



# Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada

**Jesús Mario Moreno Manzanares**

Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

**Josep María Fábrega Sánchez**

15\_01\_2018



Esta obra está sujeta a una licencia de Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada [3.0 España de Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/)

## FICHA DEL TRABAJO FINAL

<b>Título del trabajo:</b>	Estudio tecno-económico del despliegue del estándar NG-PON2 sobre infraestructura óptica heredada
<b>Nombre del autor:</b>	Jesús Mario Moreno Manzanares
<b>Nombre del consultor:</b>	Josep María Fábrega Sánchez
<b>Fecha de entrega (mm/aaaa):</b>	01/2018
<b>Área del Trabajo Final:</b>	Comunicaciones Ópticas
<b>Titulación:</b>	Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación

### **Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras):**

El presente Trabajo de Fin de Máster, tiene por objetivo llevar a cabo el análisis tecno-económico de un proyecto de despliegue del estándar NGPON2 sobre la infraestructura óptica heredada.

Las nuevas aplicaciones consumidas por los usuarios precisan cada vez de un mayor ancho de banda que compromete la capacidad de los sistemas actuales. Para satisfacer este crecimiento del tráfico transportado por las redes de telecomunicación, entre las distintas tecnologías candidatas que están siendo investigadas, NGPON2 se posiciona como el estándar de acceso de mayor potencial.

Dado que los costes totales de los despliegues FTTx están dominados fundamentalmente por las inversiones en infraestructura, se establece la premisa de que NGPON2 sea compatible con ODNs heredadas a fin de poder reutilizarlas. Además, se requiere que distintos estándares PON puedan coexistir sobre la misma red.

Para confirmar la viabilidad del proyecto, en un primer hito se realiza un estudio para verificar la compatibilidad técnica del despliegue, teniendo en consideración diversos factores que podrían dificultar la solución.

En una segunda etapa, se formaliza un estudio económico en el que se evalúan los costes de las adaptaciones en la red óptica heredada para adecuarla a los requerimientos NGPON2. Con la reutilización de la infraestructura óptica instalada, se esperan importantes ahorros vinculados a la provisión del servicio.

**Abstract (in English, 250 words or less):**

The purpose of this Thesis is to carry out the technical-economic analysis of a project to deploy a system based on the NGPON2 standard on the legacy optical infrastructure.

New applications used by subscribers require more and more bandwidth that consumes the capacity of current systems. To satisfy this growth of traffic transported by telecommunication networks, among the different candidate technologies that are being investigated, NGPON2 is positioned as the access standard with the greatest potential.

Given that the total costs of FTTx deployments are mainly due to investments in infrastructure, NGPON2 must be compatible with legacy ODNs in order to be able to reuse them. In addition, it is required that different PON standards can coexist on the same network.

In order to guarantee the viability of the project, in a first phase, a study is carried out to verify the technical compatibility of the deployment, considering several factors that could complicate the solution.

In a second phase, an economic study is formalized to evaluate the costs of the adaptations in the legacy optical network, to adapt it to the NGPON2 requirements. By reusing the actual optical infrastructure, significant savings related to the provision of the service are expected.

**Palabras clave (entre 4 y 8):**

Reutilización, Coexistencia, Despliegue, NGPON2, PON, FTTx

# Índice

1. Introducción.....	1
1.1 Contexto y justificación del Trabajo.....	1
1.2 Objetivos del Trabajo.....	4
1.3 Enfoque y método seguido.....	5
1.4 Planificación del Trabajo.....	6
1.5 Breve resumen de productos obtenidos.....	7
1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	8
2. Estado del arte.....	9
3. Estudio técnico.....	20
3.1 Tecnología GPON.....	20
3.1.1 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	20
3.1.2 <i>Bit rate</i> .....	22
3.1.3 Niveles de potencia óptica.....	23
3.1.4 Plan de longitudes de onda.....	23
3.1.5 Fundamentos técnicos.....	25
3.1.6 Características generales.....	26
3.2 Tecnología XGPON.....	29
3.2.1 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	29
3.2.2 <i>Bit rate</i> .....	30
3.2.3 Niveles de potencia óptica.....	30
3.2.4 Plan de longitudes de onda.....	31
3.2.5 Fundamentos técnicos.....	33
3.2.6 Características generales.....	33
3.3 Tecnología NGPON2.....	35
3.3.1 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	35
3.3.2 <i>Bit rate</i> .....	36
3.3.3 Niveles de potencia óptica.....	36
3.3.4 Plan de longitudes de onda.....	37
3.3.5 Fundamentos técnicos.....	39
3.3.6 Características generales.....	51
3.4 Migración de GPON a XGPON.....	53
3.5 Migración de sistemas PON legados a NGPON2.....	56
3.6 Cierre y conclusiones del estudio técnico.....	61
4. Estudio económico.....	63
4.1 Definición del escenario.....	63
4.2 Solución técnica.....	64
4.3 Solución comercial.....	66
4.4 Solución técnica particularizada al escenario definido.....	68
4.5 Solución económica particularizada al escenario definido.....	71
4.6 Análisis final de viabilidad del Trabajo.....	73
5. Conclusiones.....	75
5.1 Análisis del desarrollo del Trabajo.....	75
5.2 Líneas de trabajo futuras.....	76
6. Glosario.....	77
7. Bibliografía.....	80
8. Anexos.....	84

8.1 Modelos ONU GPON comerciales .....	84
8.2 Modelos OLT GPON comerciales .....	86
8.3 Modelos AWG comerciales .....	87
8.4 Ficha de producto WaveAccess 4022 .....	89
8.5 Ficha de producto SmartOLT 460 .....	91

## Lista de figuras

Figura 1.1: Tráfico global acceso IP [2] .....	1
Figura 1.2: Tráfico global IP por servicio [2] .....	2
Figura 1.3: Red de acceso tradicional basada en cobre [3] .....	3
Figura 1.4: Red de acceso PON FTTH en desarrollo <i>green field</i> [3] .....	3
Figura 1.5: Panorama global de abonados FTTH (2014) [2] .....	4
Figura 1.6: Diagrama de Gannt asociado a la planificación del TFM .....	7
Figura 2.1: Fibras monomodo y multimodo [8] .....	10
Figura 2.2: Topologías PtP y PtM de capa física PON [3] .....	11
Figura 2.3: Mecanismos de reparto AON y PON [9] .....	12
Figura 2.4: Topología estándar PON [12] .....	13
Figura 2.5: Planta externa en sistemas de comunicaciones ópticas [15] .....	14
Figura 2.6: Canal PON descendente [12] .....	15
Figura 2.7: Canal PON ascendente [12] .....	15
Figura 2.8: Roadmap de estándares PON por FSAN [17] .....	19
Figura 2.9: Estándares NGN en discusión [2] .....	19
Figura 3.1: Arquitectura de red GPON [20] .....	20
Figura 3.2: Arquitectura de referencia GPON [20] .....	22
Figura 3.3: Asignación de longitudes de onda en GPON [22] .....	24
Figura 3.4: Longitudes de onda de operación en GPON [23] .....	25
Figura 3.5: Modo PtM para el sentido descendente [23] .....	25
Figura 3.6: Modo PtP para el sentido ascendente [23] .....	26
Figura 3.7: Conceptos de distancia de fibra [28] .....	28
Figura 3.8: Divisor genérico en GPON [26] .....	28
Figura 3.9: Arquitectura de referencia de alto nivel XGPON [26] .....	29
Figura 3.10: Arquitectura de referencia de la red de acceso XGPON [26] .....	30
Figura 3.11: Asignación de longitudes de onda en XGPON [26] .....	32
Figura 3.12: Configuraciones del divisor de potencia en XGPON [26] .....	34
Figura 3.13: Arquitectura de referencia lógica NGPON2 [29] .....	35
Figura 3.14: Comparación entre WS ODN y WR ODN [31] .....	42
Figura 3.15: Comparación entre ODN híbrida y WS ODN [31] .....	43
Figura 3.16: Atenuación de fibra monomodo y dispersión cromática [30] .....	44
Figura 3.17: Ganancia de Raman sobre fibra ITU-T G.652 [29] .....	46
Figura 3.18: Pérdidas por dispersión de RAMAN [31] .....	47
Figura 3.19: Espectro óptico de los láseres EML y DML [32] .....	49
Figura 3.20: Enrutamiento de longitudes de onda en AWG cíclico [32] .....	50
Figura 3.21: Ejemplos de configuración OLT en NGPON2 [32] .....	51
Figura 3.22: Coexistencia entre XGPON y GPON mediante WDM1r [26] .....	54
Figura 3.23: Coexistencia entre XGPON y GPON mediante <i>splitter</i> [26] .....	54
Figura 3.24: Escenarios de migración con extensores de alcance [26] .....	56
Figura 3.25: Representación de coexistencia del espectro óptico [29] .....	57
Figura 3.26: Coexistencia entre NGPON2 y sistemas PON legados [30] .....	58
Figura 4.1: Coexistencia sobre la misma ODN mediante WDM1r [33] .....	69

## Lista de tablas

Tabla 3.1: Tasas de transferencia en GPON [20].....	23
Tabla 3.2: Niveles de potencia óptica en GPON [21] .....	23
Tabla 3.3: Asignación de longitudes de onda en GPON [22] .....	24
Tabla 3.4: Ejemplos de servicios GPON [20] .....	27
Tabla 3.5: Tasas de transferencia en XGPON [26] .....	30
Tabla 3.6: Niveles de potencia óptica en XGPON [27].....	31
Tabla 3.7: OPL ( <i>Optical Path Loss</i> ) en XGPON [27].....	31
Tabla 3.8: Asignación de longitudes de onda en XGPON [26].....	32
Tabla 3.9: Ejemplos de servicios XGPON [26].....	33
Tabla 3.10: Tasas de transferencia en NGPON2 [30].....	36
Tabla 3.11: Niveles de potencia óptica en NGPON2 [29].....	36
Tabla 3.12: Asignación de longitudes de onda en NGPON2 [29].....	38
Tabla 3.13: Clases de tiempo de sintonización en NGPON2 [31] .....	40
Tabla 3.14: OPP ( <i>Optical Path Penalties</i> ) en NGPON2 [31] .....	45
Tabla 3.15: Potencia inyectada en la ODN NGPON2 [31] .....	46
Tabla 4.1: Modelo ONU comercial seleccionado [34].....	66
Tabla 4.2: Modelo OLT comercial seleccionado [35].....	66
Tabla 4.3: Modelo SFP OLT comercial seleccionado [35].....	67
Tabla 4.4: Inventario de componentes asociado al despliegue NGPON2 .....	71
Tabla 4.5: Coste estimado del equipamiento NGPON2 .....	72
Tabla 4.6: Costes globales asociados al despliegue NGPON2.....	72
Tabla 4.7: Inversión económica en escenarios <i>brown field</i> y <i>green field</i> .....	73



# 1. Introducción

En esta sección, se presentará el punto de partida del Trabajo, comenzando por la necesidad de la que nace la motivación para abordarlo, pasando por los factores que hacen que sea un problema relevante, para finalmente destacar cuáles son las medidas en curso para solventar los conflictos presentados. Se detallarán los objetivos del Trabajo, el enfoque, métodos y planificación seguida, así como un breve resumen de los productos obtenidos. En último lugar, se llevará a cabo una pequeña introducción del resto de capítulos de la memoria.

## 1.1 Contexto y justificación del Trabajo

### Crecimiento del ancho de banda consumido y evolución de las redes de telecomunicación

Las redes de telecomunicaciones, están evolucionando desde las tradicionales basadas en circuitos, hasta las redes de próxima generación (NGN - *Next Generation Network*) basadas en paquetes, las cuales proporcionan múltiples servicios mediante una plataforma común. Además de estos servicios emergentes basados en paquetes, las redes de nueva generación tienen la capacidad de proporcionar servicios heredados [26].

Dadas las tendencias actuales, se observa un crecimiento exponencial del tráfico transportado por las redes de telecomunicación, impulsado por aplicaciones, servicios y contenidos que consumen cada vez un mayor ancho de banda para poder satisfacer las necesidades asociadas a la actividad usuaria. En la Figura 1.1 se muestra la evolución a lo largo de varios años del tráfico global en las redes de acceso IP, diferenciados por datos móviles, fijos (internet) e IP gestionado [2].

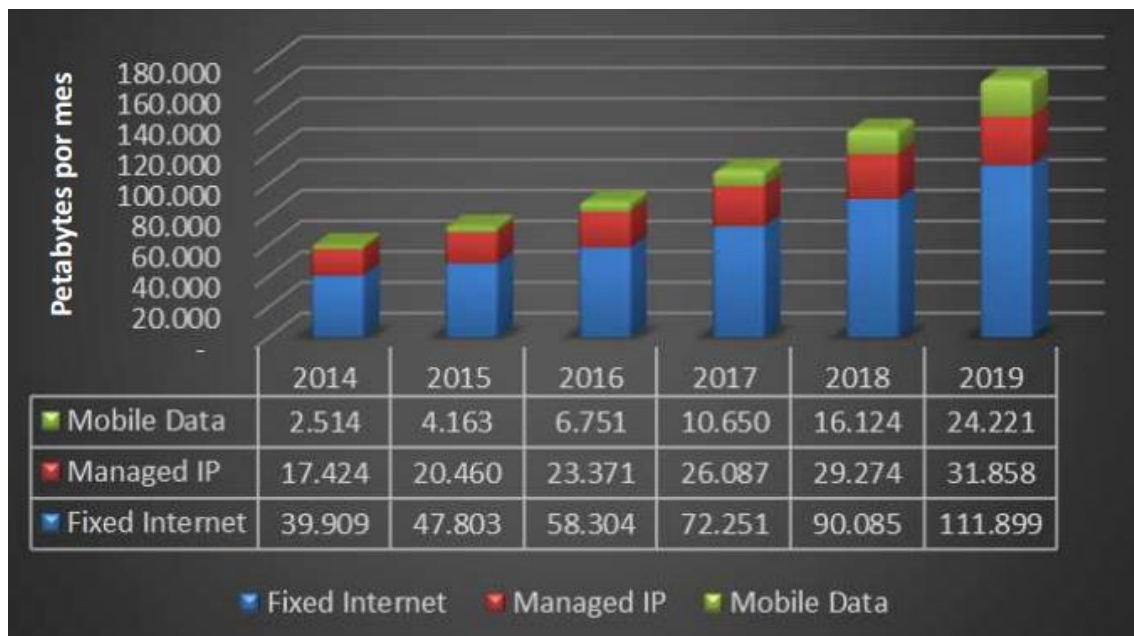
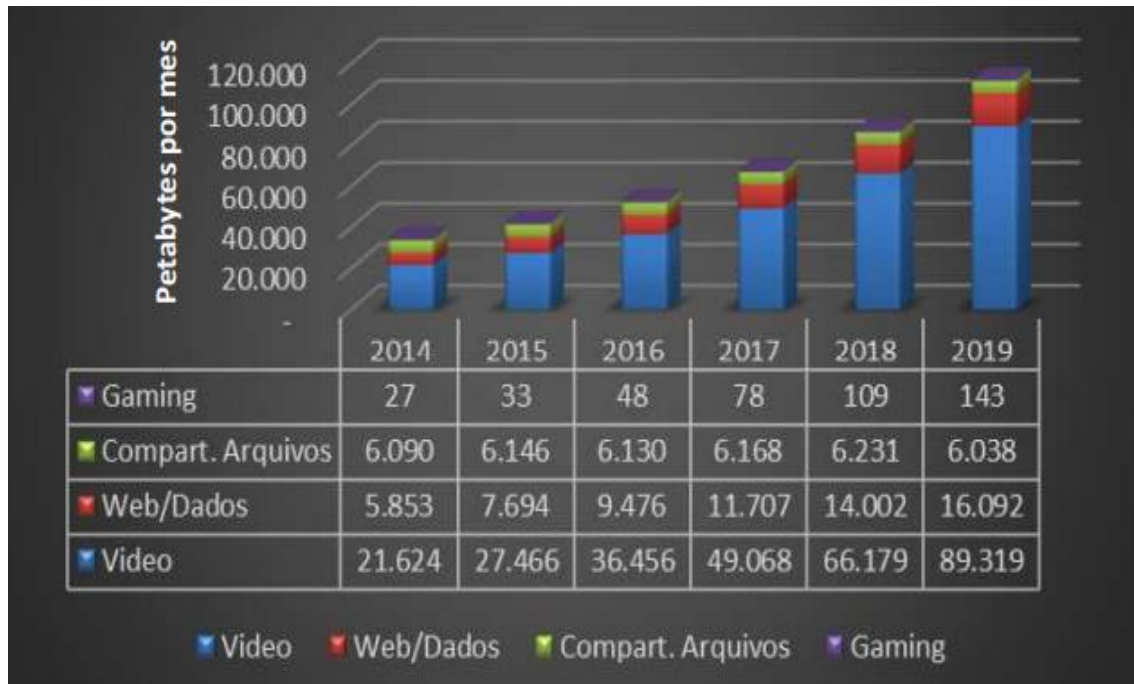


Figura 1.1: Tráfico global acceso IP [2]

La tasa anual de crecimiento en datos móviles es del 57%, 23% en internet y 13% en IP gestionado [2].

Por otro lado, en la Figura 1.2 se dispone del consumo de tráfico clasificado en esta ocasión por distintos servicios.



**Figura 1.2: Tráfico global IP por servicio [2]**

Teniendo en cuenta que el aumento del ancho de banda se ha multiplicado por diez en los últimos cinco o seis años, las previsiones de las principales organizaciones internacionales como *FTTH Council Europe*, estima un crecimiento vertiginoso que podría posicionarse en torno a 100 Gb/s por abonado en el año 2025. Dadas estas alarmantes previsiones, las principales organizaciones mundiales encargadas de la confección de normas y estándares, tales como ITU-T, FSAN o IEEE, centran sus esfuerzos en la búsqueda de soluciones para aumentar la capacidad de las redes de telecomunicaciones [1].

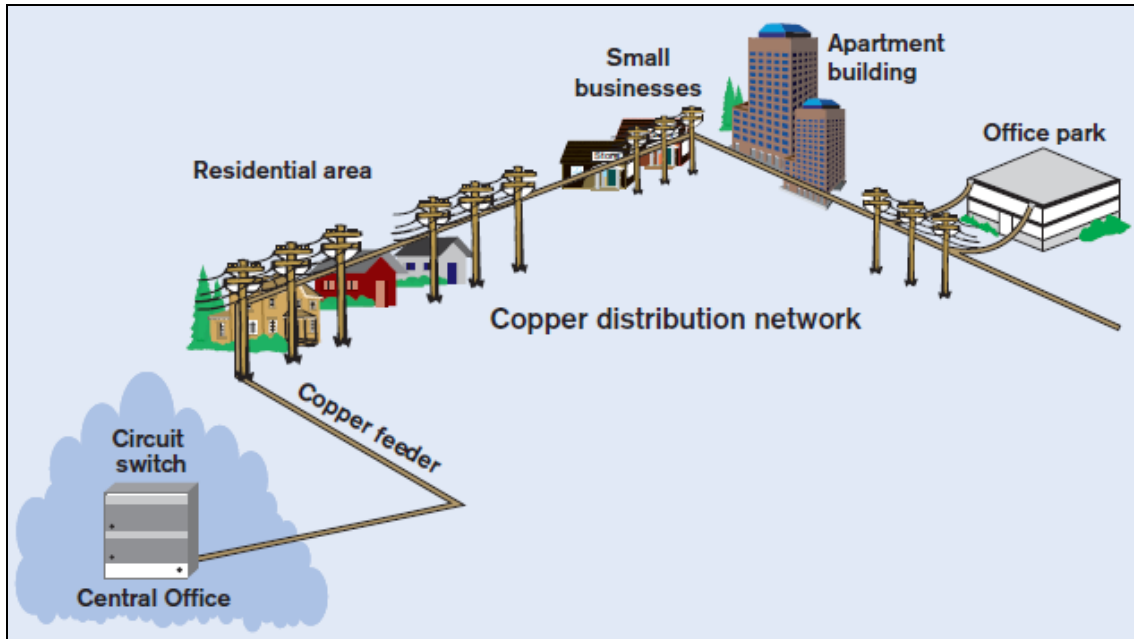
### **Justificación de la aparición de las redes de fibra óptica**

Las tecnologías basadas en la explotación del bucle de abonado de cobre, siguen activas en la actualidad para usuarios genéricos que consumen aplicaciones con bajos requerimientos de ancho de banda disponible. Sin embargo, existen perfiles de usuario que consumen un ancho de banda tan elevado que no puede satisfacerse mediante la aplicación de estas tecnologías obsoletas. Además, el ancho de banda soportado por las tecnologías basadas en cobre, que ya es limitado de por sí, se ve reducido drásticamente a medida que aumenta la distancia entre el usuario y la central.

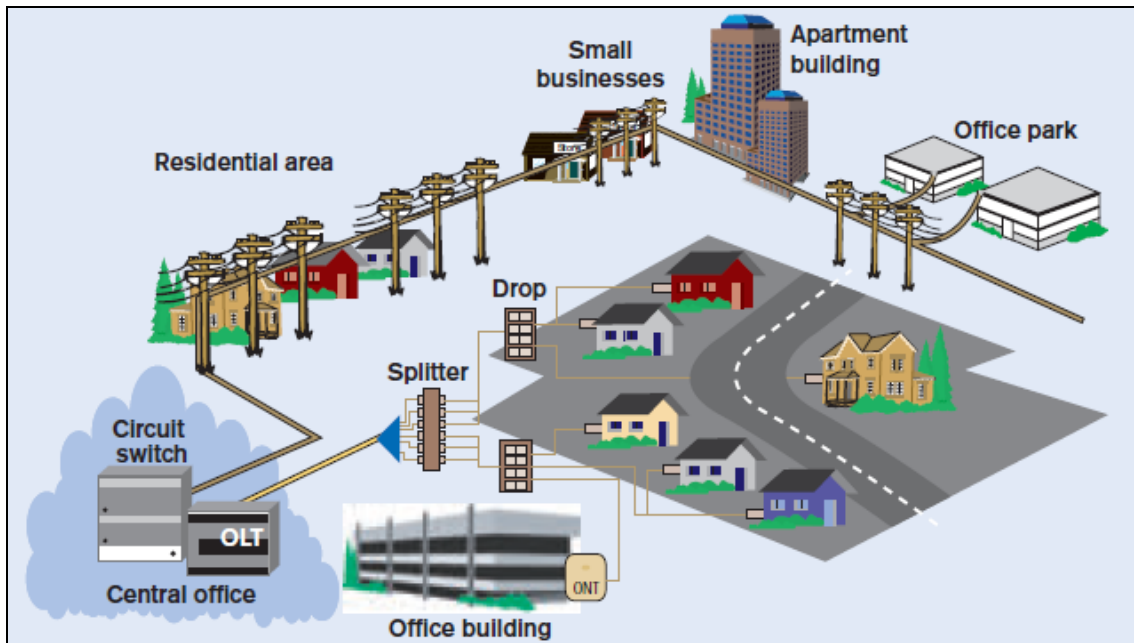
Las redes de fibra óptica surgen como la solución a este problema, principalmente debido al gran ancho de banda que ofrecen en comparación al

aportado por la redes de cobre, así como al continuo descenso de los costes asociados a los procesos de fabricación de los láseres ópticos.

En las Figuras 1.3 y 1.4 se muestran ejemplos de redes de acceso basadas en cobre y en fibra óptica respectivamente.

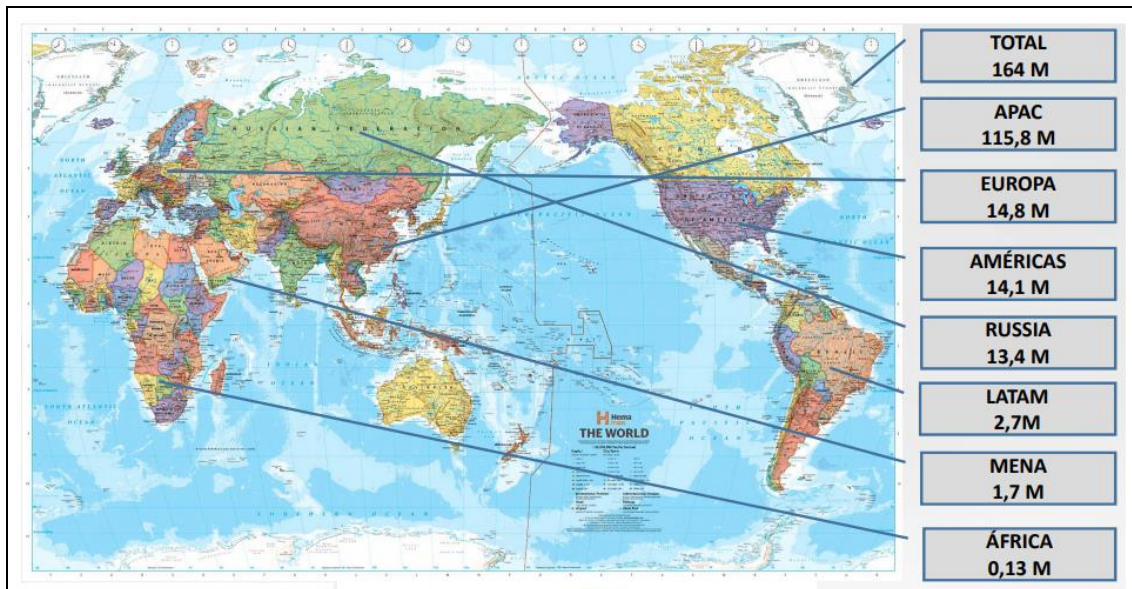


**Figura 1.3: Red de acceso tradicional basada en cobre [3]**



**Figura 1.4: Red de acceso PON FTTH en desarrollo *green field* [3]**

De cara a cuantificar la relevancia de la innovación tecnológica en redes de telecomunicación basadas en principios ópticos, en la Figura 1.5 se presenta el panorama mundial del grado de integración de abonados FTTH durante el año 2014 [2]. Estas cifras serán aún mayores a día de hoy como puede deducirse, y previsiblemente seguirán creciendo de manera agresiva en el futuro.



