	10 ⁻⁴ (Note 11)			
ODN class		N1	N2	E1	E2
Sensitivity (at S/R-CG, based on DD20, 4 channel) (Note 12)					
- Type A link (Note 3)	dBm	-26	-28	-30.5	-32.5
- Type B link (Note 4)	dBm	-30	-32	-34.5	-36.5
Overload (at S/R-CG)					
- Type A link (Note 3)	dBm	-5	-7	-9	-11
- Type B link (Note 4)	dBm	-9	-11	-13	-15
In-band crosstalk tolerance (Type A) (Type B) (Note 18)	dB (15 GHz)	26.0 22.0	26.0 22.0	25.1 21.1	24.1 20.1
Consecutive identical digit immunity	bit	72			
Jitter tolerance	-	See clause 11.1.5.4.2			

NOTE 1 – MSE values of other CS can be interpolated from the three given values.

NOTE 2 – N is the channel count. When using cyclic channel grid, if CS is 100 GHz, the minimum tuning windows are 500 GHz and 900 GHz for four and eight channel TWDM PONs, respectively. When using cyclic channel grid, if CS is 50 GHz, the minimum tuning windows are 250 GHz and 450 GHz for four and eight channel TWDM PONs, respectively. When not using cyclic channel grid, if CS is 100 GHz, its minimum tuning windows are 340 GHz and 740 GHz for four and eight channel TWDM PONs, respectively. When not using cyclic channel grid, if CS is 50 GHz, the minimum tuning windows are 175 GHz and 375 GHz for 4 and 8 channel TWDM PONs, respectively.

NOTE 3 – Type A link values assume an unamplified OLT receiver. However, an amplified OLT receiver is not precluded.

NOTE 4 – Type B link values assume an amplified OLT receiver with the amplifier at the S/R-CG reference point. However, other amplifier approaches, including an unamplified OLT receiver are not precluded.

NOTE 5 – A lower extinction ratio is allowed but must be compensated by a larger transmitter launch power within the limits of the "Mean launch power maximum" value. However, the impact of reduced ER on OOB/OOC power must be considered.

NOTE 6 – SMSR is measured on the laser output, before any filtering. This prevents a significant mode partition noise penalty. Other limitations on OOB and OOC PSD still apply to the R/S reference point.

NOTE 7 – This value is based on the following assumptions: OOB impact from TWDM PON on PtP WDM PON can be controlled through appropriate filtering, 0.1 dB penalty, PtP WDM PON operates without FEC, and four or eight interfering TWDM channels, respectively.

NOTE 8 – See OOC-PSD mask in clause 9.3.9. These values are based on the following assumptions: 1 dB US OOC penalty, TWDM PON operates with FEC, and four or eight TWDM channels (three or seven interferers), respectively. In some implementations, this requirement may be achieved by more tightly regulating the Tx output power (lowering the maximum level while maintaining the minimum level).

NOTE 9 – This value is based on the following assumptions: 0.1 dB penalty, TWDM PON operates with FEC, and 64 TWDM PON ONUs in one channel (63 interferers).

NOTE 10 – The specified penalty takes into account the class-specific Tx power, distance, and number of wavelengths. The maximum OPP values assume no SR-/CG located splitters and low optical fibre loss, resulting in the worst case Raman effect. ODNs that include high loss elements near the OLT or higher loss optical cable will exhibit lower penalties.

NOTE 11 – See clause 9.4.1 of [ITU-T G.Supp39] for additional details.

NOTE 12 – See clause 11.1.4.3.1 for an approach to accommodate the case of 40 km and 8 wavelengths.

NOTE 13 – This parameter is applicable for ONU transmitters that require OLT interaction to tune the transmitting wavelength.

NOTE 14 – An optical power levelling mechanism can be applied to the ONU in order to help meet the OOB/OOC PSD and OLT Rx overload parameters. The concept of optical power levelling is described in Annex D.

NOTE 15 – The 4 channel, DD20 values are rounded up from those actually calculated.

NOTE 16 – The definition of In-band crosstalk tolerance and its implication on receiver sensitivity is defined in clause 3.2.2.10 of [ITU-T G.989].

NOTE 17 – If the actual OPP is worse than the specified value, it must be compensated by increasing the transmitter mean launch power minimum specification by X dB for each X dB of extra OPP allowance, where $X < 1.5$ dB, while meeting all other Tx specifications. High penalty operation poses some risks, and PMD interoperability testing should be employed to measure the actual OPP with a receiver subject to in-band crosstalk as specified elsewhere in this table. To avoid system operation in very high penalty regimes, this note is only applicable to the DD20 fibre distance class.