**Figura 1.5: Panorama global de abonados FTTH (2014) [2]**

### **Medidas de incremento del ancho de banda en redes de telecomunicación**

Este creciente consumo del ancho de banda puede satisfacerse extendiendo la estructura de la red de fibra óptica mediante la sustitución de tramos de cobre y cable coaxial por enlaces ópticos. En el servicio provisionado a clientes residenciales mediante un esquema FTTH, la fibra óptica desplegada podría llegar a alcanzar hasta la terminación de la red en los emplazamientos de los usuarios. Además, están surgiendo nuevas aplicaciones que demandan arquitecturas de fibra más profundas, tales como *backhaul/fronthaul* móvil, así como líneas de Ethernet de alta velocidad [30].

En paralelo a esta redistribución/intercambio de los medios físicos de propagación en diversas secciones de la red, nuevas tecnologías de acceso a fibra están siendo investigadas para satisfacer esta mayor necesidad de ancho de banda. FSAN, un grupo formado operadores de telecomunicaciones con el objetivo de unificar las especificaciones de las redes de acceso de banda ancha en viviendas, trabajan conjuntamente para definir los requisitos asociados a la nueva generación de sistemas basados en redes ópticas pasivas (PON - *Passive Optical Network*) de mayor capacidad. Esto impulsó nuevos estudios para identificar tecnologías candidatas que pudieran cumplir con los requisitos establecidos [30].

### **1.2 Objetivos del Trabajo**

El objetivo central del presente Trabajo es el de llevar a cabo un análisis técnico-económico del despliegue del estándar NGPON2 sobre la infraestructura óptica heredada, la cual sustenta servicios basados en los estándares actuales GPON y XGPON. Con la reutilización de la infraestructura óptica instalada, se esperan importantes ahorros de obra civil, instalación y mantenimiento, respecto de los costes que supondría llevar a cabo un nuevo despliegue sobre un entorno no explotado por tecnologías ópticas.

En primer lugar, habrá de llevarse a cabo un estudio para verificar la viabilidad técnica del despliegue [4], llegando a una de las siguientes conclusiones:

- El despliegue es factible y transparente para los operadores, pues no se requieren modificaciones en la infraestructura de red existente.
- El proyecto es realizable, pero precisa llevar a cabo ciertas adaptaciones en la estructura de la red heredada.
- El proyecto no es viable, se impone la creación de nueva infraestructura de red propia que se ajuste a los requerimientos NGPON2.

Dado que los servicios emergentes convivirán con los servicios actuales durante un intervalo de tiempo, la solución adoptada deberá tomar la premisa de permitir la coexistencia entre sistemas regulados por los estándares legados GPON y XGPON, con sistemas basados la nueva recomendación NGPON2. Para ello, entre otros aspectos, deberá tenerse en consideración la asignación de longitudes de onda en cada estándar, con vista a que no existan conflictos entre los mismos.

En el supuesto de que el proyecto sea viable técnicamente, en un hito posterior, se procederá a efectuar el estudio económico en el que se evaluará el coste de las de las adaptaciones en la red óptica heredada [5], en caso de que estas fuesen necesarias. Para ello, se acudirá a catálogos de proveedores reales especializados en equipamiento de sistemas de telecomunicación NGPON2, haciendo hincapié en balancear prestaciones con costes para garantizar una óptima elección de los componentes. Se definirá un escenario concreto que disponga de infraestructura FTTH instalada, sobre el cual se particularizarán diversas opciones de migración con un volumen distinto de clientes suscritos a servicios NGPON2, a fin de disponer de varias configuraciones de red debidamente dimensionadas. Finalmente, se llevará a cabo un análisis de viabilidad económica del Trabajo. Para ello, se comparará el resultado obtenido en el despliegue del sistema NGPON2, mediante la reutilización de la infraestructura óptica instalada en el escenario definido, frente al resultado que se obtendría en otro escenario que requiera la creación de una nueva red óptica dedicada a tal finalidad.

### **1.3 Enfoque y método seguido**

Para listar las distintas estrategias que podrían haberse adoptado para cumplir con el objetivo del Trabajo, consistente en la adaptación de la red FTTx actual para adecuarla a las características NGPON2, habría que distinguir entre las distintas etapas asociadas.

La primera etapa, correspondiente a la verificación de la viabilidad técnica del proyecto, ha sido efectuada desde un punto de vista conceptual, fundamentada principalmente por las especificaciones GPON (ITU-T G.984), XGPON (ITU-T G.987) y NGPON2 (ITU-T G.989). Como alternativa, podría haberse llevado a cabo una simulación de un despliegue del sistema mediante herramientas software. Sin embargo, dado que el estándar NGPON2 ha sido recientemente

especificado, los mercados no disponen de soluciones consolidadas extremo a extremo, quedando pendiente una gran labor de desarrollo e investigación teórica, que ha sido tratada de madurar en esta fase del trabajo por considerarla más provechosa que la alternativa software simulada. Para completar a este estudio técnico llevado a cabo de manera teórica, lo ideal habría sido acompañarlo con una prueba de concepto real. Sin embargo, dadas las limitaciones presupuestarias, y la inexistencia de un escenario donde poder ejecutar las pruebas, esta estrategia fue desestimada.

Para la segunda etapa, en la que se formaliza un estudio económico teórico correspondiente a las conclusiones del análisis técnico previo, podrían haberse adoptado dos estrategias principales para la creación del escenario donde se desplegarán los servicios NGPON2. La arquitectura de la planta externa (edificios, canalizaciones, adversidades del entorno, etc), podría estar basada en figuras reales, o por el contrario podría consistir en un planteamiento genérico basado en un entorno ficticio. Si bien es cierto que la versión real del entorno aportaría datos y conclusiones más significativas, este tipo de información suele ser de carácter privado. A fin de evitar el uso de datos confidenciales, se ha optado por un planteamiento genérico que será totalmente válido en un contexto teórico general, como es el caso que nos ocupa.

## **1.4 Planificación del Trabajo**

Dada la naturaleza teórica del presente Trabajo, no ha sido preciso disponer de periféricos hardware o componentes de red, ni tampoco aplicativos software específicos para la simulación de redes de telecomunicación. En su lugar, el único recurso empleado, ha sido un ordenador de uso general con conectividad a internet, a fin de tener acceso a las distintas fuentes de información. También permitió la comunicación con el consultor para el seguimiento del Trabajo, y una vía de contacto con los suministradores de red colaboradores.

Se definieron siete tareas principales que han dado lugar al correcto desarrollo del Trabajo, así como a la consecución de los objetivos marcados:

- Introducción al trabajo realizado.
- Estado del arte, en el contexto de tecnologías ópticas.
- Estudio de viabilidad técnica, de despliegue del estándar NGPON2 sobre la infraestructura FTTx heredada.
- Estudio de viabilidad económica, para la evaluación de los costes asociados a las adaptaciones en la red óptica heredada, a fin de compatibilizarla con NGPON2.
- Conclusiones, derivadas del desarrollo personal del Trabajo, y posibles líneas de investigación futura.

- Redacción de la memoria del TFM, constituyendo el repositorio documental donde se recogen los aspectos más importantes resultantes del desarrollo del Trabajo. Además de incluir los puntos anteriores, se dedica un espacio al glosario y a la bibliografía del Trabajo.
- Creación de la presentación del TFM, constituyendo una versión resumida de la memoria. Si bien ambos documentos contienen una visión extremo a extremo del trabajo realizado, la presentación focaliza exclusivamente en los aspectos clave.

En la Figura 1.6, se muestra el diagrama de Gantt relativo a la planificación temporal de las tareas asociadas al presente Trabajo de Fin de Máster.

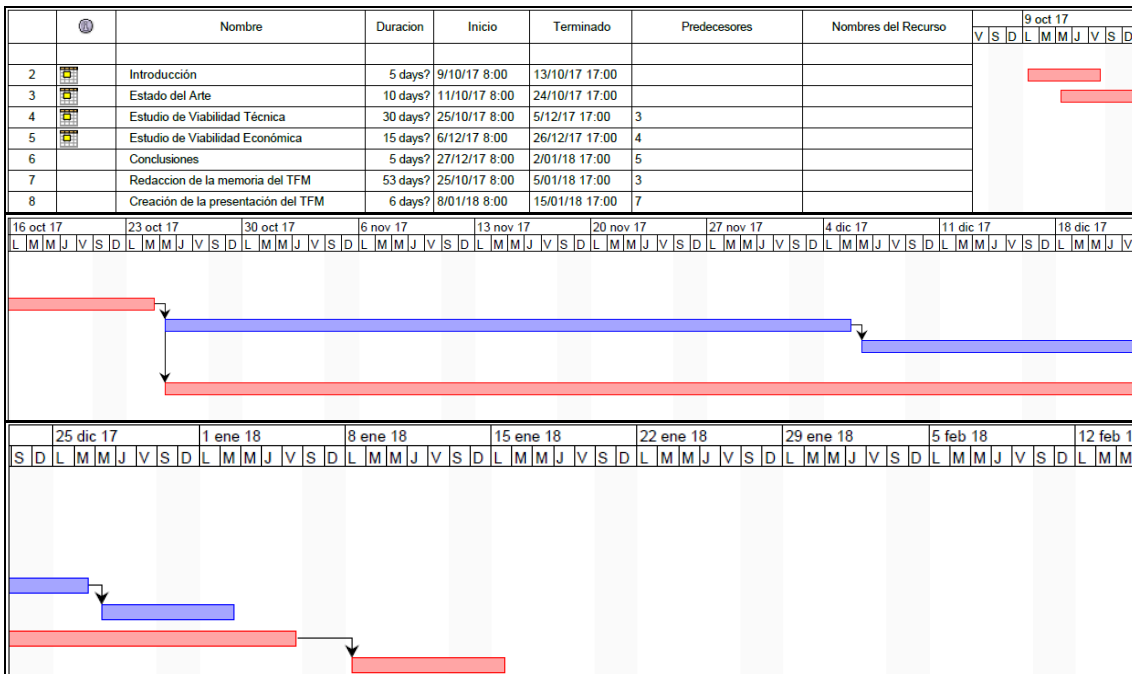


Figura 1.6: Diagrama de Gantt asociado a la planificación del TFM

## 1.5 Breve resumen de productos obtenidos

El resultado final de este Trabajo, radica en su memoria asociada en si misma, no se obtiene ningún producto o aplicativo concreto pues no eran los objetivos del Trabajo.

La labor investigativa llevada a cabo, ha concluido que el estándar NGPON2 puede ser implementado sobre la infraestructura óptica actual, llevando a cabo pequeñas modificaciones de adaptación. Si además se incorporan elementos de coexistencia, ha sido verificado que NGPON2 podrá convivir con estándares ópticos pasivos legados, tales como GPON y/o XGPON.

La valoración económica del trabajo, llevada a cabo sobre un escenario concreto, ofrece una aproximación de los costes globales que supondría llevar a cabo un despliegue NGPON2 sobre redes ópticas existentes. Si se llevara a cabo una extrapolación de las cifras calculadas, este análisis económico podría extenderse a escenarios más amplios y poblados.

Por ello, la presente memoria podría servir como punto de partida en el despliegue de sistemas NGPON2, y también como una importante base documental para seguir evolucionando en otras líneas de investigación.

## 1.6 Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

A continuación, se presenta una breve explicación de los contenidos de cada uno de los capítulos que conforman la memoria del Trabajo:

- **Introducción.** Este primer capítulo presenta el contexto y motivación que han impulsado el inicio del Trabajo, aportando cifras estadísticas reales que respaldan la necesidad de abordarlo. También se hace un breve resumen sobre medidas existentes para superar la problemática planteada.
- **Estado del arte:** Se lleva a cabo una labor de investigación para levantar el estado del arte en materias de tecnologías ópticas, sintetizando los distintos tipos de fibra, topologías de red, y mecanismos de reparto. Posteriormente, se realiza un recorrido histórico a través de estándares PON, comenzando por los actuales y desembocando en los estándares de nueva generación.
- **Estudio técnico:** El capítulo contempla una gran cantidad de aspectos técnicos, para verificar que la infraestructura actual FTTx puede ser reutilizada para albergar servicios NGPON2. Se lleva a cabo un análisis comparativo entre los planes de longitudes de onda de los principales estándares PON, tasas de transferencia de datos, parámetros de potencia, fundamentos técnicos, etc. También se debaten los aspectos necesarios para posibilitar migraciones desde unos estándares a otros, así como para permitir su convivencia sobre la misma red óptica.
- **Estudio económico:** En esta sección del Trabajo se evalúan los costes que conllevarían las adaptaciones en la red óptica heredada, necesarias para adecuarla a los requerimientos NGPON2.
- **Conclusiones:** Se realiza una labor de síntesis de las conclusiones más importantes en las que ha convergido el desarrollo personal del Trabajo, incluyendo adicionalmente posibles líneas de trabajo futuras.

También se dedican capítulos al glosario y bibliografía, habituales en trabajos documentales similares.



## 2. Estado del arte

En esta etapa del Trabajo, se llevará a cabo un levantamiento de las tecnologías ópticas principales, recorriendo el camino desde los estándares obsoletos, pasando por los actuales, hasta finalmente llegar a las especificaciones de nueva generación. También se presentarán los distintos tipos de fibra existentes, diferentes topologías de red, así como las opciones disponibles en cuanto a mecanismos de reparto.

### Principales organizaciones internacionales

Se realizará una breve introducción a las principales organizaciones internacionales en materia de las telecomunicaciones. Estas organizaciones participan activamente en multitud de aspectos relacionados con los sistemas de comunicaciones ópticas, que serán tratados a lo largo de todo el Trabajo.

FSAN, *Full Service Access Network*, en español, Red de Acceso de Servicio Completo, es una organización a nivel mundial formada por operadores de telecomunicaciones, laboratorios de pruebas, y proveedores de equipos. En el contexto de las redes de acceso de banda ancha soportadas por fibra óptica, los miembros de la organización trabajan conjuntamente en el desarrollo de especificaciones de sistemas [1].

IEEE, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, en español, Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, es una organización mundial de ingeniería encargada del desarrollo de normas y estándares [1].

ITU-T, *International Telecommunication Union*, en español, UIT, Unión Internacional de Telecomunicaciones, es el organismo de las Naciones Unidas especializado en las tecnologías de la información. La ITU-T, convierte las especificaciones desarrolladas por la organización FSAN en recomendaciones [1].

### Beneficios de los cables fibra óptica frente a los cables de cobre

Hasta hace relativamente poco tiempo, los cables empleados para el transporte de señales en redes de telecomunicación estaban fabricados principalmente con cobre, tal y como se ha introducido en el capítulo anterior. La solución del servicio final quedaba limitada a líneas genéricas de abonados digitales ADSL, y en el mejor de los casos a redes HFC (*Hybrid Fiber Coaxial*), compuestas por la combinación de enlaces de fibra óptica y cables coaxiales compuestos por cobre. Por ello, la velocidad de transmisión estaba limitada y los servicios proporcionados a los clientes no podían ir más allá de los segmentos residenciales y pequeñas empresas.

Los beneficios de la fibra óptica como medio de transmisión en comparación a los sistemas guiados de cobre o cable coaxial son innumerables, entre los cuales podrían destacarse el número reducido de cables necesarios, distancias de cobertura más amplias, mayor ancho de banda, así como el notable aminoramiento de las interferencias electromagnéticas. También se reducen

significativamente los costes asociados al equipamiento de red, y a las tareas de mantenimiento en comparación a los sistemas basados en cobre.

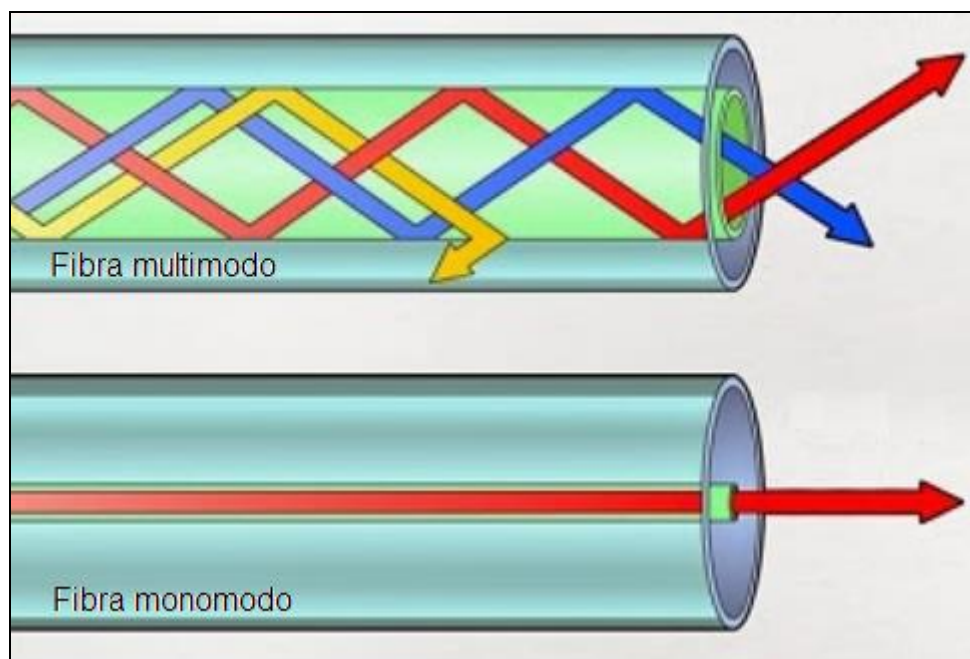
### Tipos de fibra óptica

Existen dos tipologías distintas de cables de fibra óptica orientadas al acceso, pudiendo ser de naturaleza monomodo o multimodo.

En la fibra monomodo, las señales viajan en el interior del núcleo sin rebotar en sus paredes. Un único haz de luz a una longitud de onda determinada viaja a través del núcleo de dimensiones muy reducidas, eliminando cualquier distorsión que podría resultar de pulsos de luz superpuestos [6]. Esto proporciona una menor atenuación de señal, traducida a velocidades de transmisión más altas y/o a mayores coberturas de distancia [7].

En cambio, en la fibra multimodo, los haces de luz rebotan en las paredes del revestimiento del cable durante su propagación por el núcleo. El amplio diámetro del núcleo de la fibra permite la propagación simultánea de distintas ondas de luz propagadas por múltiples trayectos o modos, mediante reflexiones sobre las paredes del cable [6]. Esto provoca distorsión en las señales propagadas y un aumento de su atenuación, dando lugar a menores velocidades de transmisión sobre distancias más cortas. No obstante, las fibras multimodo resultan más económicas que las fibras monomodo, y ofrecen buenas prestaciones en distancias cortas e intermedias [7].

En la Figura 2.1 han sido representados los trayectos recorridos por los haces de luz durante su propagación en el interior de ambos tipos de fibras.



**Figura 2.1: Fibras monomodo y multimodo [8]**

La fibra óptica monomodo es hoy en día el medio de transporte preferido en redes de transporte de información de largo alcance, ya que ofrecen un ancho de banda prácticamente ilimitado incluso a grandes distancias. Por su parte, las

fibras multimodo están más extendidas en redes de distancias reducidas, en las que ofrecen un rendimiento adecuado [7].

## Topologías de redes ópticas

Existen dos topologías distintas de redes ópticas, las redes punto a multipunto (PtM - *Point to Multipoint*) y las redes punto a punto (PtP - *Point to Point*).

En las redes PtM, cada uno de los cables de fibra que nacen en las centrales y salen al exterior, dan servicio a múltiples abonados a través de la incorporación de divisores ópticos. Esta topología es adecuada para aquellos escenarios en los que existan múltiples usuarios con necesidades de ancho de banda moderado, como por ejemplo, servicios ofrecidos a hogares y pequeñas empresas. En este tipo de redes, la información que viaja a través del cable desde la central, llega a todos los usuarios conectados a la misma fibra. Para que cada usuario reciba exclusivamente los contenidos que le pertenecen, se acude a diferentes técnicas de multiplexado de tramas de datos [1].

Las redes PtP ofrecen mayor ancho de banda, ya que cada abonado dispone de una fibra propia y dedicada que lo conecta con la central. Las distribuciones PtP son recomendadas para empresas de mediano y gran tamaño con importantes necesidades de ancho de banda garantizado [1].

En la Figura 2.2 se han representado ambos tipos de topologías de red sobre una distribución PON, PtP en la parte izquierda y PtM en la parte derecha.

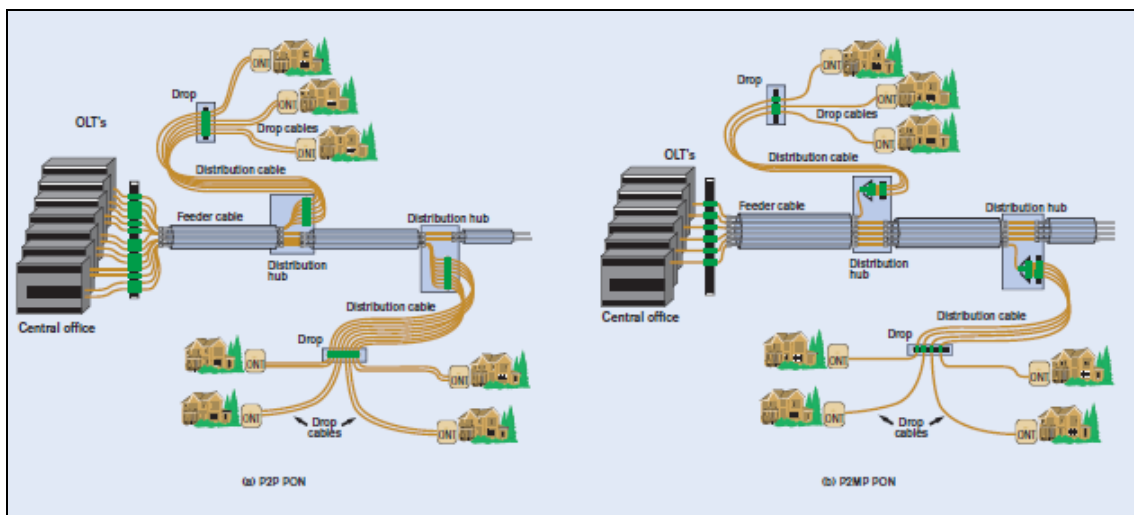


Figura 2.2: Topologías PtP y PtM de capa física PON [3]

## Mecanismos de reparto de la señal óptica

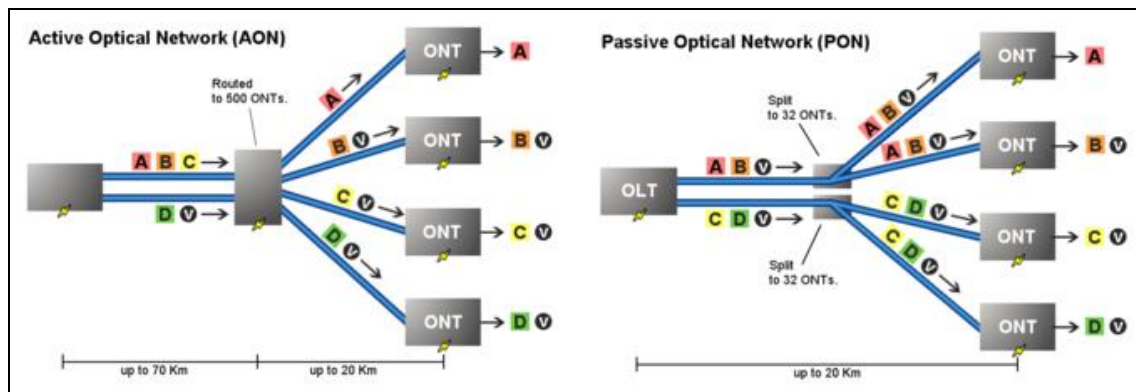
En el contexto de la arquitectura de redes de fibra óptica compartida, existen dos mecanismos distintos de reparto de señal hacia los suscriptores, las redes ópticas activas y pasivas.

Las redes ópticas activas (AON - *Active Optical Network*), utilizan equipos con alimentación eléctrica para la distribución de señales hacia los usuarios. Las

redes AON pueden utilizar fibras ópticas de tipo monomodo y multimodo, donde las señales requieren normalmente una transformación eléctrica-óptica. Se tratan de redes basadas en el Standard IEEE 802.ah, y proveen un ancho de banda simétrico con velocidades superiores a 1Gb/s por cada puerto sobre una única fibra. Para la transmisión, utilizan normalmente dos longitudes de onda multiplexadas sobre cada fibra óptica. De esta manera, por cada fibra conviven dos canales de transmisión a distinta longitud de onda, uno para el canal de transmisión y el otro para el canal de recepción. Esto permite una comunicación de datos Full-Dúplex mediante una conexión punto a punto con un ancho de banda dedicado al usuario [10].

Por otro lado, una red óptica pasiva (PON - *Passive Optical Network*) no cuenta con equipos que precisen de alimentación eléctrica. Estas redes permiten eliminar todos los componentes activos en la arquitectura de red que si están presente en su competidora AON. El elemento principal será el *splitter* o divisor óptico de potencia, el cual separará y recolectará las señales ópticas que se propaguen a través de la red, sin necesidad de ningún aporte de alimentación externa [11]. Las redes PON también pueden ser implementadas mediante el despliegue de fibras ópticas monomodo y multimodo [10].

En la Figura 2.3 se muestra un gráfico comparativo de ambos mecanismos de reparto.



**Figura 2.3: Mecanismos de reparto AON y PON [9]**

Puede notarse como el enrutador activo de la red AON es capaz de direccionar un mayor número de señales ópticas (normalmente entre 400 y 500, pudiendo llegar hasta 1000) que una red PON (el número varía considerablemente dependiendo del estándar en el que esté basado la red). Sin embargo, los medios necesarios para conseguir esta aparente mejora traen consigo algunas implicaciones negativas. En AON, cada señal descendente está dirigida solo al cliente destinatario, es decir, se trata de una conexión punto a punto en la que cada fibra es dedicada a un único usuario. En cambio, las redes PON siguen una comunicación punto a multipunto mediante broadcast descendente, donde el mensaje es enviado a múltiples destinatarios que comparten la misma fibra óptica. De ello se deriva que el planteamiento PtM empleado en redes PON respecto al PtP en redes AON, reduce drásticamente tanto el número de cables de fibra óptica que nacen desde la central, como el equipamiento requerido asociado.

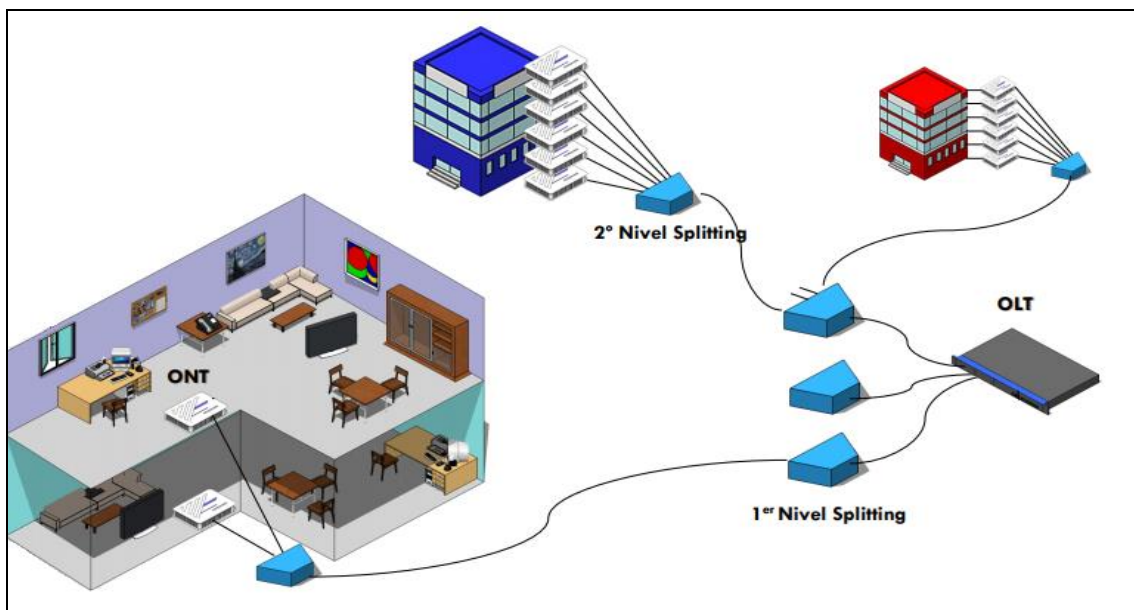
La utilización de sistemas pasivos trae consigo una diversa cantidad de mejoras notables respecto del planteamiento activo:

- Reducción de la inversión inicial en el despliegue (CAPEX - *capital expenditures*), debido a que la planta externa PON no precisa de instalación de componentes electrónicos.
- Optimización de los costes de operación (OPEX - *operating expenditures*), ya que se simplifican las tareas de mantenimiento y monitorización de componentes, además de reducir el consumo de energía.
- Mayor fiabilidad del sistema, debido a la inexistencia de componentes electrónicos que por naturaleza tienden al fallo.

Por consiguiente, la planta externa en sistemas ópticos para la provisión de servicios, constituida por el conjunto de medios que enlazan la central telefónica con los clientes, puede basarse tanto en mecanismos AON como PON. De entre ambas opciones, las redes PON son la clase más importante en la actualidad dadas sus notables ventajas.

### Estructura y funcionamiento de una red PON

Una red óptica pasiva está formada básicamente por un módulo OLT (*Optical Line Terminal*) situado en el nodo central, un divisor óptico de potencia o *splitter* que puede estar distribuido en uno o varios niveles/etapas de división, y múltiples ONUs (*Optical Network Unit*) alojadas en los domicilios de los usuarios [11], tal y como se muestra en la Figura 2.4.



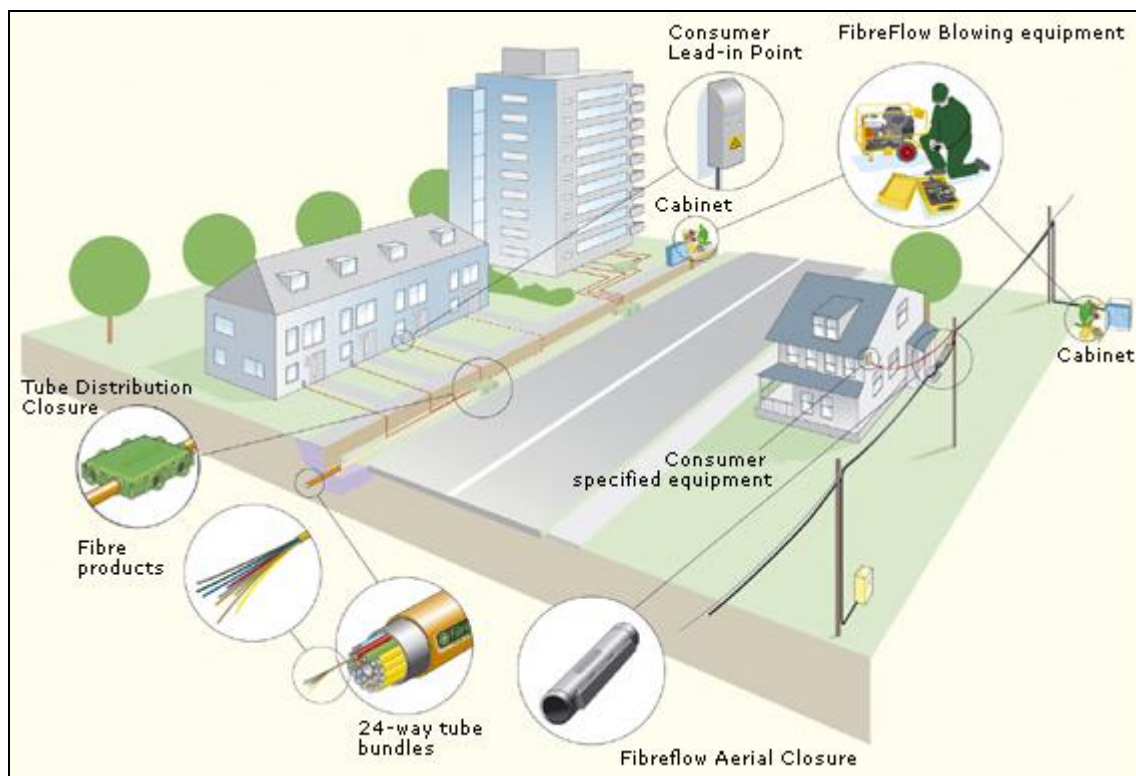
**Figura 2.4: Topología estándar PON [12]**

La comunicación se establecerá entre las OLTs y la ONUs, las cuales dispondrán de elementos transmisores y receptores para soportar enlaces bidireccionales. Las etapas de división harán de puente o conector entre la

ONUs y OLTs, ejerciendo funciones de división en sentido descendente, y funciones de combinación en sentido ascendente [11]. Todos estos elementos estarán conectados por un tendido de cables de fibra óptica cuyas características y propiedades deberán adecuarse al tipo de sistema PON desplegado [13].

En cada terminación de la red de fibra óptica, se conectará la ONT (*Optical Network Termination*) para distribuciones FTTH, o la ONU para el resto de distribuciones FTTx. Se trata de un equipo activo que ofrece las interfaces al usuario. En cuanto a la OLT, se corresponde con el equipo de la central, del cual parten los cables de fibra óptica hacia los usuarios. Las OLTs también son dispositivos activos, con capacidad de dar servicio a múltiples clientes [14].

En definitiva, la red de planta externa en sistemas PON está compuesta por elementos pasivos, tales como los divisores ópticos, cables de fibra, conectores y acopladores, etc. Fuera del ámbito de la planta externa, los componentes activos toman protagonismo, tales como baterías de reserva, la OLT en la central de comunicaciones ópticas (planta interna), y la ONU en instalaciones cercanas a la vivienda del cliente donde se provisiona el servicio [3]. En la Figura 2.5 se ha presentado un posible esquema donde se visualizan los sistemas de canalización que posibilitan la integración entre la planta interna y externa en un sistema de comunicación óptico.

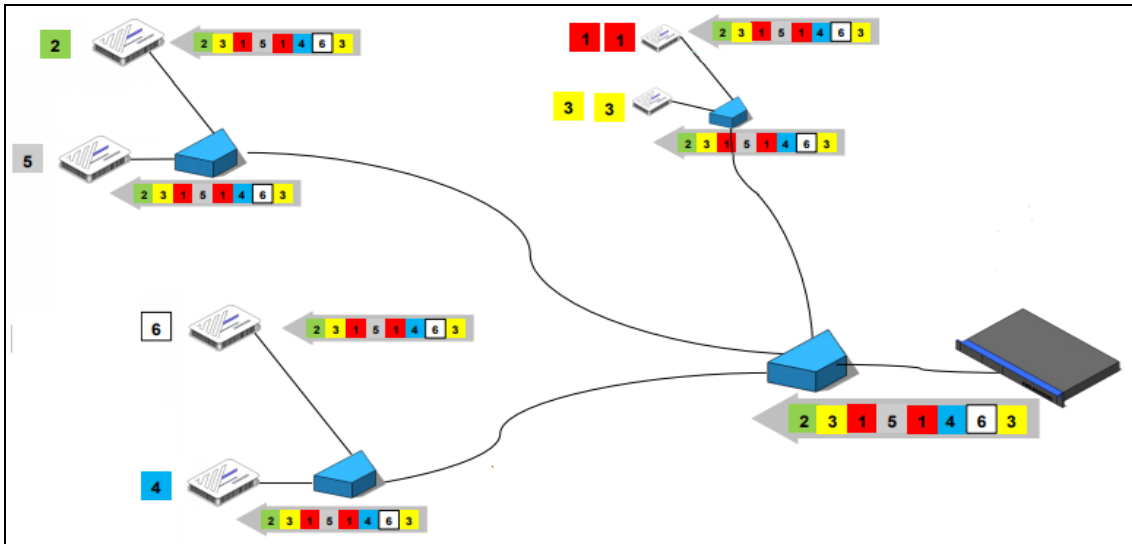


**Figura 2.5: Planta externa en sistemas de comunicaciones ópticas [15]**

### **Canal ascendente y descendente en una red PON**

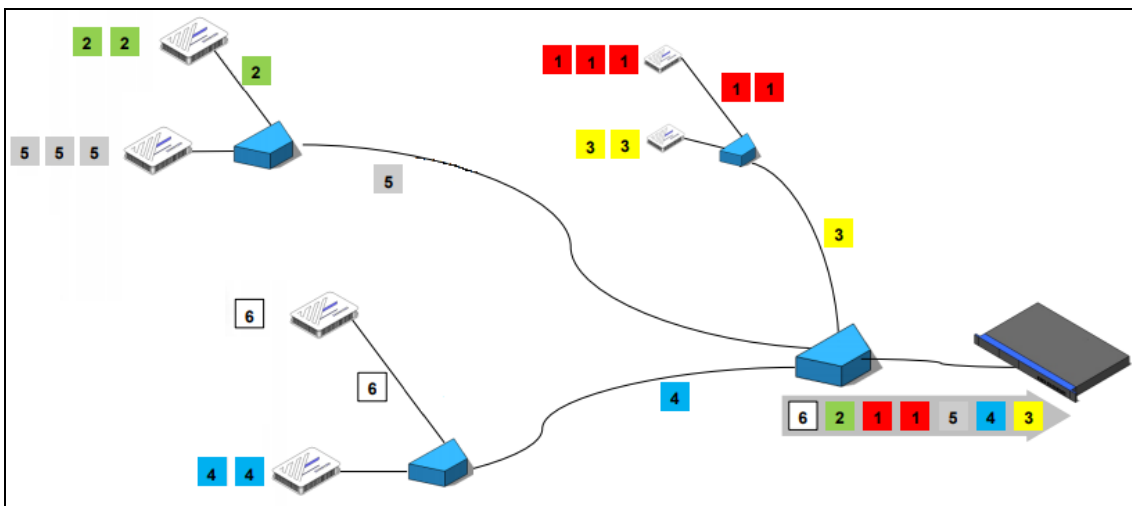
El canal descendente en un sistema PON tradicional consiste en un esquema PtM en el que la OLT envía una serie de contenidos hacia el divisor óptico, el

cual se encargará de distribuir estos contenidos hacia todas las ONUs sin llevar a cabo ningún tipo de discriminación. Las ONUs se encargarán de filtrar los mensajes para distribuir los distintos contenidos exclusivamente hacia sus destinatarios [11], tal y como puede visualizarse en la Figura 2.6. Este procedimiento utiliza multiplexación por división de tiempo (TDM - *Time Division Multiplexing*) para enviar la información en diferentes instantes de tiempo, y de esa forma poder transmitir multitud de mensajes pertenecientes a diferentes transmisores/receptores a través de la misma fibra óptica [11]. No obstante, existen otros tipos de divisores ópticos y técnicas más avanzadas que se verán en profundidad a lo largo de este trabajo.



**Figura 2.6: Canal PON descendente [12]**

Sin embargo, el canal ascendente en una red PON presenta una arquitectura punto a punto en la cual las diferentes ONUs implicadas transmiten su información particular hacia la OLT. De la misma forma que en el canal descendente, se empleará TDMA (*Time Division Multiple Access*) para la multiplexación de datos, donde cada ONU enviará fragmentos de información en diferentes instantes de tiempo de manera controlada y sincronizada por la OLT [11], tal y como se aprecia en la Figura 2.7.



**Figura 2.7: Canal PON ascendente [12]**

A fin de evitar interferencias entre las señales de los canales ascendente y descendente, dos longitudes de ondas diferentes conviven en la misma fibra mediante multiplexación por división de longitud de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*), una para cada canal [11]. A su vez, cada canal con su correspondiente longitud de onda asociada, multiplexará datos de distintos usuarios mediante TDM tal y como se comentado previamente.

Las redes PON tienen en consideración los efectos producidos en las señales por la distancia existente entre los usuarios y las centrales de telecomunicación. Estos sistemas controlan y regulan la potencia de transmisión de las señales, para asegurar que una vez que sean propagadas por la red de fibra óptica y hayan sufrido el nivel de atenuación correspondiente, llegue al receptor con un nivel de potencia igual o superior a su sensibilidad [11].

### **Estándares PON legados**

De entre las distintas recomendaciones definidas a lo largo del tiempo para la implementación de redes PON que a día de hoy se consideran estándares legados, podrían citarse APON, BPON, GPON, EPON y 10G-EPON, de los cuales GPON es el más extendido actualmente. A continuación, se presentarán los datos más representativos de cada uno de estos estándares:

#### ITU-T G.983

- **APON** (ATM PON): Se trata del primer sistema de banda ancha definido por el grupo FSAN. Su transmisión en canal descendente está basado en un tráfico de ráfagas de celdas ATM (*Asynchronous Transfer Mode*). APON tuvo gran éxito inicial en cuanto a despliegue comercial, pero carecía de la capacidad necesaria para ofrecer servicios de vídeo [13]. El estándar ofrecía inicialmente una velocidad máxima de transmisión de 155 Mb/s repartida entre todas las ONUs conectadas, pero posteriormente fue aumentada hasta los 622 Mb/s [11].
- **BPON** (*Broadband PON*): Principalmente está basado en APON, pero adicionalmente incluye la capacidad de dar soporte a otros estándares de banda ancha. Al igual que APON, su tasa de transferencia inicial fue definida a 155 Mb/s en ambos sentidos de comunicación, pero posteriormente se definieron dos modos mejorados, uno con un tráfico asimétrico de 622 Mb/s en canal descendente y 155 Mb/s en canal ascendente, y un segundo modo con tráfico simétrico de 622 Mb/s [11]. En el tiempo BPON comenzaba a desplegarse en Japón y EEUU, se definieron los estándares EPON y GPON [13].

Tanto APON como BPON presentaban costes elevados y limitaciones técnicas que frenaron su expansión.

#### ITU-T G.984

- **GPON** (*Gigabit capable PON*): Estándar inspirado en la arquitectura del sistema BPON, pero con capacidad añadida para dar soporte global



multiservicio (voz, *Ethernet*, ATM, etc). Pese a que las características y prestaciones de GPON se verán en detalle en el próximo capítulo, adelantar que ofrece un tráfico asimétrico de 2.4 Gb/s en sentido descendente y 1.2 Gb/s en sentido ascendente, y una segunda opción de 2.4 Gb/s simétricos, lo cual supone un avance importante en la tasa de transferencia en comparación con estándares anteriores [11].

#### IEEE 802.3 ah

- **EPON** (*Ethernet PON*): Especificación realizada por el grupo de trabajo EFM (*Ethernet in the First Mile*), constituido por la IEEE con la finalidad de aprovechar las altas prestaciones de las redes pasivas ópticas y aplicarlas a Ethernet. La arquitectura de una red EPON consiste en el transporte de tráfico Ethernet manteniendo las características de la especificación IEEE 802.3 de Ethernet. EPON opera a velocidades de 1,25 Gb/s simétricos, y permite una reducción de costes debido a que transmiten tramas Ethernet puras en lugar de celdas ATM [11]. Sin embargo, EPON carecía de algunas capacidades necesarias para ofrecer otras aplicaciones con calidad de servicio [13].

#### IEEE 802.3av

- **10G-EPON**: También desarrollado por el IEEE, este estándar especifica el acceso mejorado de EPON con un ancho de banda simétrico de 10 Gb/s, o un tráfico asimétrico de 10 Gb/s de bajada y 1,25 Gb/s de subida. Ambos estándares EPON y compatible 10G-EPON son compatibles entre sí [11].

### Estándares GPON y EPON

El éxito de la implantación de GPON frente a su principal competidor EPON se debe principalmente a que este ofrecía mayores funcionalidades estándar de gestión de la calidad, mayores garantías de evolución segura, además de que en los últimos años se ha convertido en una opción muy competitiva en cuanto a costes se refiere [16].

Por otro lado, los anchos de banda de bajada y subida (*downstream* y *upstream*) de GPON son de 2,488 Gb/s y 1,244 Gb/s respectivamente, frente a los 1,25 Gb/s simétricos de EPON. Además, la eficiencia de EPON (73% *downstream*, 61% *upstream*) es menor que la de GPON (93% *downstream*, 94% *upstream*), lo cual conduce a un mayor ancho de banda útil en GPON [16].

### Estándares NGPON

A pesar de las buenas prestaciones que GPON ofrecía, la aparición de nuevos servicios con mayores requerimientos de ancho de banda impulsó la creación del grupo NGPON (*Next Generation Passive Optical Network*) por parte de FSAN. El objetivo de NGPON era el de desarrollar nuevas generaciones de redes PON que permitieran un acceso con ancho de banda prácticamente ilimitado, acometiendo el proyecto en dos fases diferenciadas, NGPON1 y

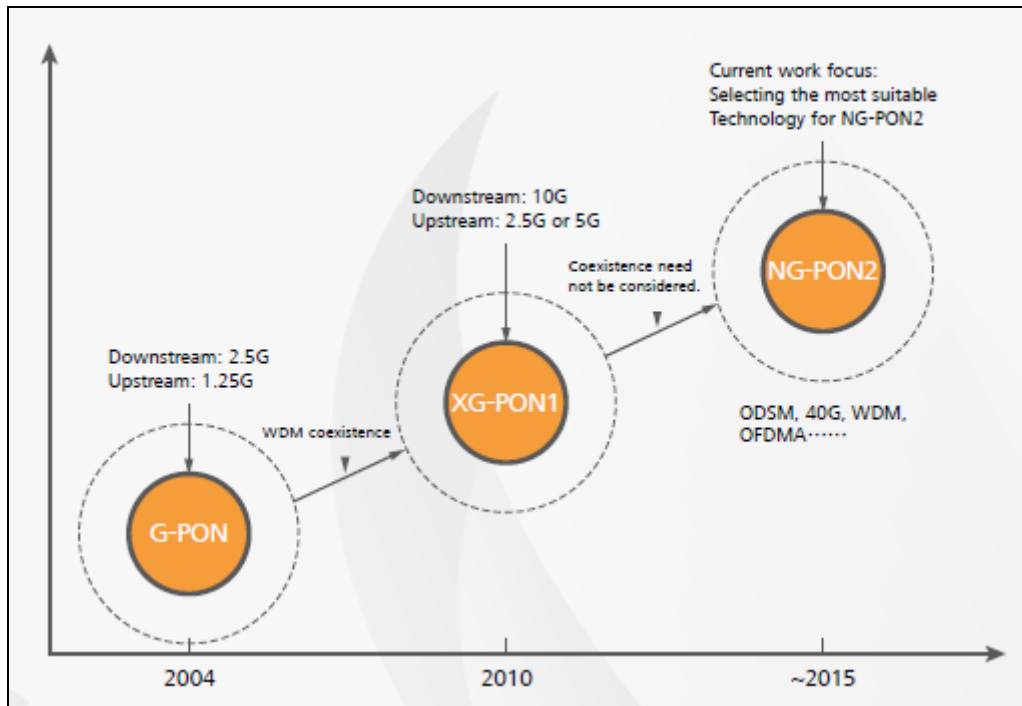
NGPON2. La primera fase culminó con el estándar XGPON, mientras que la segunda se encuentra en etapa de maduración [1]. Una de las premisas establecidas por NGPON, fue la de reutilizar tanto como fuese posible la red óptica pasiva instalada desde la central hasta los abonados, ya que su coste supone alrededor del 75-85% de la inversión global de los sistemas de banda ancha basados en comunicaciones ópticas [19].

La creación del nuevo estándar XGPON en el año 2010 se normalizó con la serie ITU-T G.987. Pese a estar basado en los mismos principios que GPON, permitió un aprovechamiento más eficiente de la red a aplicar en diferentes fines, como por ejemplo el de maximizar la velocidad de transmisión de la red móvil 4G [18]. El límite de los hasta entonces 2,5 Gb/s soportados por GPON, fueron aumentados por XGPON hasta soportar 10 Gb/s de descarga y 2,4 Gb/s de subida, o una segunda opción de 10 Gb/s simétricos, lo cual supuso un considerable aumento del ancho de banda [1]. Además de sus elevadas prestaciones, otro de los motivos que fomentó el éxito de la implantación de XGPON fue la compatibilidad aportada con su antecesor GPON, habilitando la coexistencia entre ambos estándares sobre la misma infraestructura FTTH, lo cual supuso importantes ahorros de obra civil, instalación y mantenimiento [19].

A día de hoy, GPON y XGPON se posicionan como estándares maduros y consolidados, que conviven para soportar la mayor red de fibra óptica desplegada en el mundo.