NOTE 18 – These values vary for each budget class based on the worst case combination of PtP WDM PON OOB, TWDM PON OOC, TWDM PON WNE-PSD and TWDM PON upstream ONU echoes (accounting for the maximum ODN split that can be obtained in each optical path loss class).

NOTE 19 – This value is based on the following assumptions: consideration of multiple upstream ONU echoes and penalties of 0.4 dB (for N1) up to 0.8 dB (for E2).

ANEXO VIII. Parámetros de NG-PON2 para la velocidad de 9.95328 Gbits/s para el enlace de subida

Item	Unit	Value			
ONU transmitter (optical interface S)					
Nominal line rate	Gbit/s	9.95328			
Operating wavelength band	nm	1524-1544 (wide band option), 1528-1540 (reduced band option), 1532-1540 (narrow band option)			
Minimum operating channel spacing	GHz	50			
Maximum operating channel spacing	GHz	200			
Maximum spectral excursion (Note 1) (over 1 OLT-ONU tuning cycle)	GHz	+/-12.5 (for 50 GHz CS) +/-20 (for 100 GHz CS) +/-25 (for 200 GHz CS)			
Transmitter power wavelength dependency (Note 13)	dB	+/-0.02 dB/GHz			
Minimum tuning window (Note 2) When using cyclic channel grid When not using cyclic channel grid	GHz	(N+1)*CS (N-1)*CS+2*MSE			
Maximum tuning granularity	GHz	CS/20			
Tx wavelength channel tuning time		See Table 9-2			
Line code	-	Scrambled NRZ (20 km) Scrambled NRZ (40 km) (Note 15)			
Mask of the transmitter eye diagram	-	See clause 11.1.5.3.2			
Maximum reflectance of equipment at R/S, measured at transmitter wavelength (Note 20)	dB	-32			
Minimum ORL of ODN at R/S	dB	32			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Mean channel launch power minimum (at R/S)					
- Type A link (Note 3)	dBm	+4.0	+4.0	+4.0	NA
- Type B link (Note 4)	dBm	+2.0	+2.0	+2.0	+4.0
Mean channel launch power maximum (at R/S) (Note 14)					
- Type A link (Note 3)	dBm	+9.0	+9.0	+9.0	NA
- Type B link (Note 4)	dBm	+7.0	+7.0	+7.0	+9.0
Maximum Tx enable transient time	Bits (ns)	1280 (128.6)			
Maximum Tx disable transient time	Bits (ns)	1280 (128.6)			
Minimum extinction ratio (Note 5)	dB	6.0			
Tolerance to reflected optical power	dB	-15			
Dispersion range	ps/nm	0 to 355 (DD20)			
Minimum side mode suppression ratio (Note 6)	dB	30			
Maximum upstream out-of-band optical PSD (Note 7)	dBm (15 GHz)	-57.4 (4 channels) -64.6 (8 channels)			
Maximum upstream out-of-channel optical PSD - OOC1 (Note 8)	dBm (15 GHz)	-36.7 for 50GHz CS -40.5 for 100 GHz CS -44.4 for 200 GHz CS			
Maximum upstream out-of-channel optical PSD - OOC2 (Note 8)	dBm (15 GHz)	-41.6 (4 channels) -48.5 (8 channels)			
Maximum upstream WNE-PSD (Note 9)	dBm (15 GHz)	-62.6			
Jitter transfer	-	See clause 11.1.5.4.1			
Jitter generation	-	See clause 11.1.5.4.3			
OLT receiver (optical interface R)					
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Maximum OPP (Note 10, 15) - with Raman effects (DD20, 4 channel) (Note 16) - with Raman effects (DD40, 4 channel) - with Raman effects (DD20, 8 channel) - with Raman effects (DD40, 8 channel)	dB	1.0 1.9 1.0 2.2	1.0 2.1 1.3 2.6	1.5 2.4 1.8 3.3	1.5 2.4 1.8 3.3
Maximum OPP excluding Raman (Note 18) - DD20 - DD40	dB	0.5 1.5			
Maximum reflectance of equipment at S/R-CG, measured at receiver wavelength	dB	Less than -20			
Bit error ratio reference level	-	10 ⁻³ (Note 11)			
ODN Class		N1	N2	E1	E2
Sensitivity (at S/R-CG), based on DD20, 4 channel) (Note 5 and Note 12)					
- Type A link (Note 3)	dBm	-26.0	-28.0	-30.5	NA
- Type B link (Note 4)	dBm	-28.0	-30.0	-32.5	-32.5
Overload (at S/R-CG)					
- Type A link (Note 3)	dBm	-5.0	-7.0	-9.0	NA
- Type B link (Note 4)	dBm	-7.0	-9.0	-11.0	-11.0
In-band crosstalk tolerance (Note 19) (Type A) (Type B)	dB (15 GHz)	26.0 24.0	26.0 24.0	25.1 23.1	24.1 22.1
Consecutive identical digit immunity	bit	72			
Jitter tolerance	-	See clause 11.1.5.4.2			

NOTE 1 – MSE values of other CS can be interpolated from the three given values.