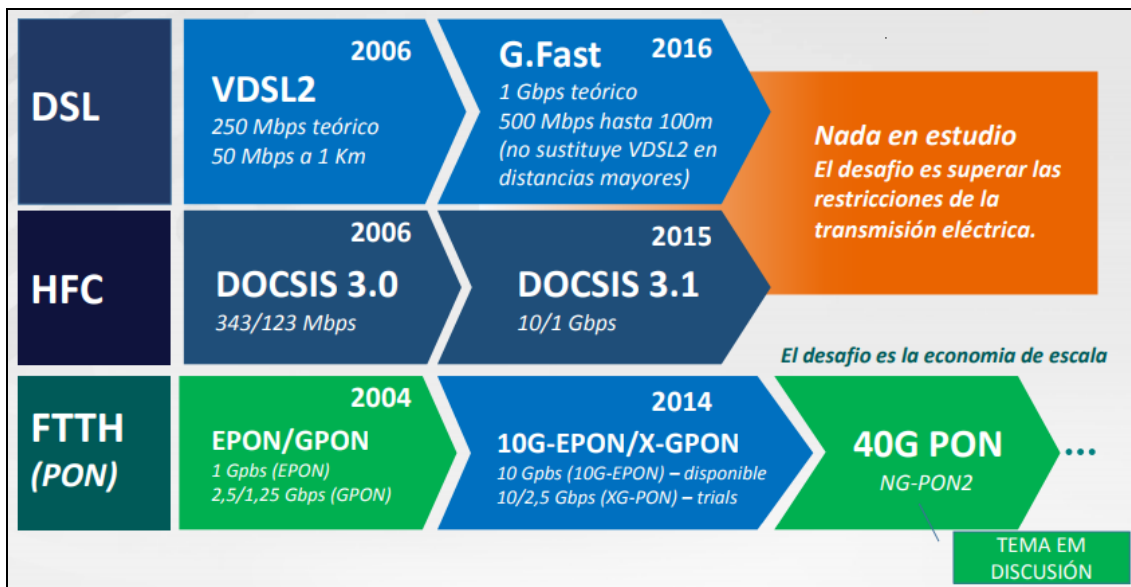
Dado que la tendencia incremental sobre el ancho de banda consumido por los servicios se mantiene firme, actualmente se está trabajando en el desarrollo de NGPON2 (*Next-Generation Passive Optical Network 2*), la nueva generación de estándares basados en redes ópticas pasivas. Una vez que las ideas desarrolladas fueron lo suficientemente maduras, con un alto nivel de consenso en la industria emergente, las empresas miembros de FSN involucraron a la ITU-T para iniciar un proyecto formal de desarrollo de estándares. El mejor sistema identificado para el cumplimiento de los requisitos NGPON2, se basó principalmente en un método híbrido de multiplexación por división en el tiempo y de longitud de onda (TWDM - *Time and wavelength division multiplexing*). La capacidad objetivo fue de al menos 40 Gb/s, con una tasa de hasta 10 Gb/s por longitud de onda asociada a cada canal. Adicionalmente, se incorporó la capacidad de superposición de longitudes de onda para habilitar una conectividad punto a punto virtual (PtP WDM - *Point to Point Wavelength Division Multiplexing*) sobre la misma infraestructura PON que TWDM [31]. A día de hoy existe una primera versión de dicho estándar recogido en la serie ITU-T G.989, y actualmente se está desarrollando una segunda versión de velocidad ampliada que permita converger con el nuevo estándar 100GEPON.

En la Figura 2.8 se muestra la trayectoria histórica seguida por FSN respecto del desarrollo de los estándares PON de mayor impacto global: GPON, XGPON, y previsiblemente NGPON2 en el corto y medio plazo dadas sus óptimas prestaciones.



**Figura 2.8: Roadmap de estándares PON por FSAN [17]**

En la Figura 2.9 han sido recopilados distintos estándares relevantes en el panorama actual, estructurados según tres tecnologías fundamentales, DSL, HFC y FTTH.



**Figura 2.9: Estándares NGN en discusión [2]**

Puede notarse como las tecnologías DSL y HFC ni si quiera cuentan con propuestas candidatas para albergar servicios NGN que puedan competir con NGPON2, debido principalmente al alto desafío que suponen los sistemas de transmisión eléctrica. Esta observación manifiesta el incorporable potencial de los sistemas PON respecto del resto de tecnologías competidoras.

### 3. Estudio técnico

En este capítulo, se formalizará un estudio de viabilidad técnica para garantizar que el proyecto definido conceptualmente en la teoría, sea realizable a todos los efectos. Se analizarán los distintos aspectos técnicos necesarios para cumplir con el objetivo del proyecto, a fin de localizar posibles restricciones e incompatibilidades tecnológicas de manera prematura.

Concretamente, se llevará a cabo un análisis comparativo entre los principales estándares PON, incluyendo sus planes de longitudes de onda, velocidades de transmisión, parámetros de potencia, etc, con la finalidad de verificar que la infraestructura óptica actual puede ser reutilizada para soportar servicios NGPON2. También se debatirán los aspectos necesarios para posibilitar migraciones desde sistemas legados PON hacia NGPON2, así como los requisitos para habilitar la convivencia entre distintos estándares PON sobre la misma infraestructura.

#### 3.1 Tecnología GPON

##### 3.1.1 Arquitectura de la red de acceso óptico

###### Arquitectura de red

La sección óptica de un sistema de red de acceso local, puede estar fundamentada en mecanismos de reparto activos o pasivos tal y como se ha comentado anteriormente, pudiéndose optar a su vez entre una arquitectura punto a punto o punto a multipunto.

La Figura 3.1 muestra algunas de las arquitecturas posibles más relevantes en función del punto alcanzado por el tramo de fibra óptica, pudiendo distinguir entre fibra hasta el hogar (FTTH - *Fiber to the Home*), fibra hasta la acometida del edificio (FTTB - *Fiber to the Building*), fibra hasta la calle/esquina (FTTC - *Fiber to the Curb*), y fibra hasta el armario de telecomunicaciones (FTTCab - *Fiber to the Cabinet*) [20].

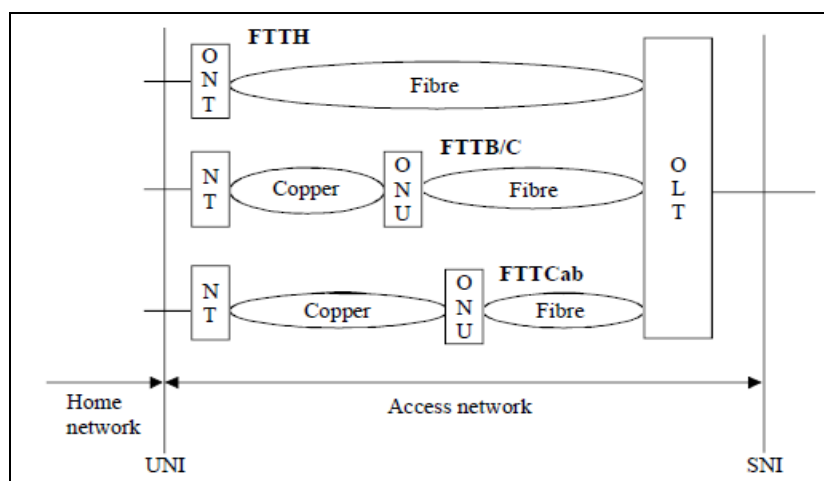


Figura 3.1: Arquitectura de red GPON [20]

Lógicamente, mientras mayor sea la proporción de la longitud del tramo implementado sobre fibra óptica respecto de la longitud total del enlace, menor será la longitud del cable de cobre, dando lugar a sistemas con mejores prestaciones debido a las innumerables ventajas de la fibra óptica como medio de transmisión frente a los cables de cobre convencionales.

La red de distribución óptica (*ODN - Optical Distribution Network*) en el contexto de sistemas PON, consiste en un árbol de fibras ópticas en la red de acceso, complementado con divisores de potencia o divisores de longitud de onda, filtros u otros dispositivos ópticos pasivos [20]. A diferencia de las redes troncales y/o de agregación, las ODNs de acceso implementan una arquitectura de fibra única por la que circulan todas las señales. En sistemas basados en el estándar GPON, las ODNs están constituidas por divisores de potencia, lo cual se argumentará más adelante en este trabajo.

La OLT (*Optical Line Termination*), es un dispositivo situado en la terminación de la ODN, concretamente en la centralita. Consiste en un elemento activo del que parten las comunicaciones ópticas en el enlace, agregando tráfico y encaminándolo hacia múltiples usuarios destinatarios [14]. Adicionalmente, la OLT proporciona funciones de gestión y mantenimiento a la ODN y ONUs a las que sustenta [20].

La ONU (*Optical Network Unit*), es un término genérico empleado para referirse al dispositivo que delimita la red óptica, en cualquiera de los puntos finales de la ODN mostrados en la Figura 3.1. En algunos contextos, una ONU implica un dispositivo para múltiples suscriptores [20].

La ONT (*Optical Network Termination*), es un dispositivo único para cada abonado [20], que representa a la ONU en el caso particular de la arquitectura FTTH, en la cual el dispositivo se encuentra alojado en la vivienda del cliente. La ONU hace de interfaz entre la red de fibra óptica y el usuario final, mediante la conversión de señales ópticas a eléctricas. También brinda otras funciones adicionales como módulos multiplexores y demultiplexores [14].

El término NT (*Network Termination*) se emplea para identificar el punto final de la planta externa en el lado del domicilio del cliente, coincidiendo con la ONT en la arquitectura FTTH.

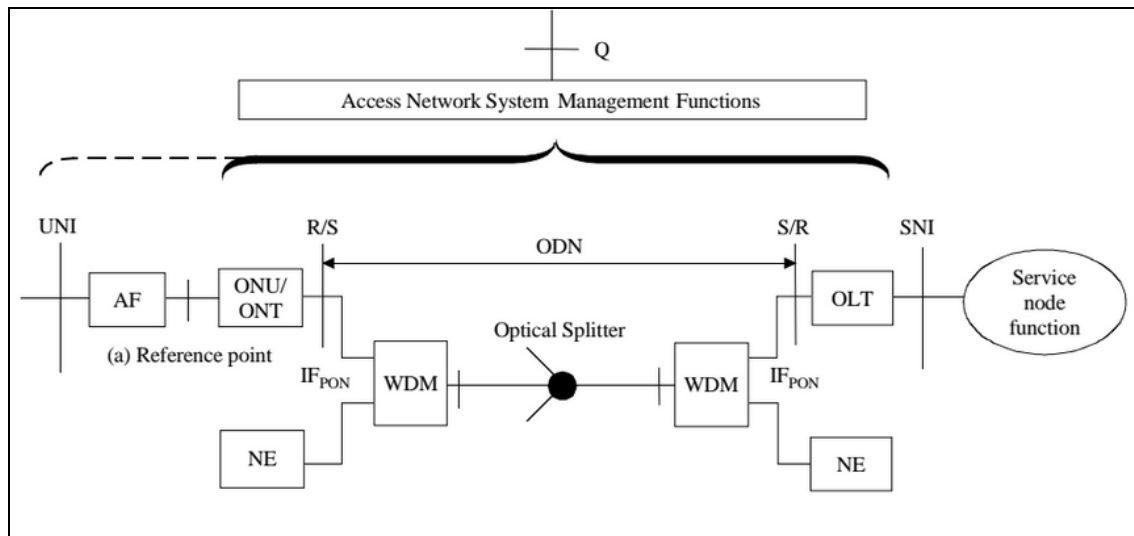
UNI (*User Network Interface*), es el punto físico que representa la delimitación entre el dominio del cliente y el dominio del proveedor del servicio, mientras que SNI (*Service Node Interface*) probé una forma de acceso a las funciones del nodo de servicio (*service node fuction*).

La red de acceso óptico (OAN - *Optical Access Network*) es común a todas las arquitecturas presentadas en la Figura 3.1, dando lugar a un sistema global resultante que puede transmitir grandes volúmenes de datos como resultado de la contribución de cada una de las arquitecturas individuales [20].

Puede apreciarse como en la arquitectura FTTH, la red de fibra óptica llega hasta la vivienda del consumidor del servicio, en la cual quedaría alojada la ONT. En el resto de distribuciones, la finalización de la sección de fibra óptica donde se aloja la ONU queda ubicada en un punto anterior, ya sea en la inmediatez de la vivienda de los clientes para los casos FTTB y FTTC, o en un punto más alejado para el escenario FTTCab.

### Configuración de referencia

En la Figura 3.2 se muestra la arquitectura de referencia GPON.



**Figura 3.2: Arquitectura de referencia GPON [20]**

El elemento NE (*Network Element*), representa un dispositivo que utiliza una longitud de onda diferente a las de las OLTs y ONUs [20]. Si estos elementos estuvieran presentes en la red, sería preciso incluir módulos WDM para la multiplexación de las distintas longitudes de onda que convivan en la misma ODN.

Por otro lado, los elementos AF (*Adaptation Function*), realizan funciones de adaptación que en ciertas ocasiones podrían estar incluidas en las propias ONUs [20].

En cuanto a los puntos de referencia R/S:

S. Representa al punto de la red situado justo después de la OLT en sentido descendente, y después de la ONU en sentido ascendente [20].

R. Representa al punto de la red (conector o empalme óptico) situado justo antes de la conexión ONU en sentido descendente, y antes de la OLT en sentido ascendente [20].

### 3.1.2 Bit rate

GPON presenta el objetivo de alcanzar velocidades de transmisión iguales o superiores a 1.2 Gb/s, habiendo definido dos modalidades distintas de tasas de transferencia según se muestra en la Tabla 3.1 [20].

	DESCENDENTE	ASCENDENTE
SISTEMA 1	2.4 Gb/s	1.2 Gb/s
SISTEMA 2	2.4 Gb/s	2.4 Gb/s

**Tabla 3.1: Tasas de transferencia en GPON [20]**

De entre las dos modalidades que ofrece, la tasa de transferencia de mayor importancia es de la de 1.2 Gb/s en sentido ascendente y 2.4 Gb/s en sentido descendente, constituyendo casi la totalidad de los despliegues GPON actuales y planificados a futuro [20].

### 3.1.3 Niveles de potencia óptica

En la Tabla 3.2, se ilustran los parámetros de potencia de transmisión y sensibilidad referidos al SISTEMA 1 GPON (2.4 Gb/s descendente, 1.2 Gb/s ascendente), tanto para las ONUs como para las OLTs.

ELEMENTO	UNIDADES	VALOR NOMINAL
<b>OLT</b>		
Potencia media de transmisión (MIN)	dBm	+1.5
Potencia media de transmisión (MAX)	dBm	+5
Sensibilidad mínima	dBm	-28
<b>ONU</b>		
Potencia media de transmisión (MIN)	dBm	+0.5
Potencia media de transmisión (MAX)	dBm	+5
Sensibilidad mínima	dBm	-27

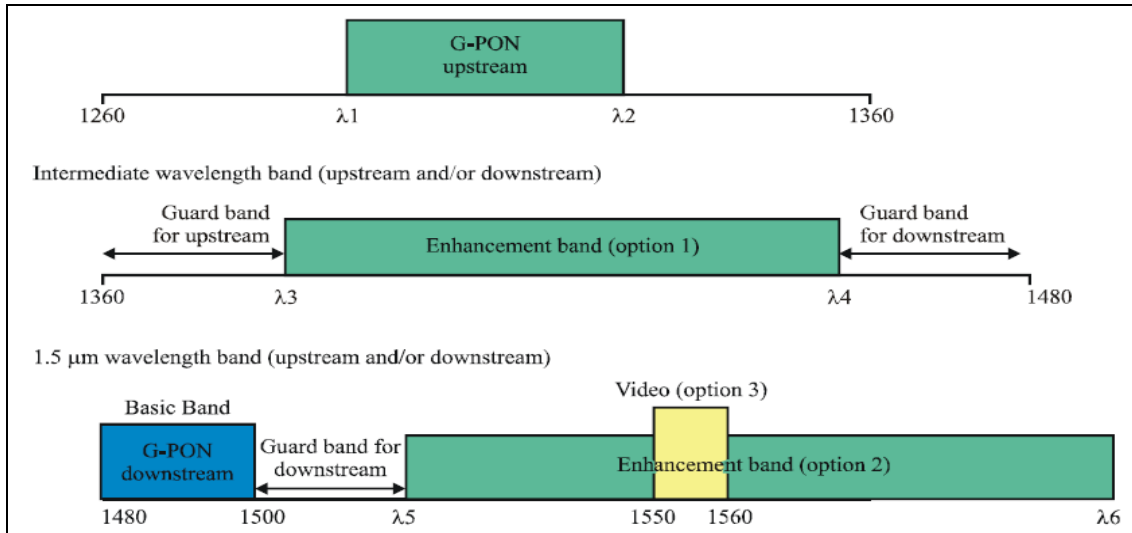
**Tabla 3.2: Niveles de potencia óptica en GPON [21]  
SISTEMA 1: 2.4 Gb/s descendente, 1.2 Gb/s ascendente**

### 3.1.4 Plan de longitudes de onda

Siendo GPON un sistema de fibra única en el que la comunicación dúplex se ofrece a través de un único cable, el rango de longitudes de onda de la señal descendente se especifica entre 1480 nm a 1500 nm, mientras que en el sentido ascendente se ubica de 1260 nm a 1360 nm [22]. Unos rangos de longitudes de onda adicionales fueron reservados con la finalidad de permitir la coexistencia de GPON con servicios adicionales, tales como servicios de video y NGA (*Next Generation Access*), además de especificar un grado de tolerancia para las posibles interferencias entre distintas ONUs GPON [22].

Este plan de asignación de longitudes de onda se muestra en la Figura 3.3 y en la Tabla 3.3. El rango de longitudes de onda de la señal descendente en GPON se ha denominado *basic band*, mientras que las bandas reservadas para albergar servicios adicionales se han nombrado como *enhancement band* [22].

Puede apreciarse como entre las bandas ascendentes y descendentes de GPON, respecto de las bandas reservadas para servicios adicionales, se intercalan bandas de protección *guard band* para minimizar las interferencias entre señales ubicadas en bandas útiles cercanas [22].



**Figura 3.3: Asignación de longitudes de onda en GPON [22]**

Los valores de longitud de onda contenidos en Tabla 3.3, tienen en consideración las bandas de protección que podrían ser obtenidas mediante el uso de filtros de bloqueo de longitud de onda comerciales (WBF - *Wavelength Blocking Filter*), empleados para conseguir el aislamiento requerido fuera de la banda de protección [22].

ELEMENTO	NOTACIÓN	Uds	VALOR NOMINAL	EJEMPLOS DE APLICACIÓN
<b>ASCENDENTE (REGULAR)</b>				
Límite inferior	$\lambda 1$	nm	1260	ONUs basados en láser Fabry-Perot
Límite superior	$\lambda 2$	nm	1360	
<b>ASCENDENTE (REDUCIDA)</b>				
Límite inferior	$\lambda 1$	nm	1290	ONUs basados en láser DFB
Límite superior	$\lambda 2$	nm	1330	
<b>ASCENDENTE (ESTRECHA)</b>				
Límite inferior	$\lambda 1$	nm	1300	ONUs basados en láser de espectro estrecho
Límite superior	$\lambda 2$	nm	1320	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 1-1)</b>				
Límite inferior	$\lambda 3$	nm	1415	Para acceso de próxima generación (NGA)
Límite superior	$\lambda 4$	nm	1450	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 1-2)</b>				
Límite inferior	$\lambda 3$	nm	1400	Para acceso de próxima generación (NGA)
Límite superior	$\lambda 4$	nm	1450	
<b>DESCENDENTE (BASIC BAND)</b>				
Límite inferior	-	nm	1480	GPON descendente
Límite superior	-	nm	1500	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 2)</b>				
Límite inferior	$\lambda 5$	nm	1530	Para acceso de próxima generación (NGA)
Límite superior	$\lambda 6$	nm	1580-1625	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 3)</b>				
Límite inferior	-	nm	1550	Distribución de video
Límite superior	-	nm	1560	

**Tabla 3.3: Asignación de longitudes de onda en GPON [22]**



### 3.1.5 Fundamentos técnicos

GPON utiliza técnicas de multiplexación de datos para combinar diversas señales en el mismo medio de transmisión. Concretamente, utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM - *Wavelength Division Multiplexing*) para facilitar comunicaciones bidireccionales sobre una sola fibra [24]. La longitud de onda de operación se sitúa en 1490 nm para el canal descendente, y en 1310 nm para el canal ascendente, tal y como se muestra en la Figura 3.4.

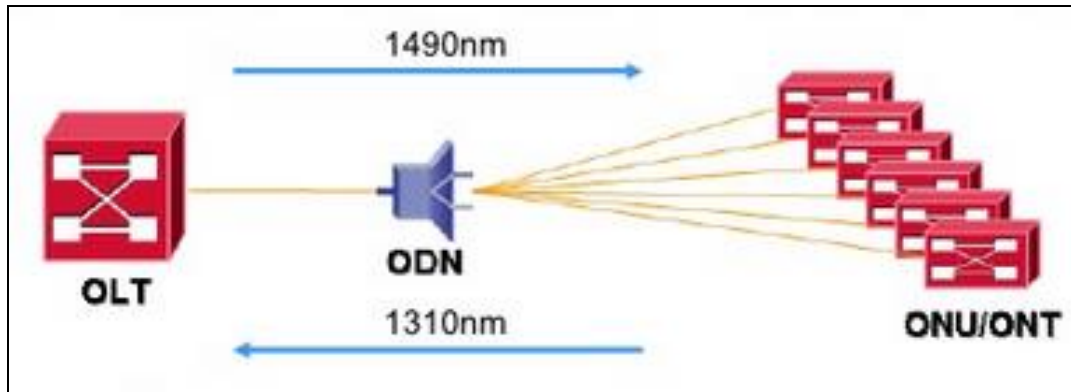


Figura 3.4: Longitudes de onda de operación en GPON [23]

Esta capacidad de comunicación bidireccional y simultánea no está implementada sobre la planta externa de la red, sino que se integra directamente en las ONUs y OLTs. Para ello, estos elementos disponen de filtros internos integrados, que habilitan la separación entre las longitudes de onda de los canales de subida y bajada.

Por otro lado, para separar las señales pertenecientes a múltiples usuarios en una sola fibra, GPON acude a mecanismos de multiplexación de división de tiempo. Particularmente, articula una comunicación PtM mediante TDM para la transmisión de paquetes en sentido descendente (Figura 3.5), y un modo TDMA para el enlace PtP ascendente (Figura 3.6).

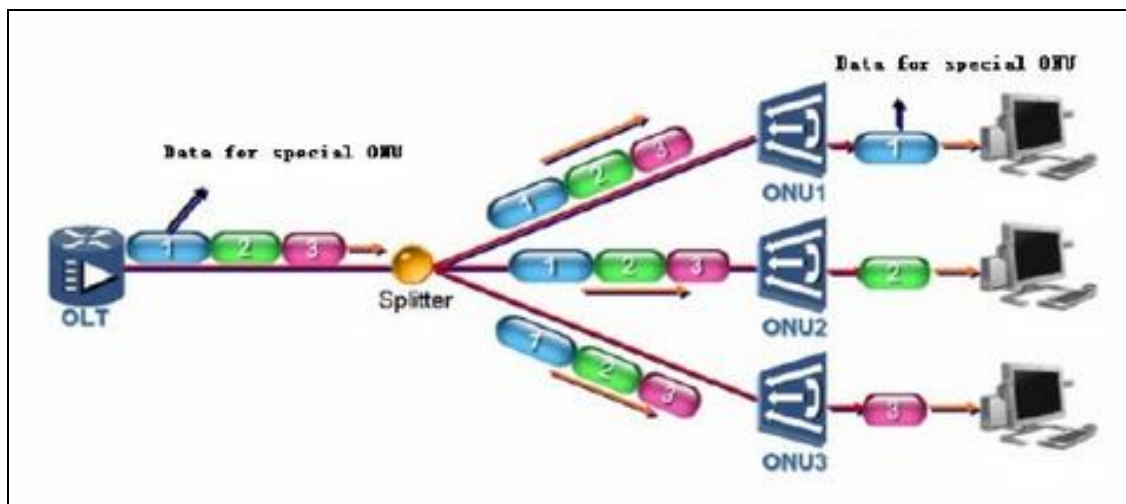
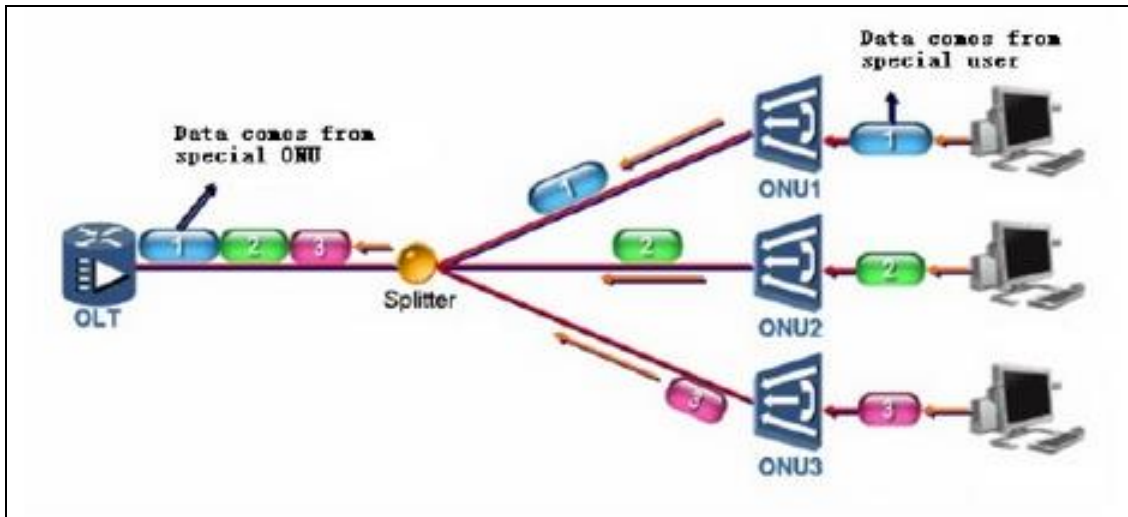


Figura 3.5: Modo PtM para el sentido descendente [23]



**Figura 3.6: Modo PtP para el sentido ascendente [23]**

La comunicación en sentido descendente será por consiguiente de tipo PtM, donde la OLT envía una serie de contenidos hacia el divisor de potencia para que este se encargue de repetirlos a todas las ONUs, las cuales llevarán a cabo un filtrado sobre la señal para dejar pasar al usuario solo aquellos contenidos de los cuales sea destinatario. Este planteamiento presenta problemas de seguridad de la información, pudiéndose acudir a mecanismos de cifrado en caso de que la confidencialidad de los datos sea una prioridad para el operador y/o el usuario [25].

En sentido ascendente, se establece una comunicación PtP donde las diferentes ONUs transmiten los datos generados por los usuarios hacia la OLT. Por su parte, la OLT se encarga de controlar la operación del canal ascendente, mediante la asignación de ventanas temporales a las distintas ONUs activas. Se requerirá de un mecanismo de control de acceso al medio para evitar colisiones, y para distribuir el ancho de banda disponible entre los distintos usuarios. Dado que el divisor de potencia es un elemento pasivo, resulta imprescindible que los paquetes ascendentes que reciba estén perfectamente sincronizados, para que este sea capaz de formar la trama GPON. Por ello, es necesario que la OLT conozca la distancia a la que se encuentran cada una de las ONUs, para de esa manera, poder tener en consideración los correspondientes retardos de transmisión [25].

### **3.1.6 Características generales**

#### **Servicios**

Se requería que GPON soportase tanto los servicios actualmente conocidos para clientes de tipología residencial y empresarial, como los nuevos servicios que serían introducidos en el mercado en un futuro cercano [20].

Las especificaciones sobre el servicio estaban más claras para unos operadores que para otros, ya que existía una fuerte dependencia con las condiciones regulatorias particulares de cada país, así como con el potencial

del mercado. Por tanto, la rentabilidad de estos servicios dependía de las condiciones legales, pero también de otros factores, tales como la infraestructura de telecomunicaciones existente en la región donde se desplegaría el servicio, la distribución de las viviendas del entorno, la combinación de clientes residenciales y clientes empresas, etc [20].

En la Tabla 3.4, se muestran algunos ejemplos de servicios especificados para ser soportados por GPON.

CATEGORÍA	SERVICIO	OBSERVACIONES
Datos	Ethernet	El servicio Ethernet sirve principalmente para transmitir datos IP, incluyendo VoIP, transmisiones de video codificadas por MPEG-2 o MPEG-4, etc.
PSTN (Public Switched Telephone Network)	POTS ( <i>Plain Old Telephone Service</i> )	Servicio telefónico tradicional
	ISDN (BRI)	Se corresponde con la red digital de servicios integrados (RDSI), en su modalidad básica BRI ( <i>Basic Rate Interface</i> )
	ISDN (PRI)	Se corresponde con la red digital de servicios integrados (RDSI), en su modalidad primaria PRI ( <i>Primary Rate Interface</i> )
Línea privada	T1	Servicio de línea arrendada ( <i>leased line</i> ) que establece comunicación entre dos puntos distintos
	E1	
	DS3	
	E3	
Video	Video digital	Video sobre IP con QoS

**Tabla 3.4: Ejemplos de servicios GPON [20]**

### Parámetros de distancia

El alcance físico o distancia de fibra, se corresponde con la distancia física máxima entre la ONU/ONT y la OLT. En GPON se han definido dos opciones distintas de 10 km y 20 km para el alcance físico. Se asume que el alcance de 10 km es la distancia máxima que puede ser utilizada en la ONU para altas velocidades de bits (1,25 Gb/s o superiores) [20].

La distancia máxima de fibra diferencial, representa la máxima diferencia de alcance entre todas las ONUs, es decir, la máxima diferencia de distancia de fibra entre la ONU más lejana y la más cercana. Este parámetro tiene un valor de 20 km en GPON [20].

Ambos conceptos han sido representados gráficamente en la Figura 3.7.

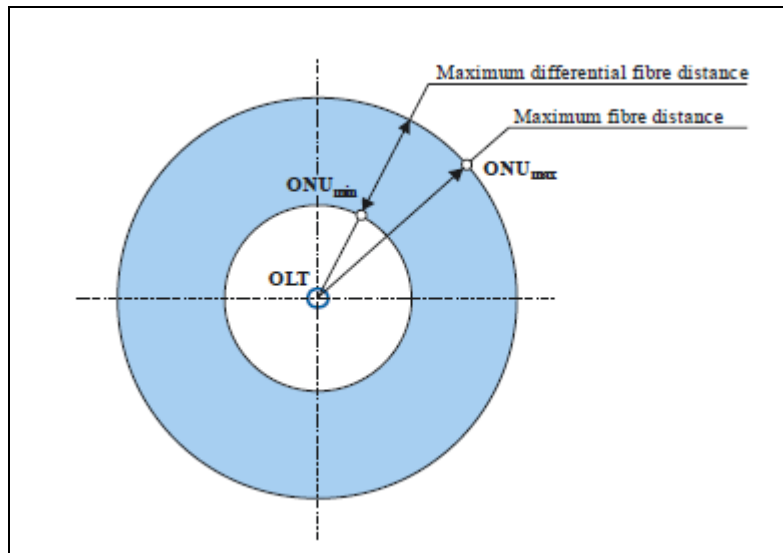


Figura 3.7: Conceptos de distancia de fibra [28]

### Máximo retardo medio de transferencia de señal

GPON debe poder sustentar servicios que requieran un retraso de transferencia de señal promedio máximo de 1.5 ms, sin incluir las demoras introducidas por las funciones de adaptación, como por ejemplo la emulación de circuitos [20].

### Relación de división

Una relación de división (*split ratio*) elevada supone una capacidad de penetración favorable para los operadores. No obstante, este incremento de la relación de división, implica tener que inyectar un mayor nivel de energía óptica para poder soportar el alcance físico deseado. Dada la tecnología actual, proporciones de división de hasta 1:64 son realistas para la capa física en GPON [20].

En la Figura 3.8, se ilustra la configuración típica para llevar a cabo la división de la señal óptica en GPON.

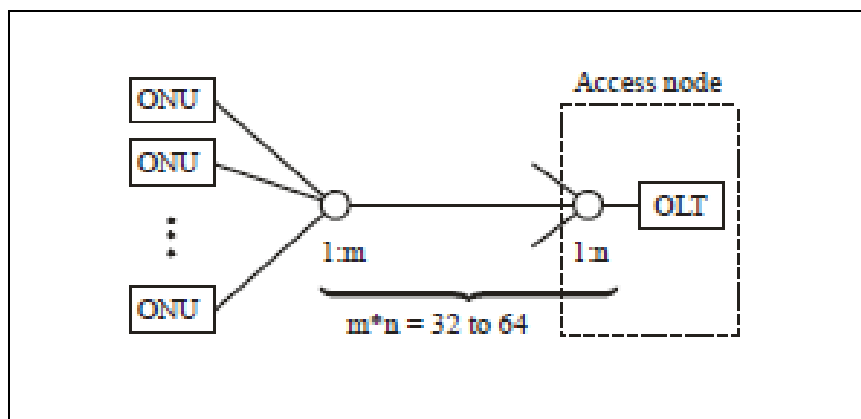


Figura 3.8: Divisor genérico en GPON [26]

## 3.2 Tecnología XGPON

### 3.2.1 Arquitectura de la red de acceso óptico

#### Arquitectura de red

De la misma forma que en GPON, la parte óptica de un sistema de red de acceso local XGPON puede ser activa o pasiva, con arquitecturas punto a punto o punto a multipunto. Por tanto, la arquitectura de red de ambos estándares coincide según lo visto en la Figura 3.1 [26].

No obstante, XGPON debe ampliar la capacidad heredada del estándar GPON, para producir un margen de potencia adicional a fin de lograr comunicaciones en distancias más largas y/o un factor de división de potencia óptica pasiva superior.

#### Configuración de referencia

En la Figura 3.9, se muestra la configuración de referencia de XGPON a alto nivel, muy similar a la vista para GPON en la Figura 3.2.

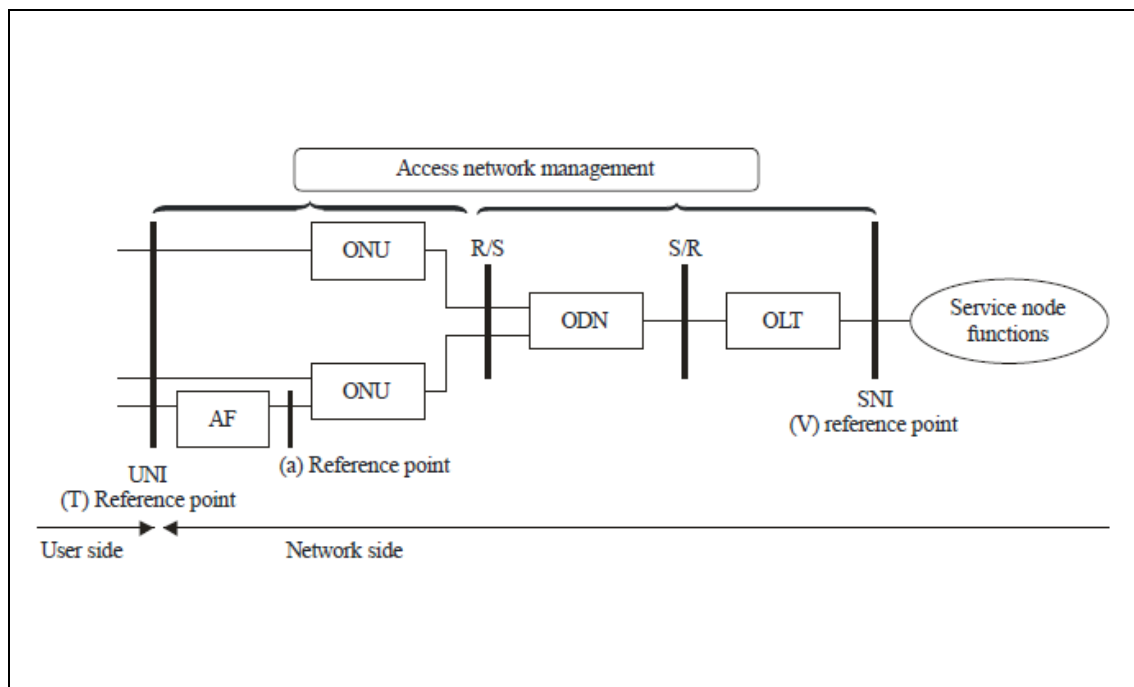


Figura 3.9: Arquitectura de referencia de alto nivel XGPON [26]

Por otro lado, la Figura 3.10 presenta la arquitectura de referencia de la red de acceso óptico (OAN) aplicada a XGPON, aportando en esta ocasión un mayor nivel de detalle. Se aprecia como la ODN en XGPON, puede consistir en un único segmento de distribución óptica pasivo (ODS - *Optical Distribution Segment*), o bien puede estar formada por un grupo de ODSs pasivos interconectados entre si mediante extensores de alcance (RE - *Reach Extenders*) [26].

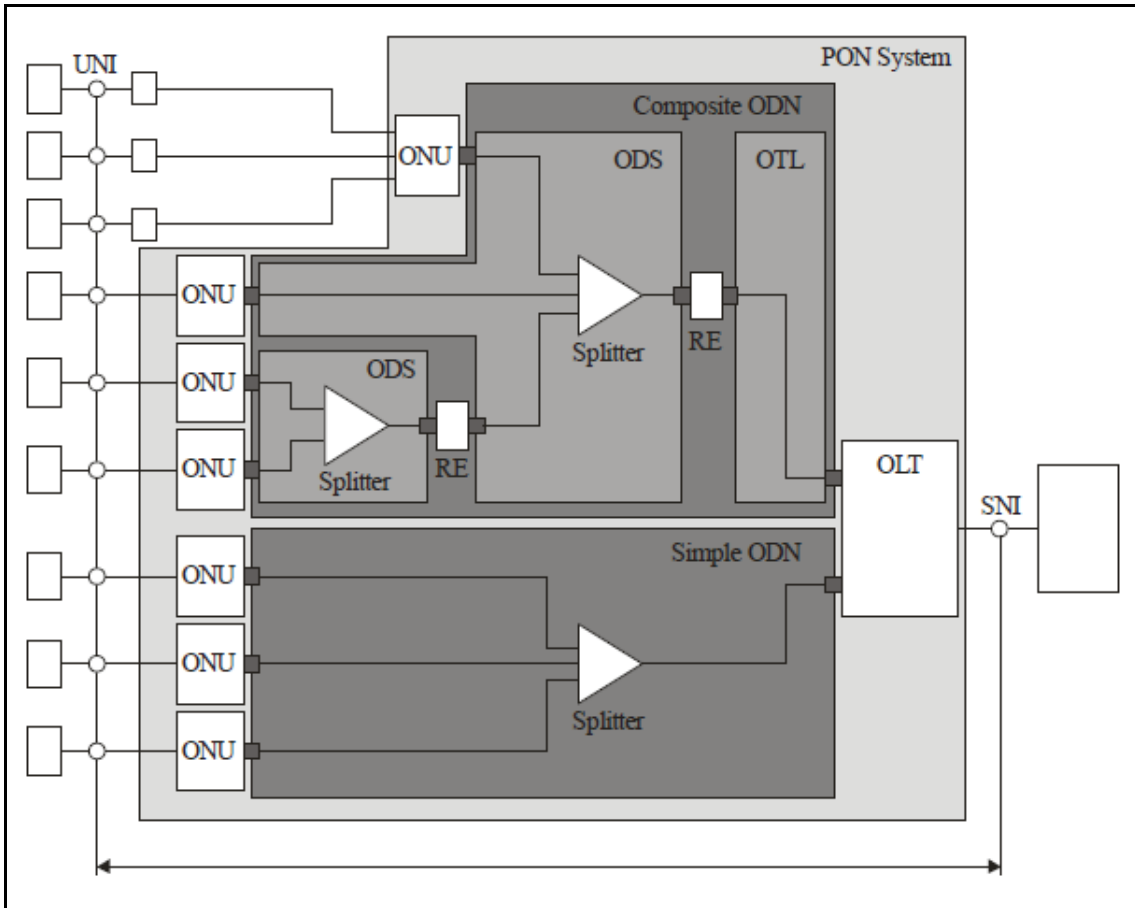


Figura 3.10: Arquitectura de referencia de la red de acceso XGPON [26]

### 3.2.2 Bit rate

La recomendación XGPON ha definido dos opciones distintas de velocidad de transmisión, las cuales se ilustran sobre la Tabla 3.5.

	DESCENDENTE	ASCENDENTE
XGPON1	10 Gb/s	2.5 Gb/s
XGPON2	10 Gb/s	10 Gb/s

Tabla 3.5: Tasas de transferencia en XGPON [26]

### 3.2.3 Niveles de potencia óptica

En la Tabla 3.6, se muestran los parámetros de potencia de transmisión y sensibilidad referidos a XGPON1 (10 Gb/s descendente, 2.5 Gb/s ascendente), tanto para las ONUs como las OLTs.

ELEMENTO	Uds	VALOR NOMINAL					
OLT							
Clase ODN		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b

Potencia media de transmisión (MIN)	dBm	+2	+4	+10.5	+6	+8	+14.5
Potencia media de transmisión (MAX)	dBm	+6	+8	+12.5	+10	+12	+16.5
Sensibilidad mínima	dBm	-27.5	-29.5		-31.5	-33.5	
<b>ONU</b>							
<b>Clase ODN</b>		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Potencia media de transmisión (MIN)	dBm	+2	+2		+2	+2	
Potencia media de transmisión (MAX)	dBm	+7	+7		+7	+7	
Sensibilidad mínima	dBm	-28	-28	-21.5	-28	-28	-21.5

**Tabla 3.6: Niveles de potencia óptica en XGPON [27]  
XGPON1: 10 Gb/s descendente, 2.5 Gb/s ascendente**

Notar como los niveles de potencia óptica XGPON representados en la Tabla 3.6, dependen de las distintas clases de ODN u OPL (*Optical Path Loss*): Nominal 1 (N1), Nominal 2 (N2), Extendido 1 (E1) y Extendido 2 (E2). Los distintos valores nominales OPL han sido recopilados en la Tabla 3.7.

PERDIDAS	Uds	VALOR NOMINAL (CLASES)			
		N1	N2	E1	E2
MIN	dB	14	16	18	20
MAX	dB	29	31	33	35

**Tabla 3.7: OPL (*Optical Path Loss*) en XGPON [27]**

### 3.2.4 Plan de longitudes de onda

A continuación, veremos las longitudes de onda de operación definidas para el sistema XGPON1 sobre un esquema de fibra única, las cuales abarcan los rangos 1575-1580 nm (1575-1581 nm para aplicaciones de exterior) en sentido descendente (*basic band*), y 1260-1280 nm en el sentido ascendente. Estos espacios del espectro electromagnético, tienen en consideración la tolerancia necesaria para poder convivir con señales interferentes provenientes de otros servicios, tales como GPON y contenidos de video [26].

La Figura 3.11 y la Tabla 3.8, exhiben el plan de asignación de longitudes de onda de XGPON1, incluyendo tanto las bandas reservadas para servicios adicionales (*enhancement band*), como las bandas de protección (*guard band*) intercaladas entre bandas operativas, teniendo en consideración parámetros de filtros WBF comerciales de bajo coste [26].

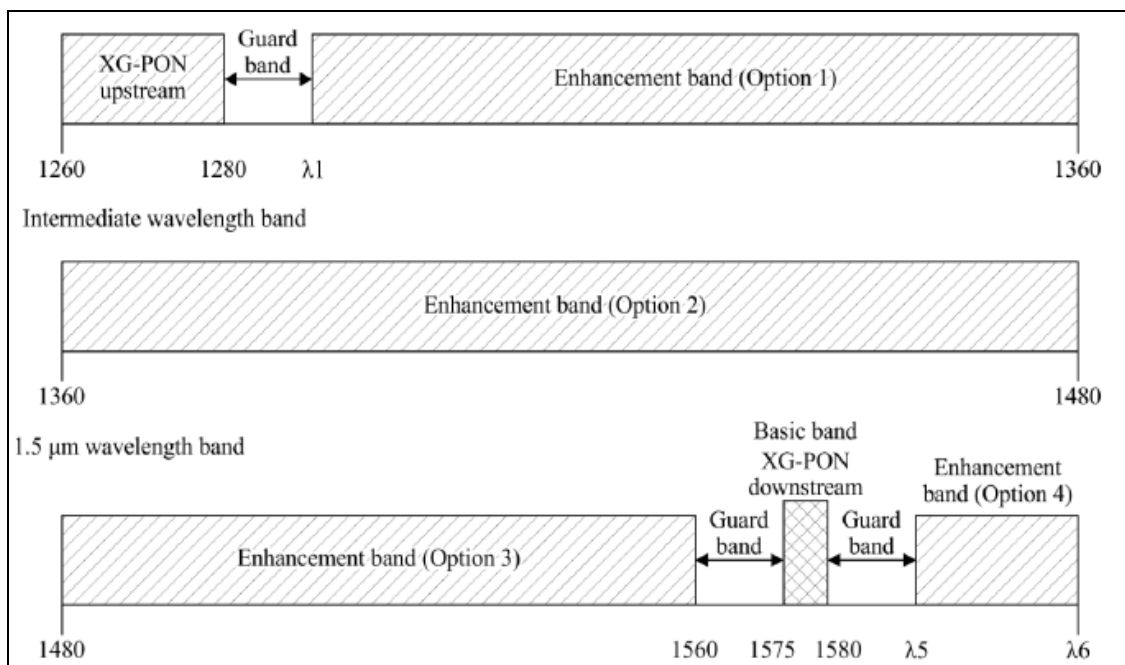


Figura 3.11: Asignación de longitudes de onda en XGPON [26]

ELEMENTO	NOTACIÓN	Uds	VALOR NOMINAL	EJEMPLOS DE APLICACIÓN
<b>XGPON1 ASCENDENTE</b>				
Límite inferior	-	nm	1260	XGPON1 ascendente
Límite superior	-	nm	1280	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 1)</b>				
Límite inferior	$\lambda_1$	nm	1290	GPON ascendente (banda reducida)
Límite superior	-	nm	1330	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 2)</b>				
Límite inferior	-	nm	1360	INFORMATIVO Reservada para futuros servicios. Son datos informativos pues las pérdidas en esta banda no están garantizadas
Límite superior	-	nm	1480	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 3)</b>				
Límite inferior	-	nm	1480	GPON descendente (1480-1500 nm) y/o distribución de video (1550-1560nm)
Límite superior	-	nm	1560	
<b>XGPON1 DESCENDENTE (BASIC BAND)</b>				
Límite inferior	-	nm	1575	XGPON1 descendente (1575-1581 nm en operaciones de exterior)
Límite superior	-	nm	1580	
<b>ENHANCEMENT BAND (OPTION 4)</b>				
Límite inferior	$\lambda_5$	nm	"X"	Reservada para futuros servicios. El límite "X" se encuentra pendiente de determinar
Límite superior	$\lambda_6$	nm	"X"-1625	

Tabla 3.8: Asignación de longitudes de onda en XGPON [26]



### 3.2.5 Fundamentos técnicos

XGPON está basado en los mismos principios que GPON, es decir, establece una comunicación PtM mediante TDM en sentido descendente, y enlaces PtP mediante TDMA en sentido ascendente [19]. Sin embargo, XGPON proporciona un mayor ancho de banda que su antecesor. Además, presenta algunas diferencias en cuanto a longitudes de onda de operación y balances de potencia óptica, tal y como se ha adelantado en apartados anteriores. Las mejores prestaciones de XGPON frente a GPON, tienen su origen en la sustitución de los elementos activos de la red GPON, principalmente OLTs y ONUs, por versiones mejoradas para XGPON.

### 3.2.6 Características generales

#### Servicios

Se requería que XGPON, como parte de la nueva generación de tecnologías NGPON, fuera totalmente compatible con servicios residenciales, empresariales, y aplicaciones de *backhaul* móvil, gracias a su alta calidad de servicio y gran ancho de banda, armonizando de esta forma con el concepto NGN (*Next Generation Network*) [26]. En la Tabla 3.9, se muestran algunos ejemplos de servicios NGPON soportados por XGPON.

CATEGORÍA	SERVICIO	OBSERVACIONES
Telefonía fija	VoIP ( <i>Voice over IP</i> )	Transmisión de voz a través de internet mediante el protocolo IP
	POTS ( <i>Plain Old Telephone Service</i> )	Servicio telefónico tradicional
Televisión en tiempo real	IPTV ( <i>Internet Protocol Television</i> )	Servicio de distribución de señales de televisión, a través de conexiones dedicadas de banda ancha sobre protocolo IP <i>multicast / unicast</i>
	Radiodifusión de televisión digital	Servicio de televisión digital terrestre donde la señal es transportada por superposición de video RF
Línea privada	T1	Servicio de línea arrendada ( <i>leased line</i> ) que establece comunicación entre dos puntos distintos
	E1	
Acceso a internet	Acceso a internet de alta velocidad	Normalmente mediante la aplicación Gigabit Ethernet
Telefonía móvil	<i>Backhaul</i> móvil	Conexiones desde las estaciones base móviles hasta el segmento troncal de la red
L2 VPN		Servicios de Ethernet
IP		L3 VPN, VoIP, etc

Tabla 3.9: Ejemplos de servicios XGPON [26]

## Parámetros de distancia

XGPON1 debe admitir una distancia máxima de fibra de al menos 20 km en las peores condiciones, siendo este el máximo valor definido para GPON, lo cual supone un incremento de prestaciones en cuanto al alcance se refiere [26].