NOTE 2 – N is the channel count. When using cyclic channel grid, if CS is 100 GHz, the minimum tuning windows are 500 GHz and 900 GHz for 4 and 8 channel TWDM PONs, respectively. When using cyclic channel grid, if CS is 50 GHz, the minimum tuning windows are 250 GHz and 450 GHz for four and eight channel TWDM PONs, respectively. When not using cyclic channel grid, if CS is 100 GHz, its minimum tuning windows are 340 GHz and 740 GHz for four and eight channel TWDM PONs, respectively. When not using cyclic channel grid, if CS is 50 GHz, the minimum tuning windows are 175 GHz and 375 GHz for 4 and 8 channel TWDM PONs, respectively.

NOTE 3 – Type A link values assume an unamplified OLT receiver. However, an amplified OLT receiver is not precluded.

NOTE 4 – Type B link values assume an amplified OLT receiver with the amplifier at the S/R-CG reference point. However, other amplifier approaches, including an unamplified OLT receiver are not precluded.

NOTE 5 – A lower extinction ratio is allowed but must be compensated by a larger transmitter launch power within the limits of the "Mean launch power maximum" value. However the impact of reduced ER on OOB/OOC power must be considered. A lower "Mean launch power minimum" is allowed but must be compensated by higher extinction ratio. For quantitative treatment of these tradeoffs, see clause 11.1.4.3.2.

NOTE 6 – SMSR is measured on the laser output, before any filtering. This prevents a significant mode partition noise penalty. Other limitations on OOB and OOC PSD still apply to the R/S reference point.

NOTE 7 – This value is based on the following assumptions: OOB impact from TWDM PON on PpP WDM PON can be controlled through appropriate filtering, 0.1 dB penalty, PpP WDM PON operates without FEC, and four or eight interfering TWDM channels, respectively.

NOTE 8 – See OOC-PSD mask in clause 9.3.9. These values are based on the following assumptions: 1 dB US OOC penalty, TWDM PON operates with FEC, and four or eight TWDM channels (three or seven interferers), respectively. In some implementations, this requirement may be achieved by more tightly regulating the Tx output power (lowering the maximum level while maintaining the minimum level).

NOTE 9 – This value is based on the following assumptions: 0.1 dB penalty, TWDM PON operates with FEC, and 64 TWDM PON ONUs in one channel (63 interferers).

NOTE 10 – The specified penalty takes into account the class-specific Tx power, distance, and number of wavelengths. The maximum OPP values assume no SR-/CG located based splitters and low optical fibre loss, resulting in the worst case Raman effect. ODNs that include high loss elements near the OLT or higher loss optical cable will exhibit lower penalties.

NOTE 11 – See clause 9.4.1 [b-ITU-T G.Supp39] for additional details.

NOTE 12 – See clause 11.1.4.3.1 for an approach to accommodate the case of 40 km and eight wavelengths.

NOTE 13 – This parameter is applicable for ONU transmitters that require OLT interaction to tune the transmitting wavelength.

NOTE 14 – An optical power levelling mechanism can be applied to the ONU in order to help meet the OOB/OOC PSD and OLT Rx overload parameters. The concept of optical power levelling is described in Annex D.

NOTE 15 – Scrambled NRZ is assumed for the OPP parameter values. Other coding schemes for 40 km may result in lower OPPs with alternative transmitter technologies. These other coding schemes are for further study.

NOTE 16 – The 4 channel, DD20 values are rounded up from those actually calculated.

NOTE 17 – The definition of In-band crosstalk tolerance and its implication on receiver sensitivity is defined in clause 3.2.2.10 of [ITU-T G.989].

NOTE 18 – If the actual OPP is worse than the specified value, it must be compensated by increasing the transmitter mean launch power minimum specification by X dB for each X dB of extra OPP allowance, where $X < 1.5$ dB, while meeting all other Tx specifications. High penalty operation poses some risks, and PMD interoperability testing should be employed to measure the actual OPP with a receiver subject to in-band crosstalk as specified elsewhere in this table. To avoid system operation in very high penalty regimes, this note is only applicable to the DD20 fibre distance class.

NOTE 19 – These values vary for each budget class based on the worst case combination of PpP WDM PON OOB, TWDM PON OOC, TWDM PON WNE-PSD and TWDM PON upstream ONU echoes (accounting for the maximum ODN split that can be obtained in each optical path loss class).

NOTE 20 – This value is based on the following assumptions: consideration of multiple upstream ONU echoes and penalties of 0.4 dB (for N1) up to 0.8 dB (for E2).