Además, se ha definido una distancia máxima de fibra diferencial de 20 km, y una segunda variante opcional de 40 km [26].

Al igual que en cualquier red óptica pasiva, el alcance máximo del enlace podría verse condicionado por la relación de división del sistema, siendo este un importante factor a controlar.

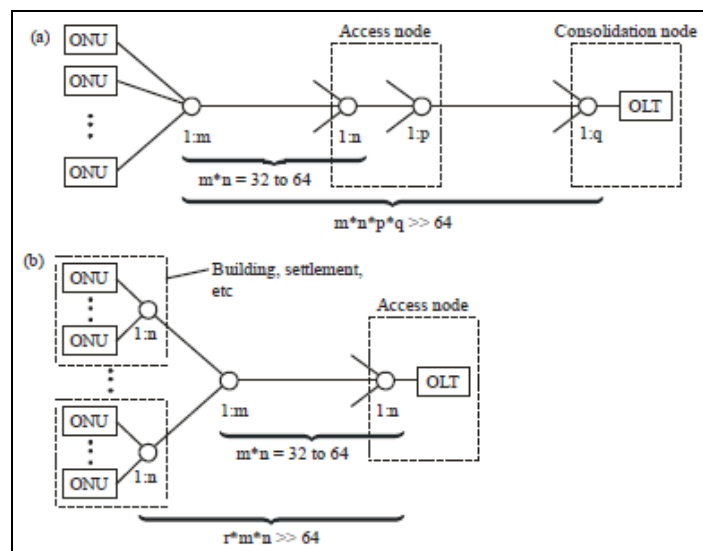
## Máximo retardo medio de transferencia de señal

Al igual que en su antecesor, XGPON debe acomodar servicios que requieran un retraso de transferencia de señal promedio máximo de 1.5 ms [26].

## Relación de división

Debido a que muchos operadores de red han construido su infraestructura ODN con un factor de división de 1:32 o 1:64 para la norma GPON, esta división de 1:64, sujeta al balance de pérdida total, será el requisito mínimo para permitir la coexistencia de XGPON con su antecesor. Algunos operadores de redes expresaron su interés de extender el factor de división más allá de 1:64 en favor de mejorar la economía general del sistema, pudiendo alcanzar relaciones de división de 1:128 o incluso 1:256 [26].

En la Figura 3.12, se muestran distintas opciones de arquitecturas empleadas para el divisor de potencia en XGPON.



**Figura 3.12: Configuraciones del divisor de potencia en XGPON [26]**  
(a) Aumento del factor de división en un nivel de la red de acceso más alto  
(b) Aumento del factor de división en un nivel de la red de acceso más bajo

### 3.3 Tecnología NGPON2

Dos tecnologías fundamentales han sido asignadas al estándar NGPON2, TWDM PON (*Time and Wavelength Division Multiplexing PON*) y PtP WDM PON (*Point to Point Wavelength Division Multiplexing PON*) [31]. El estándar ha sido definido con la finalidad principal de habilitar redes de acceso fijo mediante configuraciones TWDM. No obstante, si un fabricante decidiera desarrollar servicios dedicados mediante un planteamiento PtP WDM, podría llevarlo a cabo respetando los parámetros y restricciones especificadas para los canales TWDM, evitando de esta forma que los enlaces de servicios dedicados provoquen interferencias con el servicio de acceso fijo.

#### 3.3.1 Arquitectura de la red de acceso óptico

##### Arquitectura de red

La arquitectura de un sistema NGPON2 coincidiría principalmente con la de los estándares GPON y XGPON, es decir, adopta una arquitectura pasiva con configuración PtM al igual que sus antecesores, aunque NGPON2 incorpora nuevas prestaciones mejoradas que se detallarán en apartados posteriores.

##### Configuración de referencia

La Figura 3.13 representa la arquitectura lógica de referencia para un sistema NGPON2.

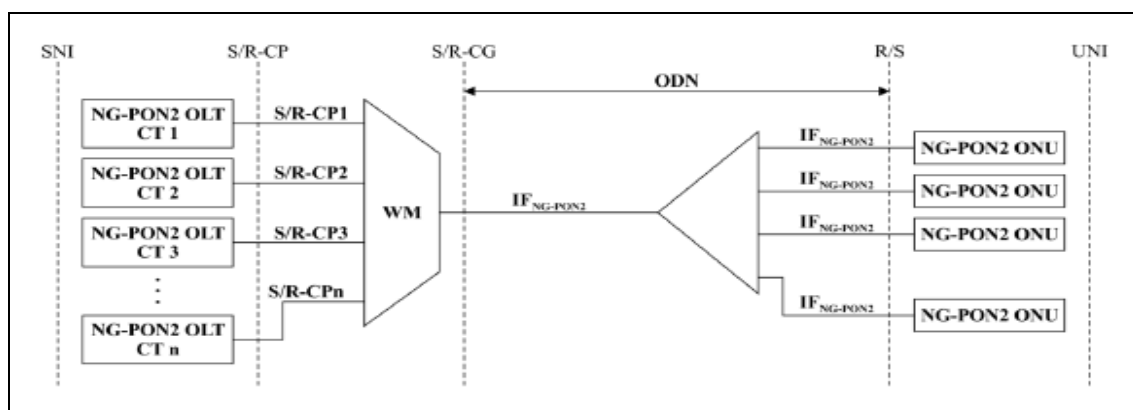


Figura 3.13: Arquitectura de referencia lógica NGPON2 [29]

De la figura anterior se deduce que en un sistema PON de longitud de onda múltiple, como es el caso de NGPON2, la OLT está compuesta conceptualmente por múltiples terminaciones de canal (CT - *Channel Termination*) conectadas a través de un multiplexor de longitud de onda (WM - *Wavelength Multiplexer*) [29]. El punto de referencia S/R-CG denota la localización donde la OLT envía (para las ONUs) y recibe (desde las ONUs) un conjunto de pares de longitud de onda pertenecientes a los sentidos ascendentes y descendentes de la comunicación, denominados CG (*Channel Group*). Por consiguiente, la infraestructura asociada a la ODN, abarcará desde la salida del WM (punto de referencia S/R-CG), hasta la entrada de la ONU (punto de referencia R/S).

Un posible ejemplo de arquitectura de referencia de red de acceso que satisfaga la definición del sistema NGPON2, sería la presentada para XGPON sobre la Figura 3.10 [29]. De la misma forma que en XGPON, la ODN en NGPON2 puede consistir en un único segmento de distribución óptico pasivo (ODS - *Optical Distribution Segment*), o bien podría estar formada por un grupo de ODSs pasivos interconectados mediante extensores de alcance (RE - *reach extenders*).

### 3.3.2 Bit rate

NGPON2 presenta tres opciones distintas de velocidad de transmisión por cada canal de acceso TWDM, según se muestra en la Tabla 3.10.

	DESCENDENTE	ASCENDENTE
<b>SISTEMA 1</b>	2.5 Gb/s	2.5 Gb/s
<b>SISTEMA 2</b>	10 Gb/s	2.5 Gb/s
<b>SISTEMA 3</b>	10 Gb/s	10 Gb/s

**Tabla 3.10: Tasas de transferencia en NGPON2 [30]**

### 3.3.3 Niveles de potencia óptica

En la Tabla 3.11 se mostrarán los parámetros de potencia de transmisión y sensibilidad referidos al SISTEMA 3 NGPON2 por ser la opción de mayor futuro, formado por canales TWDM con una velocidad de transmisión de 10 Gb/s simétricos. Los parámetros son especificados tanto para las ONUs como las OLTs, respecto de las distintas clases ODN definidas para NGPON2, y de los tipos de enlace posibles.

ELEMENTO	Uds	VALOR NOMINAL			
<b>OLT</b>					
<b>Clase ODN</b>		N1	N2	E1	E2
Potencia media de transmisión (MIN)	dBm	+3	+5	+7	+9
Potencia media de transmisión (MAX)	dBm	+7	+9	+11	+11
Sensibilidad mínima (S/R-CG*)					
Enlace Tipo A	dBm	-26.5	-28.5	-31.0	NA
Enlace Tipo B	dBm	-28.5	-30.5	-33.0	-33.0
<b>ONU</b>					
<b>Clase ODN</b>		N1	N2	E1	E2
Potencia media de transmisión (MIN)					
Enlace Tipo A	dBm	+4	+4	+4	NA
Enlace Tipo B	dBm	+2	+2	+2	+4
Potencia media de transmisión (MAX)					
Enlace Tipo A	dBm	+9	+9	+9	NA
Enlace Tipo B	dBm	+7	+7	+7	+9
Sensibilidad mínima	dBm	-28	-28	-28	-28

**Tabla 3.11: Niveles de potencia óptica en NGPON2 [29]  
SISTEMA 3: 10 Gb/s simétricos**

Los parámetros de potencia de la interfaz óptica de transmisión y recepción para los canales TWDM y PtP WDM en NGPON2, están especificados con el propósito de que admitan las cuatro clases OPL definidas en XGPON1 (Tabla 3.7). Por ello, las clases OPL especificadas en XGPON1 se mantienen para NGPON2 sin presentar restricciones en cuanto al número y distribución geográfica de los divisores ópticos de potencia a emplear, dentro de los límites de alcance. Esto permitirá la reutilización de la infraestructura de fibra XGPON previamente instalada. Además, las clases OPL XGPON/NGPON2 N1 (14-29 dB) y E1 (18-33 dB) son compatibles respectivamente con las clases OPL GPON B+ (13-28 dB) y C+ (17-32 dB). Esto permitirá la coexistencia de sistemas NGPON2, XGPON y GPON en el mismo ODN, tal y como se verá en detalle en apartados posteriores [31].

Como una opción de implementación, NGPON2 incluye dos tipos de enlaces TWDM ascendentes, que difieren en sus parámetros de interfaz óptica. Los parámetros del enlace Tipo A se basan en la suposición implícita de no utilizar preamplificadores ópticos en el receptor OLT. Por el contrario, los parámetros del enlace Tipo B están ligados a un receptor OLT ópticamente preamplificado. Por consiguiente, el enlace Tipo A requerirá de un transmisor ONU más potente. Por su parte, el enlace Tipo B requerirá una sensibilidad más fina del receptor OLT en el punto S/R-CG, para poder interpretar señales recibidas de baja intensidad a fin de amplificarlas posteriormente [29].

\* Notar que para el caso particular de NGPON2, la sensibilidad mínima está definida en el punto S/R-CG y no en la propia OLT como ocurría en los estándares GPON y XGPON (ver Figura 3.13). Por ello, si se deseara mapear este parámetro de NGPON2 con estándares anteriores donde el elemento WM no tiene lugar, habría que considerar las pérdidas insertadas por este dispositivo (3-5 dB aproximadamente) para poder comparar la sensibilidad entre estándares correctamente.

### **3.3.4 Plan de longitudes de onda**

La Tabla 3.12 representa la especificación del plan de longitudes para los canales TWDM y PtP WDM en NGPON2. La compartición del espectro planteada, permite la coexistencia completa entre NGPON2 y el resto de sistemas legados (GPON, XGPON, sistemas de radio frecuencia, sistemas de video, etc) [29]. La selección del plan de longitud de onda en NGPON2 fue el resultado de una evaluación exhaustiva de muchas opciones, y un compromiso entre dos requisitos aparentemente divergentes. Si bien debe permitir la coexistencia con generaciones PON heredadas, también debe ser lo suficientemente flexible para adaptarse a diferentes escenarios de implementación y expansión futura [31]. Para ello, la opción de espectro expandido PtP WDM PON admite una gran flexibilidad, hasta tal punto que podría ser empleada tanto para habilitar la coexistencia con sistemas PON legados, como para admitir nuevos escenarios de implementación [31]. Por consiguiente, el sistema NGPON2 debe garantizar la posibilidad de flexibilidad espectral para permitir actualizaciones en su capacidad de forma progresiva, en función del crecimiento de la demanda de servicios. La flexibilidad espectral también deberá facilitar una gama de escenarios de coexistencia que evite la

interferencia con sistemas heredados, para posteriormente pasar a liberar estas bandas de frecuencia una vez que caigan en desuso por la desactivación de los sistemas legados [30]. Para cumplir con los requisitos anteriores, el sistema NGPON2 debe ofrecer la posibilidad de acceder a múltiples longitudes de onda, grupos de longitudes de onda, o bandas de longitud de onda, que puedan separarse física y lógicamente. De esta forma, podrán ser gestionadas de manera aislada, ya sea a través de un única OLT, o por múltiples OLTs independientes [30].

El espectro TWDM descendente, fue diseñado específicamente para evitar interferencias con señales de video RF y XGPON1. Las tres opciones espectrales TWDM ascendente (banda ancha, banda reducida y banda estrecha) están determinadas por las capacidades de gestión de longitud de onda del transmisor ONU, con un mejor control que permite el uso de una banda operativa más estrecha [31].

Para los canales PtP WDM ascendente y descendente, se proporcionan dos modalidades espectrales. La primera opción de espectro expandido, es adecuada para implementaciones *green field*, o reutilizaciones flexibles de partes del espectro asignadas a priori a otros sistemas PON que se encuentren en desuso. La segunda opción de espectro compartido, se emplea en despliegues *brown field* de coexistencia total con los sistemas PON heredados. A diferencia de TWDM, PtP WDM permite que los canales ascendente y descendente se encuentren en la misma banda de longitud de onda, y así permitir una mayor flexibilidad de implementación [31].

	ELEMENTO	Uds	VALOR NOMINAL
<b>TWDM PON</b>	<b>ASCENDENTE</b>		
	<b>OPCION BANDA ANCHA</b>		
	Límite inferior	nm	1524
	Límite superior	nm	1544
	<b>OPCION BANDA REDUCIDA</b>		
	Límite inferior	nm	1528
	Límite superior	nm	1540
	<b>OPCIÓN BANDA ESTRECHA</b>		
	Límite inferior	nm	1532
	Límite superior	nm	1540
	<b>DESCENDENTE</b>		
Límite inferior	nm	1596	
Límite superior	nm	1603	
<b>PtP WDM</b>	<b>ASCENDENTE/DESCENDENTE</b>		
	<b>ESPECTRO EXPANDIDO</b>		
	Límite inferior	nm	1524
	Límite superior	nm	1625
	<b>ESPECTRO COMPARTIDO</b>		
	Límite inferior	nm	1603
Límite superior	nm	1625	

Tabla 3.12: Asignación de longitudes de onda en NGPON2 [29]

### 3.3.5 Fundamentos técnicos

#### Capacidad de sintonización de longitud de onda en las ONUs

Muchas de las características presentes en GPON y XGPON, como las clases OPL XGPON o el soporte de video de RF, son mantenidas en NGPON2 para garantizar la máxima reutilización de la tecnología existente, la infraestructura de fibra óptica ya instalada, y la coexistencia con sistemas PON heredados [31].

La transmisión en sentido ascendente y descendente en NGPON2 se produce de manera simultánea a través de la misma fibra. Esto no supone ninguna diferencia respecto de los sistemas GPON y XGPON, que ya proporcionaban comunicación dúplex a través de la capacidad WDM integrada en las ONUs y OLTs.

Sin embargo, una característica clave que diferencia al sistema NGPON2 de sus predecesores, es que se trata de la primera especificación PON de la industria que opera con múltiples longitudes de onda por sentido de comunicación mediante WDM, siendo compatible además con redes de distribución óptica basadas en divisores de potencia [31].

Otro aspecto novedoso introducido en NGPON2 es su capacidad de sintonización. Cada ONU integrante del sistema NGPON2 está equipada con un transmisor y un receptor sintonizable. Debido al requisito fundamental de compatibilidad con ODNs basadas en divisores de potencia, ambos transceptores deben ser capaces de ajustarse a la longitud de onda de operación de los canales TWDM y PtP WDM dentro de las bandas especificadas por el estándar [31]. Si en la ODN existiera un dispositivo WDM, éste mismo se encargaría de seleccionar/asignar la longitud de onda de operación de cada ONU ubicada en una rama de salida. Sin embargo, si la ODN estuviera constituida únicamente por un divisor de potencia, es preciso que cada ONU tenga la capacidad de sintonizarse a la longitud de onda que le sea asignada, de ahí que sea necesario que tengan cierta capacidad de sintonización.

Además de la capacidad para soportar ODNs de división de potencia, siendo este un requisito indispensable para permitir la compatibilidad con la infraestructura óptica de la red de acceso ya instalada, NGPON2 también soporta ODNs de división de longitud de onda, así como ODNs híbridas compuestas por una combinación de estas dos tipologías. Las ONUs sin capacidad selectiva de longitud de onda, formadas por transceptores fijos no sintonizables, solo pueden operar dentro de ODNs de división de longitud de onda puras [31]. Puesto que una de las implementaciones preferidas en NGPON2 se basa en redes híbridas a fin de escalar tanto en TDM como en WDM, sumado al requerimiento de compatibilidad con ODNs legadas basadas en división de potencia, hacen que las ONUs no sintonizables queden fuera del ámbito del estándar NGPON2.

Para dotar al sistema de una mayor flexibilidad y así poder escalar en capacidad, se espera que las ONUs puedan operar en más de una longitud de onda simultáneamente, gracias a la incorporación de un elemento multiplexor de longitud de onda que complementará al divisor de potencia. Así, se podrá escalar en velocidad, pudiendo transmitir/recibir en más de una longitud de onda de forma simultánea, lo cual refuerza la necesidad de que las ONUs dispongan de esta característica sintonizable.

Por su parte, las OLTs, no deben disponer de esta capacidad de sintonización, tan solo deberán recibir el total de las longitudes de onda transmitidas por las distintas ONUs, y ser capaces de diferenciar al receptor destinatario concreto de cada uno de estos mensajes.

Por consiguiente, los sistemas NGPON2 no pueden depender del filtrado estático de longitudes de onda en la ODN [31], ya que los distintos componentes espectrales podrían quedar sintonizados dentro de la banda de rechazo del filtro, dando lugar a pérdidas de señales de interés.

Una característica específica de estos dispositivos sintonizables NGPON2 es su tiempo de sintonización, el cual se define como el tiempo transcurrido desde el momento en que el dispositivo sintonizable deja el canal de longitud de onda origen, hasta el momento en el que alcanza el canal de longitud de onda destino. Los dispositivos sintonizables que soportan las diferentes clases de sintonización para permitir una gama de capacidades en el sistema NGPON2, pueden basarse en una variedad de tecnologías que tienen costos potencialmente diferentes [31]. Han sido especificadas tres clases de tiempo de sintonización, como se muestra en la Tabla 3.13.

CLASES	TIEMPO DE SINTONIZACIÓN
1	< 10 $\mu$ s
2	10 $\mu$ s – 25 ms
3	25 ms – 1 s

**Tabla 3.13: Clases de tiempo de sintonización en NGPON2 [31]**

Los dispositivos sintonizables más lentos de Clase 3, podrían basarse en efectos térmicos para cambiar su longitud de onda de funcionamiento, siendo adecuados para aplicaciones que requieran reajustes de longitud de onda poco frecuentes, o sistemas tolerantes ante cortas interrupciones del servicio. Los dispositivos sintonizables de Clase 2 permiten una sintonización de canal más rápida, ofreciendo una protección inferior a 50 ms. Los dispositivos sintonizables de Clase 1, caracterizados por el tiempo de ajuste más corto, pueden alcanzar un tiempo de sintonización inferior a 10  $\mu$ s [31].

### **Tecnologías NGPON2**

El estándar está basado en dos tecnologías novedosas introducidas por primera vez en escenarios PON, TWDM (*Time and Wavelength Division Multiplexing*) y PtP WDM (*Point to Point Wavelength Division Multiplexing*) [31]. De manera común en ambos tipos de canales, cada OLT/ONU operará a una longitud de onda concreta, lo cual supone una importante diferencia conceptual



respecto de GPON/XGPON, en las que todos los elementos activos funcionaban a la misma longitud de onda.

En TWDM PON, las ONUs tienen asignado también un *slot* temporal, con lo que se consigue un acceso múltiple no sólo por división de longitud de onda, sino también por división de tiempo. Así, cada ONU tiene asignado un *slot* temporal, y unas longitudes de onda de bajada y subida, que son compartidas a su vez por otras ONUs pertenecientes al mismo subgrupo del total de ONUs existentes en la ODN.

Por otro lado, PtP WDM está pensado para soportar servicios dedicados en los que se necesita una comunicación sostenida y de alta capacidad. A diferencia de la configuración TWDM, en la que las longitudes de onda de subida y baja son compartidas por conjuntos de ONUs, en el planteamiento PtP WDM sí que se asignan solo dos longitudes de onda para cada usuario de manera exclusiva, una para subida y otra para bajada. Esto hace que PtP WDM en NGPON2, sea único en comparación con los conceptos de sistemas anteriores que acuden a mecanismos TDM de una forma u otra, ya que este establece canales WDM únicos y dedicados por conexión sin emplear ningún tipo de multiplexación en el tiempo.

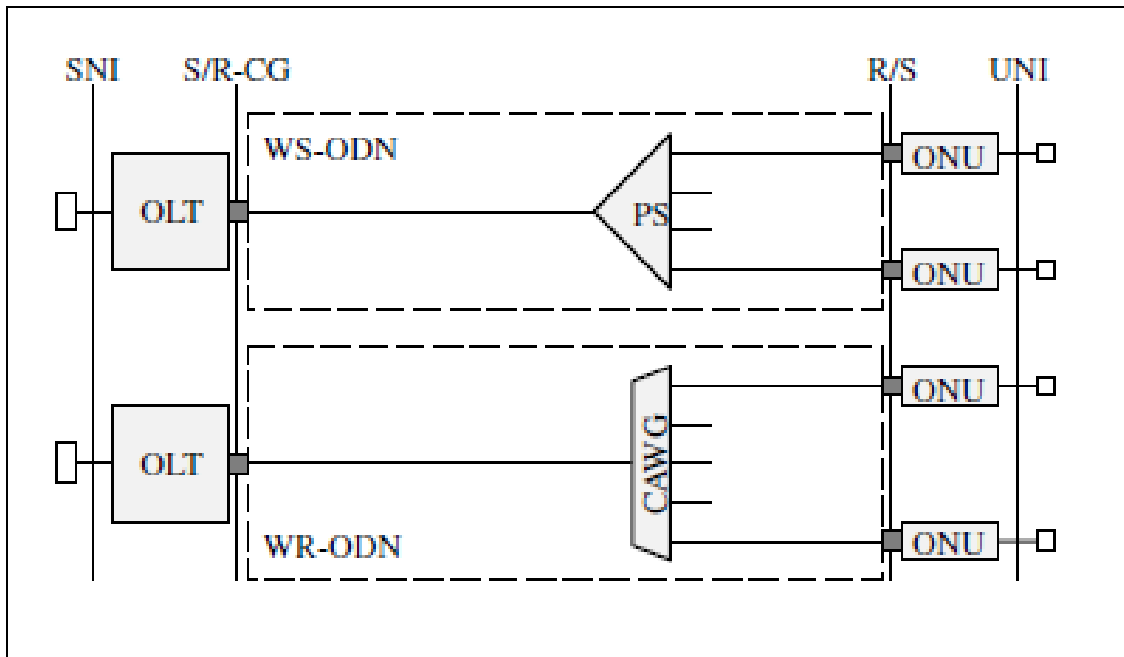
A nivel tecnológico, ambos canales plantean una arquitectura de sistema de transmisión casi idéntica, donde los transceptores sintonizables operarán en un rango de longitudes de onda muy parecido. Por ello, los mismos dispositivos optoelectrónicos podrán ser empleados en ambos tipos de canales, resultando en una sinergia en la tecnología de transceptores sintonizables que habilitará una producción masiva, dando lugar a un menor costo por componente óptico.

### **Arquitecturas PtP WDM PON**

El estándar describe dos clases de arquitectura PtP WDM PON para la red de distribución óptica: WS ODN (*Wavelength Selected ODN*), basada en filtros sintonizables para proporcionar una capacidad de selección de longitud de onda en las ONU, y WR ODN (*Wavelength Routed ODN*), con capacidad de enrutamiento de longitud de onda intrínseca a través de divisores de longitud de onda [31]. WS ODN está basada en división de potencia única y exclusivamente, mientras que en WR ODN solo existen mecanismos de división de longitud de onda.

Las WR ODN puras solo tienen sentido en implementaciones PtP WDM, ya que como se ha comentado anteriormente, esta tecnología no emplea ningún tipo de multiplexación por división en el tiempo, a diferencia de TWDM que si precisa de la existencia de un divisor de potencia. WR ODN permite un alcance más largo o el uso de transceptores con de menor balance de potencia, debido a la menor pérdida de inserción de los divisores de longitud de onda en comparación con los divisores de potencia [31].

La Figura 3.14 muestra un esquema representativo de WS ODN (PS - *Power Splitter*, en la parte superior) y de WR ODN (CAWG - *Cyclic Arrayed Waveguide Gratings*, en la parte inferior).

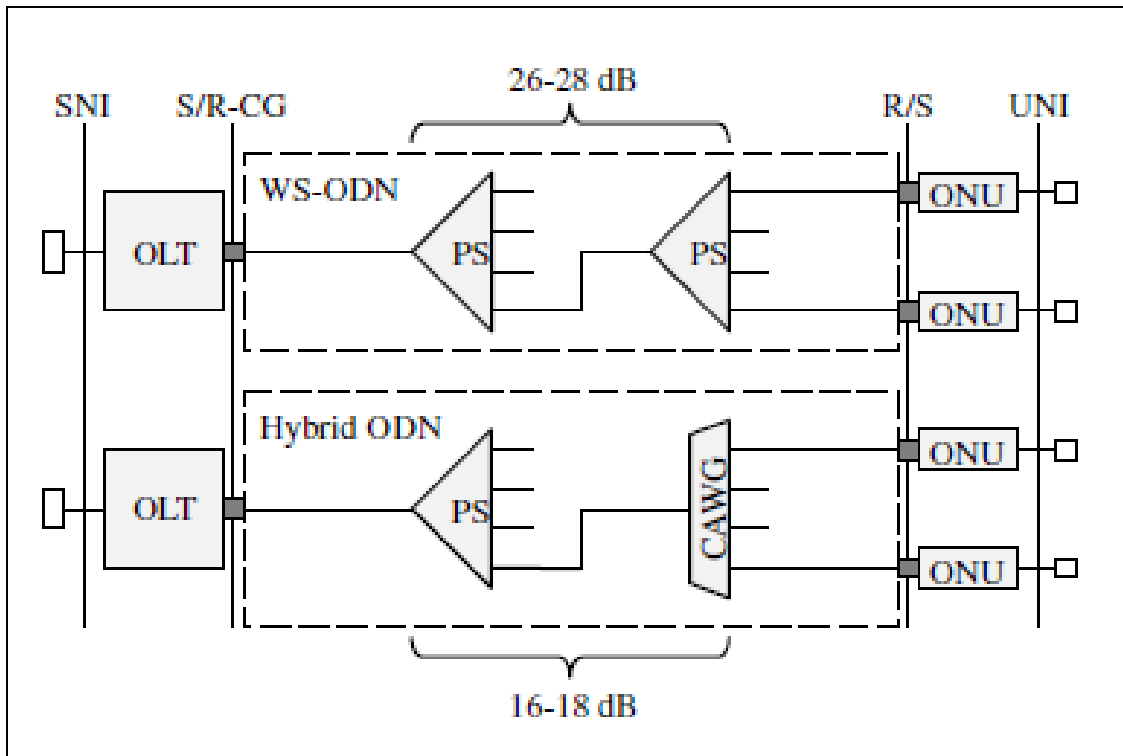


**Figura 3.14: Comparación entre WS ODN y WR ODN [31]**

Tal y como se desprende de la Figura 3.14, el divisor de longitud de onda de la planta externa en las WR ODNs podría consistir en multiplexor óptico CAWG. No obstante, posteriormente se verán otras opciones posibles de implementación.

Los despliegues WS ODN aportan total libertad, mientras que los WR ODN solo admiten cierto grado de flexibilidad de asignación de longitud de onda, ya que suelen emplear AWGs cíclicos con múltiples puertos de entrada y salida (N x M). Debido a su menor pérdida de división, el resultado total del producto “alcance x capacidad” en WR ODN puede ser mayor que el obtenido en WS ODN. Por consiguiente, WR ODN podría ser más adecuado en casos donde PtP WDM se usa hacia la parte de agregación de la red, por ejemplo, para aplicaciones *backhaul/fronthaul* en escenarios de convergencia fijo-móvil, o en áreas rurales. Por otro lado, WS ODN será imprescindible en escenarios con ODNs heredadas, y también será preferido generalmente para acceso residencial y en densas áreas urbanas [31].

Tal y como se ha comentado anteriormente, una ODN NGPON2 puede estar formada por una combinación híbrida de WS ODN y WR ODN. En comparación con las WS ODN, dichas ODNs híbridas pueden proporcionar relaciones de división más altas para la misma clase de OPL. En el ejemplo planteado en la Figura 3.15, para operar sobre una WS ODN de dos etapas con una relación de división de 1:256, un sistema NGPON2 requerirá un balance de pérdida de potencia óptica de 26-28 dB. Si el divisor de potencia de la segunda etapa se reemplazara por un AWG, la pérdida total resultante sería de 16-18 dB, lo cual supone una notable mejora [31].

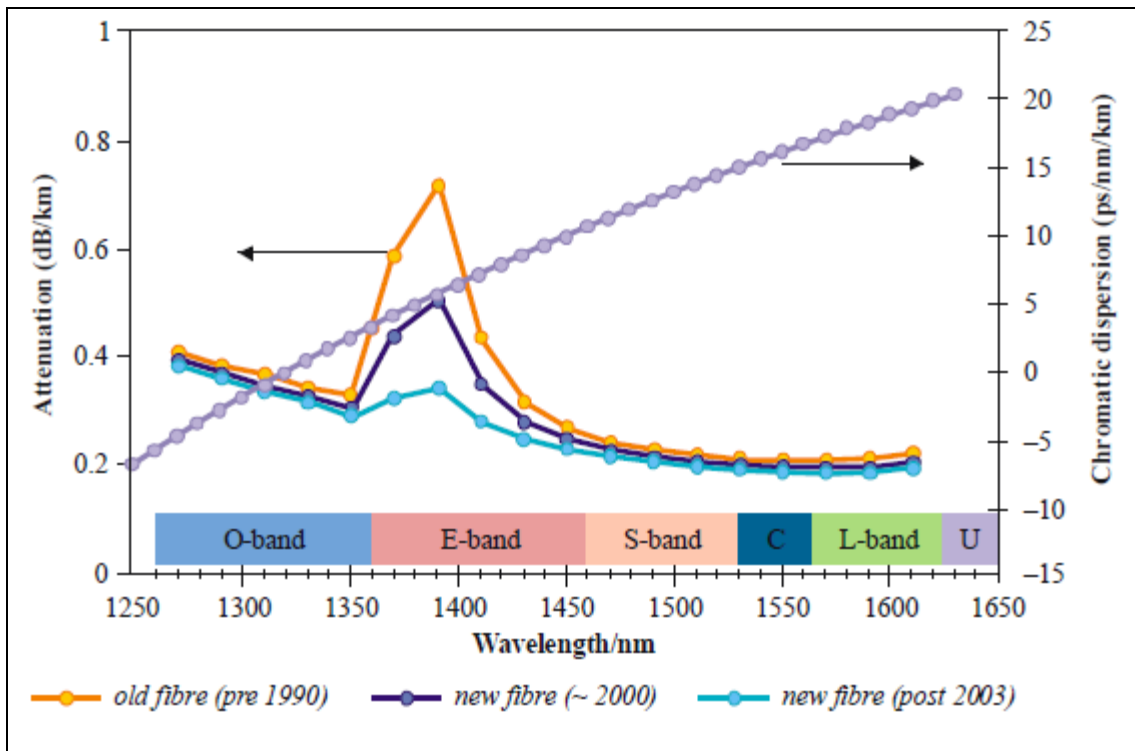


**Figura 3.15: Comparación entre ODN híbrida y WS ODN [31]**

Los sistemas NGPON2 de tipología WS ODN soportan divisores ópticos formados por una única etapa, pero también divisores estructurados en distintos niveles, tal y como puede verse en la parte superior de la Figura 3.15. El enfoque híbrido también podría emplearse para separar segmentos de la ODN. Por ejemplo, un primer segmento formado por un divisor de potencia podría enviar todas las señales a un segundo segmento formado por un divisor de longitud de onda, el cual enrutará solo ciertas longitudes de onda a usuarios finales específicos. En otro ejemplo, el primer segmento de tipo divisor de longitud de onda agrupará longitudes de onda formando conjuntos, mientras que el segundo segmento podría enviar todas las longitudes de onda agrupadas en un solo conjunto a las distintas ONUs a través de un divisor de potencia. Existen numerosas combinaciones de ODNs para satisfacer diversas necesidades de aplicaciones [31].

### **Dispersión cromática y de Raman**

Las redes de acceso, incluida NGPON2, emplean principalmente fibras monomodo (SMF - *Single Mode Fibre*) ITU-T G.652, las cuales presentan dependencias con la longitud de onda al igual que cualquier fibra SMF. La Figura 3.16, muestra la atenuación de las señales durante su propagación a lo largo de una fibra modelo G.652 en el rango de longitud de onda de interés, junto con las bandas ITU-T definidas. De ello se deduce que la atenuación de una señal óptica es más baja en las bandas C y L [30].



**Figura 3.16: Atenuación de fibra monomodo y dispersión cromática [30]**

La dispersión cromática, también representada sobre la Figura 3.16, podría limitar el alcance del sistema a medida que aumenta la velocidad de transmisión de la señal [30].

Un aspecto esencial del diseño de los sistemas ópticos es el cálculo de las penalizaciones de ruta óptica (OPP - *Optical Path Penalties*). Para NGPON2, además de las penalizaciones relacionadas con la dispersión cromática habituales en sistemas ópticos, la potencia óptica manejada relativamente alta y su naturaleza multi-longitud de onda, traen consigo otro mecanismo de degradación de la señal, las no linealidades de Raman. Este tipo de degradación podría ocasionar diafonías (*cross-talk*) no lineales, y un factor de atenuación adicional de la señal para ciertas longitudes de onda [31].

Cuando se utiliza un láser directamente modulado (DML - *Directly Modulated Laser*) a 10 Gb/s en la banda C/L, sobre 20 km de distancia de fibra, se necesita alguna forma de compensación de dispersión para alcanzar los valores OPP definidos en el estándar. Por ejemplo, podría emplearse fibra compensadora de dispersión en la ONU, o compensación de dispersión electrónica en modo ráfaga en la OLT [31].

En la Tabla 3.14, se plantean los valores OPP expresados en dB para las distintas OPL, en el ejemplo de un enlace ascendente a 2.5 Gb/s, sobre el cual se plantean escenarios con distinta distancia de fibra y distinto número de canales.

TIPO DE DISPERSIÓN	DISTANCIA (KM)	VALOR NOMINAL			
<b>FENOMENOS AISLADOS</b>					
<b>Clase ODN</b>		N1	N2	E1	E2
Dispersión cromática	20	0.5	0.5	0.5	0.5
Dispersión cromática	40	1	1	1	1
Raman 4-ch	20	0.25	0.4	0.75	0.75
Raman 4-ch	40	0.4	0.6	1	1
Raman 8-ch	20	0.5	0.8	1.5	1.5
Raman 8-ch	40	0.75	1.25	2.25	2.25
<b>FENOMENOS COMBINADOS</b>					
<b>Clase ODN</b>		N1	N2	E1	E2
4-ch	20	0.75	0.9	1.25	1.25
4-ch	40	1.4	1.6	2	2
8-ch	20	1	1.3	2	2
8-ch	40	1.75	2.25	3.25	3.25
<b>VALORES EN EL ESTÁNDAR NGPON2</b>					
<b>Clase ODN</b>		N1	N2	E1	E2
4-ch	20	1	1	1.5	1.5
4-ch	40	1.5	1.5	2	2
8-ch	20	1	1.5	2	2
8-ch	40	2	2.5	3.5	3.5

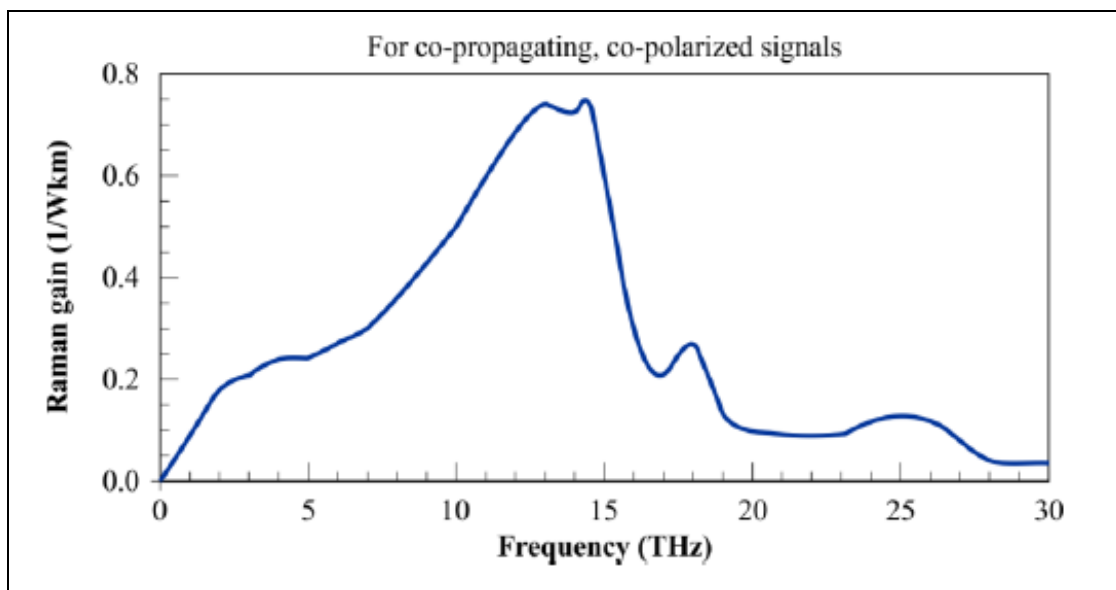
**Tabla 3.14: OPP (Optical Path Penalties) en NGPON2 [31]  
Canal ascendente 2.5 Gb/s**

La Tabla 3.14, contempla los valores OPP relativos a la dispersión cromática y de Raman de manera separada, la versión combinada de ambos factores, así como los valores definidos en el estándar NGPON2. Puede notarse como el aumento de la pérdida de potencia óptica, es tenido en cuenta en la recomendación mediante un incremento proporcional de los valores OPP definidos en NGPON2.

El impacto de las no linealidades de Raman sobre un sistema NGPON2 se manifiesta de dos maneras distintas. En primer lugar, los canales TWDM ascendentes se atenúan por la contra-propagación de los canales TWDM descendentes. En segundo lugar, se producen diafonías de modulación entre señales ópticas separadas en un rango de frecuencias 1-40 THz [31]. En la Figura 3.17, podrá visualizarse un ejemplo concreto de una curva de ganancia Raman para una fibra tipo ITU-T G.652.

Aquellos escenarios donde las señales ópticas se propagan conjuntamente, suelen verse afectados por diafonías de modulación debidas a las interacciones de Raman. En ese caso, los componentes de modulación de las señales ópticas se superponen a otras señales de longitudes de onda diferentes, lo cual podrá afectar sustancialmente a la calidad de la información que se esté transmitiendo. Cuando se produce una reducción sobre el nivel de potencia óptica, las señales a longitudes de onda más bajas actúan como fuentes de bombeo, es decir, experimentan una reducción de potencia a favor de amplificar las señales ubicadas en longitudes de onda más altas. Si la

atenuación de las señales ópticas es considerable, la calidad de la información transmitida puede verse afectada, y el alcance del enlace óptico podría verse comprometido. La atenuación de la potencia óptica puede producirse tanto en las ondas que se desplacen por la fibra en copropagación, como las que lo hagan en contrapropagación [29].



**Figura 3.17: Ganancia de Raman sobre fibra ITU-T G.652 [29]**

La potencia máxima de transmisión fue limitada en el estándar con el objeto de acotar el efecto de la dispersión de Raman. La Tabla 3.15, contiene los valores de potencia media máxima que podrían inyectarse en el canal descendente TWDM de 10 Gb/s en NGPON2, representados en función de cada clase OPL y de distinto número de canales.

CLASE ODN	Uds	VALOR NOMINAL		
		1 Canal	4 Canales	8 Canales
N1	dBm	+7	+13	+16
N2	dBm	+9	+15	+18
E1	dBm	+11	+17	+20
E2	dBm	+11	+17	+20

**Tabla 3.15: Potencia inyectada en la ODN NGPON2 [31]  
Canal descendente 10 Gb/s**

Puede notarse como los valores correspondientes al enlace formado por un solo canal, coinciden con lo visto en el parámetro “Potencia media de transmisión (MAX)” del enlace descendente (OLT transmisora) de la Tabla 3.11.

El caso más desfavorable se correspondería con una separación de longitud de onda de ~ 78 nm (~9,6 THz) entre los canales TWDM descendentes y ascendentes. En esta situación, el coeficiente de ganancia de Raman sería muy pronunciado, aproximadamente del 60% de la ganancia máxima de pico. Incluso con la aplicación de una técnica efectiva de reducción del efecto de

Raman, el impacto sería aún lo suficientemente grande como para experimentar una pérdida de potencia significativa [31].

La Figura 3.18, presenta ejemplos de resultados de simulación que manifiestan la disminución de potencia óptica debida a la dispersión de Raman en un enlace TWDM ascendente, habiendo planteado el peor escenario posible. Se contemplan todas las clases OPL, y casuísticas de 4 y 8 canales, en función de la distancia del enlace.

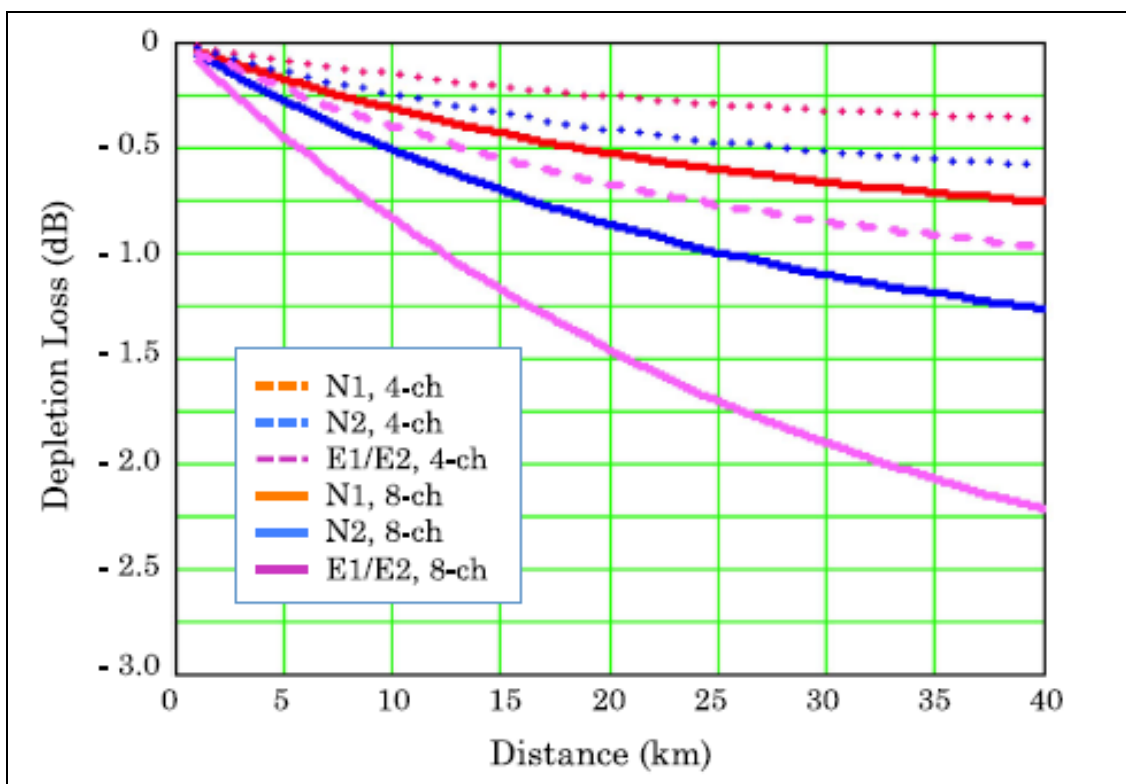


Figura 3.18: Pérdidas por dispersión de RAMAN [31]

Las curvas de trazo continuo representan las simulaciones llevadas a cabo sobre ocho canales, mientras que las curvas de trazo intermitente representan las de cuatro canales. La penalización combinada del camino óptico, se corresponde con la suma de las pérdidas asociadas a la dispersión cromática y a la de Raman. Por ejemplo, en el caso de la clase OPL N1 a 20 km y 4 canales, nos encontramos ante 0.5 dB de OPP por dispersión cromática y 0.25 dB por pérdidas de Raman, lo que da una OPP combinada de 0,75 dB. La norma NGPON2 redondeó la OPP a los 0,5 dB más cercanos, lo que lleva a 1,0 dB como valor final según puede visualizarse en la Tabla 3.14. Esta metodología también podría ser aplicada a los canales ascendentes TWDM y PtP WDM de 10 Gb/s, para poder calcular los valores OPP permitidos [31].

### Transceptores sintonizables

Se presentaron distintas alternativas tecnológicas para la implementación de un sistema de longitud de onda múltiple, con transceptores sintonizables de detección directa en las ONUs, que cumpliera con las especificaciones NGPON2.

Tal y como se ha comentado previamente, las ONUs en NGPON2 deben estar equipadas con transceptores sintonizables capaces de conseguir un espaciado de canal (CS - *Channel Spacing*) de hasta 50 GHz, tanto en transmisión como en recepción. Esta nueva funcionalidad requiere de un sofisticado diseño que aumenta la complejidad de los transceptores, suponiendo un importante reto de implementación que incrementa los costes de fabricación [32].

La capacidad de ajuste en el receptor ONU puede lograrse situando filtros sintonizables antes del fotodiodo de avalancha (APD - *Avalanche photodiode*), habiéndose presentado varias tecnologías de filtros sintonizables. Por ejemplo, se ha demostrado que un receptor sintonizable a 10 Gb/s puede ser implementado mediante filtros Fabry-Perot de película delgada. Estos filtros sintonizados térmicamente cubren hasta 800 GHz de anchura espectral, con una sensibilidad de -26 dBm y un BER (*Bit Error Rate*) de  $10^{-3}$ , antes de la corrección de errores FEC (*Forward Error Correction*). Existen APDs comerciales de hasta -33 dBm de sensibilidad con un BER de  $10^{-4}$ . Mencionar que los transceptores PtP WDM deben operar sin corrección de errores FEC, ya que existen aplicaciones que requieren una baja latencia, como, por ejemplo, *fronthaul* móvil [32].

Para disponer de capacidad de sintonización en el transmisor, podrían emplearse láseres DFB ajustados térmicamente (hasta un rango de sintonización de ~ 5 nm) o láseres DBR sintonizados electrónicamente (hasta ~ 12 nm). Su implementación como SFP+ (*Small Form Factor Pluggable Plus*) es altamente deseable, especialmente en los escenarios de implementación de tipo *Pay As You Grow*. Los transmisores utilizados para los módulos sintonizables SFP+ disponibles comercialmente, se basan principalmente en diseños de láser DBR con múltiples secciones de sintonización, usando los efectos de Vernier para lograr la sintonización de banda completa. Además, estos transmisores utilizan moduladores Mach-Zehnder externos, para lograr una baja OPP acorde al alcance requerido [32].

### **Láser modulado externamente y directamente para los transceptores ONU**

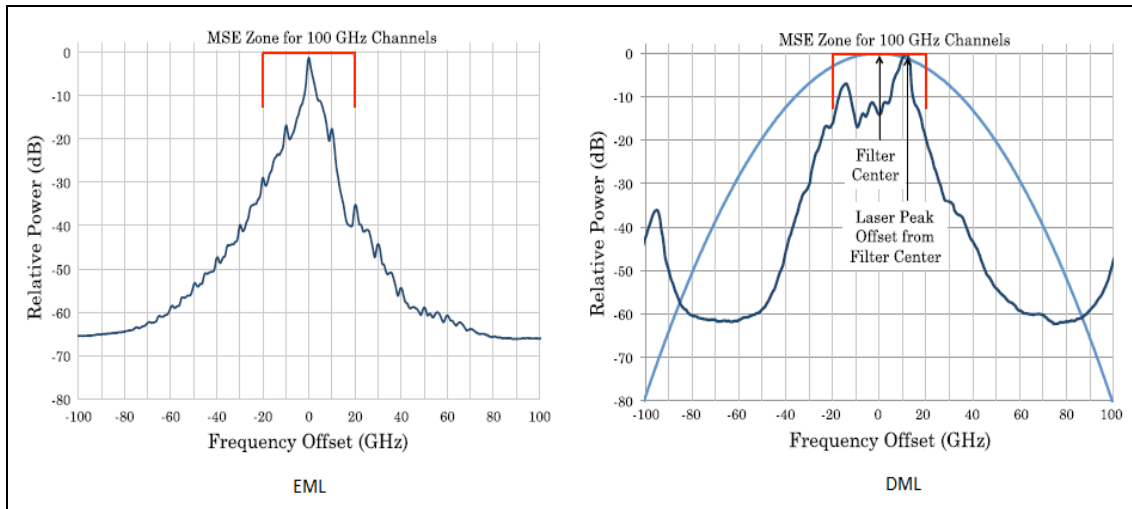
El láser modulado externamente (EML - *Externally Modulated Laser*), presenta una forma espectral distribuida en torno a una frecuencia central, en la que se concentra la mayor parte de la potencia óptica de la señal. Este tipo de láser está bien adaptado a transmisiones de alta velocidad de datos en distancias de fibra de hasta 100 km, debido a su baja variación temporal de la frecuencia óptica (*chirp*) [32].

Debido al desplazamiento de frecuencia inducido por el láser modulado directamente (DML - *Directly Modulated Laser*), el espectro resultante de la señal contiene dos picos de potencia bien pronunciados, correspondientes a los niveles lógicos "0" y "1". Dada su variación de frecuencia óptica en el tiempo, esta forma espectral tendrá una anchura mayor que la del láser EML [32].

Los espectros ópticos de los láseres EML y DML han sido representados en la Figura 3.19, donde las anchuras espectrales de ambas alternativas cumplen con la zona MSE (*Maximum Spectral Excursion*). De esta forma, se evitará que



la potencia óptica confinada en un canal se introduzca en otros canales de longitudes de onda adyacentes, evitando de esta forma la aparición de interferencias. El cumplimiento de la distribución del espectro sobre la zona MSE, también garantizará que el transmisor opere dentro de la banda de paso del canal del multiplexor de longitud de onda deseado, a fin de lograr el rendimiento especificado del enlace [32].



**Figura 3.19: Espectro óptico de los láseres EML y DML [32]**

A pesar de las peores prestaciones del láser DML frente al EML, este presenta una importante ventaja. Al realizar la modulación directamente en el láser, se consiguen costes más bajos por componente. Puesto que cada dispositivo ONU deberá disponer de un láser integrado, si se tiene en consideración la inmensa cantidad de unidades requeridas (tantas como clientes consuman el servicio), el coste por componente será un factor muy importante desde el punto de vista global del sistema. Además, con el requisito MSE aplicado al pico "1" en lugar de al "0" sobre el láser DML, se conseguiría una transmisión ascendente de calidad aceptable [32].

### Multiplexores de longitud de onda

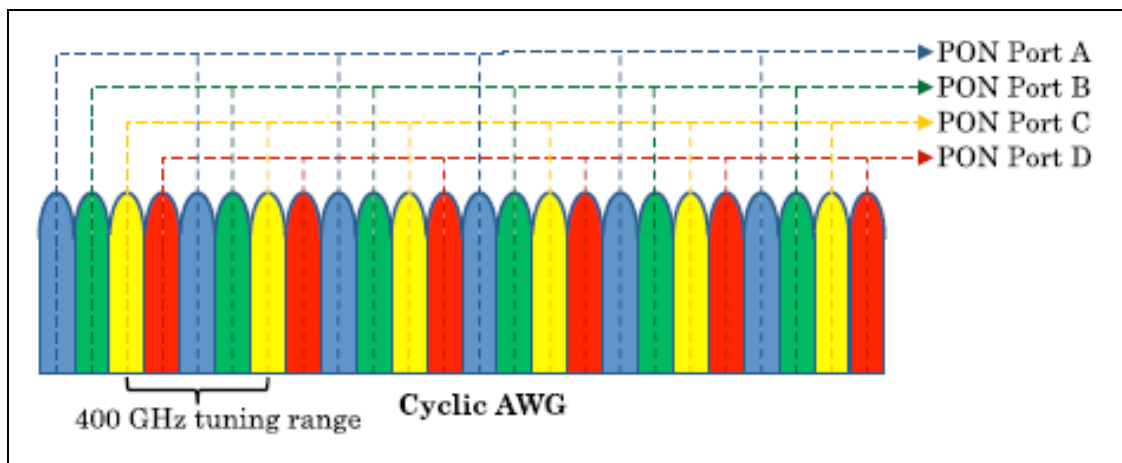
Los sistemas NGPON2 requieren la incorporación de multiplexores de longitud de onda (WM - *Wavelength Multiplexer*) para combinar múltiples canales de longitudes de onda distintas, ya que el estándar está basado en tecnología WDM. El WM es considerado parte del equipamiento OLT, por lo que las pérdidas adicionales introducidas por este dispositivo no forman parte de las pérdidas propias de la ODN [31].

Tanto los filtros integrados en el WM como los divisores de longitud de onda para las WR ODNs, podrían basarse en filtros de película delgada (TFF - *Thin Film Filters*), o bien en multiplexores ópticos AWG (*Arrayed Waveguide Gratings*) que podrían ser agrupados como AWGs cíclicos o filtros en cascada [31].

El enrutador AWG separará las longitudes de onda presentes en el puerto común, formando grupos hacia las salidas de este dispositivo. De esta forma, se

posibilitará adicionalmente multiplexación por división en el tiempo sobre las señales de distintos clientes que compartan una misma longitud de onda.

Los dispositivos AWG poseen una propiedad cíclica que habilita múltiples longitudes de onda en un solo puerto. En general, los AWG son configurados para gestionar una gran cantidad de canales de longitud de onda (> 80), con un CS estrecho de 100 GHz o incluso menos. Esta propiedad cíclica permite una implementación específica TWDM que obtiene una amplia variación en la longitud de onda ascendente [32]. En Figura 3.20, se visualiza un AWG cíclico donde el enrutamiento de las longitudes de onda a las CTs ha sido representado mediante el uso de diferentes colores. Concretamente, las cuatro terminaciones de canal existentes, han sido representadas por la asignación de cuatro colores, donde el enrutamiento se repite cada 400 GHz.

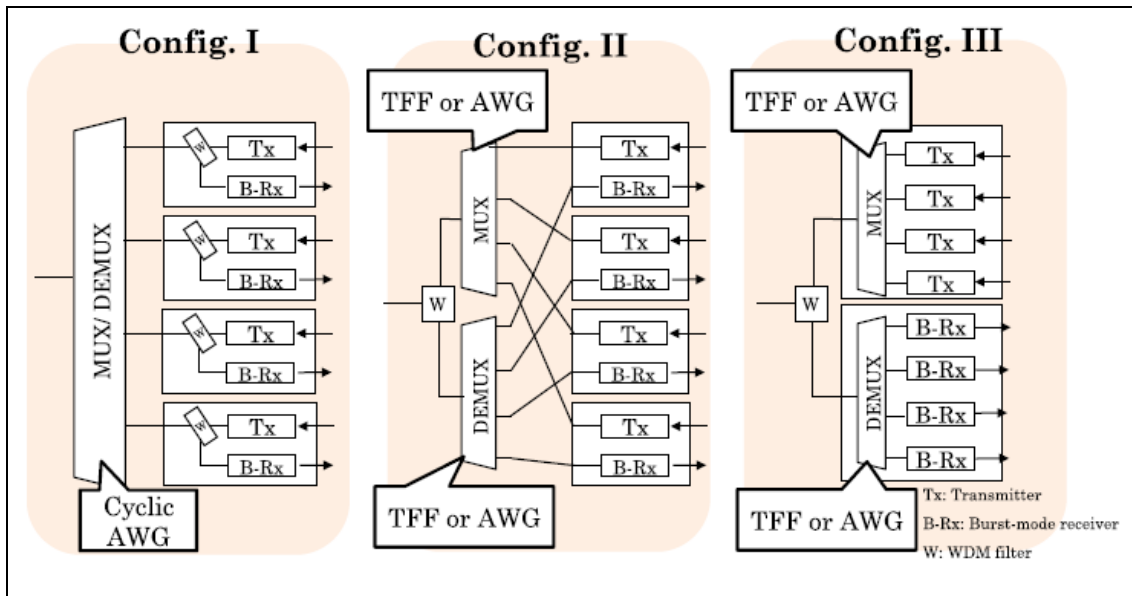


**Figura 3.20: Enrutamiento de longitudes de onda en AWG cíclico [32]**

Por su parte, los WMs que utilizan TFFs se componen de varios filtros simples individuales que se combinan para crear las propiedades del WM deseadas. Un módulo WM convencional basado en TFF ofrece una pequeña cantidad de canales, cuatro habitualmente. Sin embargo, los TFFs tienen varias ventajas respecto de los AWG, como serían sus bajas pérdidas de inserción, una reducida *cross-talk* entre canales adyacentes gracias a su alto aislamiento, y un bajo costo cuando se necesita una cantidad reducida de canales [32].

Las ventajas aportadas por los TFFs van desapareciendo gradualmente a medida que crece el número de canales, con lo cual, el punto de cruce en el que los AWG se vuelven más ventajosos que los TFF dependerá de la tecnología y del proveedor [32]. También habría que considerar la inestabilidad que los TFFs presentan ante cambios térmicos, ya que estos suelen modificar su longitud de onda central ante fluctuaciones de la temperatura. Por ello, en principio no habría inconveniente en emplear TFFs en el WM de la OLT, mientras que para los divisores de longitud de onda en la ODN, sería recomendable el uso de AWGs por ser más estables frente a cambios de temperatura.

En la Figura 3.21 se presentan tres casos de uso de AWGs y TFFs en una OLT NGPON2.



**Figura 3.21: Ejemplos de configuración OLT en NGPON2 [32]**

La configuración I se compone de un WM y transceptores que tienen un solo par de longitudes de onda para las señales ascendentes y descendentes. La configuración II contiene un filtro WDM, un WM, y transceptores con dos puertos de interfaz óptica. La configuración III consiste en un filtro WDM, un WM, y transceptores de cuatro canales [32].

La principal ventaja aportada por la Configuración I es que los transceptores tienen un solo puerto de interfaz de entrada/salida, lo cual se corresponde con una característica común en los sistemas PON existentes. El WM en esta configuración puede ser implementado mediante un AWG, pero no pueden adoptarse TFFs. En las configuraciones II y III, tanto los TFFs como los AWGs son aplicables para cubrir las funciones del WM. La configuración II puede adoptar transceptores de doble puerto, que son comunes en los mercados generales de telecomunicaciones, mientras que la conexión óptica entre el dispositivo mux/demux y los transceptores, necesitaría cables de conexión dúplex. La configuración III es atractiva porque podría ser aplicada en tecnologías de integración de dispositivos de cuatro canales, empleadas en transceptores Ethernet de alta velocidad. En resumen, la configuración específica de las OLTs dependerá de los tipos de WMs y transceptores empleados, así como de los casos de uso del operador de red [32].

### 3.3.6 Características generales

#### Servicios

Se especificó que los sistemas NGPON2 fueran aptos para soportar múltiples servicios, para suscriptores residenciales, empresas, *backhauling* móvil y fijo, etc. Para ello se basará en su alta calidad de servicio y elevada velocidad de bits, cumpliendo con requisitos de QoS (*Quality of Service*) [30].

Los sistemas NGPON2 pueden lograr un mejor rendimiento, debiendo admitir tanto servicios heredados (POTS, T1/E1, TDM, línea privada de alta velocidad,

etc), como servicios emergentes basados en transmisión de paquetes. Además de la compatibilidad con los servicios heredados GPON (Tabla 3.4) y XGPON (Tabla 3.9), NGPON2 abarca una gran variedad de mercados y ámbitos de aplicación donde poder desplegar el estándar [30].

La provisión de servicios heredados se lleva a cabo mediante técnicas de emulación (replicación completa del servicio heredado) o simulación (versión renovada del servicio heredado). La opción de emulación entrega tráfico en formato paquete a través de la red PON en primer lugar, para posteriormente convertirlo de nuevo al formato heredado. La opción de simulación consiste en una entrega de paquetes extremo a extremo [30].

En enlace CPRI *backhaul* y *fronthaul* de sistemas de comunicaciones móviles, es uno de los principales motivadores para el despliegue del estándar NGPON2. Si bien es cierto que el caudal del servicio consumido en 4G queda cubierto mediante las redes GPON y XGPON, la explosiva demanda de datos que se prevé que será consumida en 5G, sobrepasará las capacidades actuales de la red [40]. NGPON2 también soportará servicios renovados en la nube con mayor eficiencia y capacidad, con servicios enfocados tanto al ámbito usuario como a entornos empresariales [2].

### **Parámetros de distancia**

Los sistemas NGPON2 deben soportar un alcance de fibra de al menos 40 km, y 60 km o más si fuera necesario mediante el uso de extensores de alcance [30].

Los sistemas NGPON2 también necesitan soportar una distancia máxima de fibra diferencial de hasta 40 km, parámetro configurable entre las opciones 20 y 40 km, coincidiendo con lo definido en el estándar XGPON [30].

### **Máximo retardo medio de transferencia de señal**

El parámetro aún no ha sido especificado a día de hoy en NGPON2.

### **Relación de división**

Las redes ópticas actuales que explotan divisores de potencia se implementan normalmente con una relación de división que va desde 1:16 hasta 1:128. Los sistemas NGPON2 deben poder ejecutar ODNs de división de potencia heredadas tal y como se ha mencionado anteriormente, lo cual implica convivencia entre estos elementos y nuevos mecanismos de enrutamiento de longitud de onda. Por ello, los sistemas NGPON2, deben ser lo suficientemente flexibles como para permitir implementaciones rentables en una gran variedad de ODNs con tipologías distintas [30].

La OLT NGPON2 debe admitir una relación de división de al menos 1:256 para poder igualar al parámetro en XGPON, es decir, 256 ONUs bidireccionales por ODN. Sin embargo, algunas aplicaciones específicas y diversas opciones de ingeniería de red, podrían requerir mayores proporciones de división. Por ello,

el diseño del núcleo OLT NGPON2 no debería impedir el soporte de mayores relaciones de división [30].

Al igual que en el resto de sistemas PON, un número elevado de ONUs por ODN permite un alto grado de compartición de la infraestructura, y una buena consolidación de los nodos de red si se acompaña con un gran alcance. Sin embargo, el sistema podría verse obligado a sacrificar la ganancia compartida, por su creciente complejidad y por las limitaciones del balance de potencia. En algunos escenarios de implementación, la relación de división física podría ser aumentada mediante extensores de alcance con un balance de pérdida mejorado [30].

### 3.4 Migración de GPON a XGPON

Los operadores de red disponen de un plan de migración gradual, llevado a cabo mediante la sustitución de las ONUs y OLTs GPON, por sus respectivas versiones XGPON, con la premisa de no afectar al servicio de los clientes no migrados. Las ONUs y OLTs XGPON, no suponen una diferencia innovadora respecto de las GPON desde el punto de vista tecnológico, pero sin embargo, ofrecen mejores prestaciones que sus antecesoras.

La coexistencia entre GPON y XGPON sobre la misma fibra, es posibilitada por la asignación de diferentes longitudes de onda en ambas soluciones, y mediante el bloqueo de longitudes de ondas interferentes por filtros integrados en los transceptores ópticos. Con el mismo objetivo, se mantuvo el balance de potencias heredado tal y como se ha visto con anterioridad.

#### Arquitectura de referencia para la coexistencia entre GPON y XGPON

Para combinar las señales de video RF, GPON, y XGPON, se acude a un filtro de coexistencia WDM (denotado normalmente WDM1r), o a un divisor óptico de potencia, admitiendo diferentes arquitecturas ODN para lograr la coexistencia entre servicios. Las Figuras 3.22 y 3.23, muestran la arquitectura de referencia de la red de acceso óptica para la coexistencia de los tres sistemas, habilitada mediante un dispositivo WDM1r y un divisor óptico de potencia (*splitter*) respectivamente. Se visualizan filtros de bloqueo de longitud de onda (WBF) para evitar interferencias entre los tres servicios en la misma ODN, mientras que el *splitter* común a ambas arquitecturas representa al divisor de potencia heredado de la red GPON.

En el planteamiento de la Figura 3.22, el WDM1r será el elemento encargado de multiplexar las longitudes de onda de ambos estándares para permitir su convivencia sobre la misma ODN, donde cabe notar como la combinación del WDM1r con el divisor de potencia heredado da lugar a una red híbrida. Sin embargo, en el escenario de la Figura 3.23, en el que la coexistencia entre ambos estándares se posibilita mediante el uso de un divisor de potencia adicional, la multiplexación de longitudes de onda queda delegada en los filtros adicionales situados entre el divisor y las respectivas OLTs. La misión de estos filtros, etiquetados como *additional filters* sobre la Figura 3.23, será la de reforzar la capacidad de filtrado original de la OLT, a fin de ofrecer el

aislamiento y las capacidades de multiplexación de división por longitud de onda requeridas. Tanto los filtros adicionales como el WDM1r, permitirán combinar ambos estándares de forma óptima en la OLT, evitando efectos adversos, como por ejemplo, posibles diafonías.

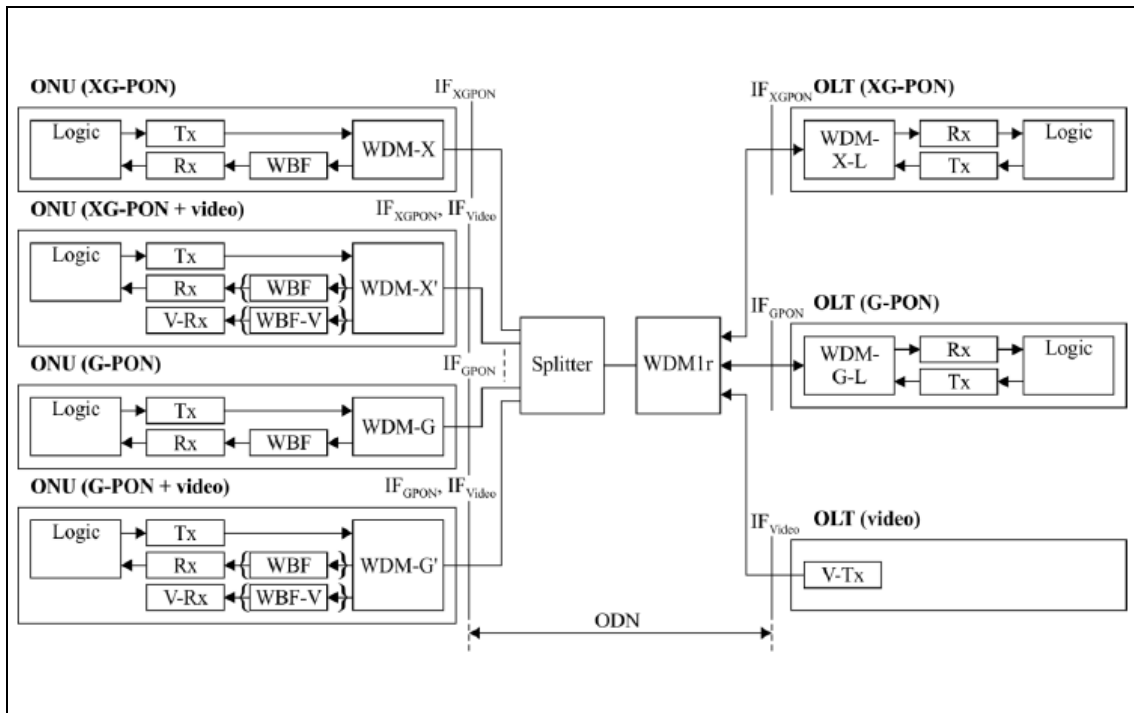


Figura 3.22: Coexistencia entre XGPON y GPON mediante WDM1r [26]

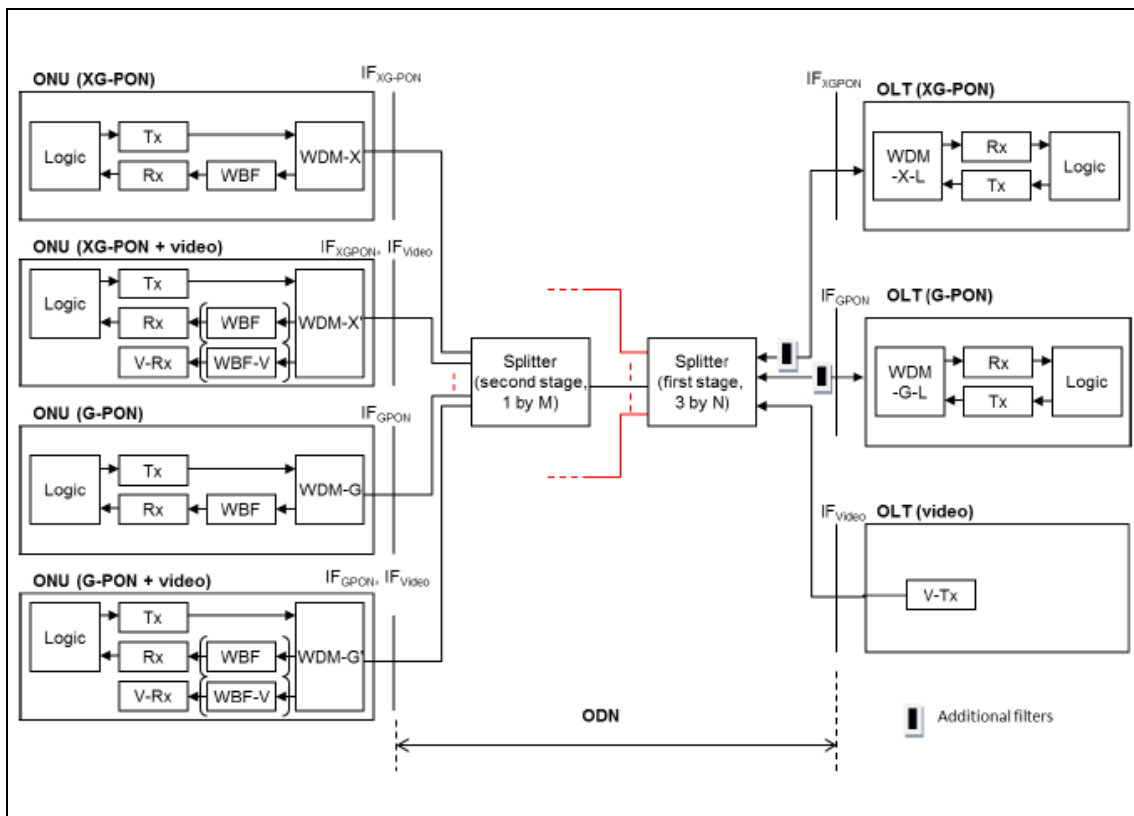


Figura 3.23: Coexistencia entre XGPON y GPON mediante *splitter* [26]

### **Escenario de migración PON *green field***

Las áreas donde no han sido desplegadas redes ópticas pasivas se conocen como PON *green field*. Consisten en áreas de desarrollo totalmente nuevas, o con infraestructura basada en cobre. Este escenario permite a los proveedores de servicios desplegar una red XGPON desde sus inicios, a fin de lograr una economía de mercado de mayor tiempo de vida que GPON. En este escenario, el requisito de coexistencia con GPON no es necesario, con lo que los operadores de red dispondrán de plena libertad de desarrollo [26].

### **Escenario de migración PON *brown field***

PON *brown field* se corresponde con el escenario donde ya ha sido desplegada una red óptica pasiva. Los operadores de red tienen la opción de aprovechar esta infraestructura de fibra óptica existente, con la finalidad de ofrecer servicios de transporte de información a mayor ancho de banda mediante técnicas XGPON [26].

Algunos de los clientes que consuman aplicaciones sustentadas por sistemas GPON, podrían requerir una actualización a una velocidad de servicio más alta. El operador de red podría optar por migrar estos clientes al sistema XGPON, dejando que el resto permanezcan soportados por la red GPON. Algunos operadores de red podrán incluso realizar una migración completa de GPON a XGPON, en el momento en que el número de suscriptores GPON sea reducido. Sin embargo, se prevé que ambos estándares continúen coexistiendo durante un tiempo relativamente largo [26].

Los requisitos generales que deben cumplirse para poder acogerse a este escenario son los siguientes:

- Debe admitirse la coexistencia entre GPON y XGPON sobre la misma red óptica, especialmente en las situaciones en las que el recurso de fibra no sea abundante [26].
- La interrupción del servicio durante la migración del sistema a la nueva especificación debe ser minimizada [26].
- En el caso de migración completa, XGPON debe soportar todos los servicios heredados de GPON [26].

### **Opciones de arquitectura con extensores de alcance**

En el mundo XGPON, se definen dos arquitecturas principales que involucran extensores de alcance (RE - *reach extenders*). Una primera arquitectura, en la que la necesidad de insertar los dispositivos RE, aparece durante la migración de GPON a XGPON, y un segundo tipo de implementación, en el que ya se habían desplegado REs de manera anticipada para los sistemas GPON [26]. Ambas configuraciones pueden visualizarse sobre la Figura 3.24, donde el elemento RE ha sido denotado como *Mid-span extender*.

Sobre el último escenario presentado, el RE heredado podría ser capaz de cubrir los requisitos de GPON y XGPON de manera conjunta en algunas situaciones. Si por el contrario sus prestaciones resultaran insuficientes, el dispositivo RE deberá ser reemplazado por uno de mayor capacidad [26].

Debido a que los RE son equipos activos de planta externa que rompen la filosofía de las redes PON, la mayoría de despliegues ópticos pasivos no prevén la inclusión de estos elementos.

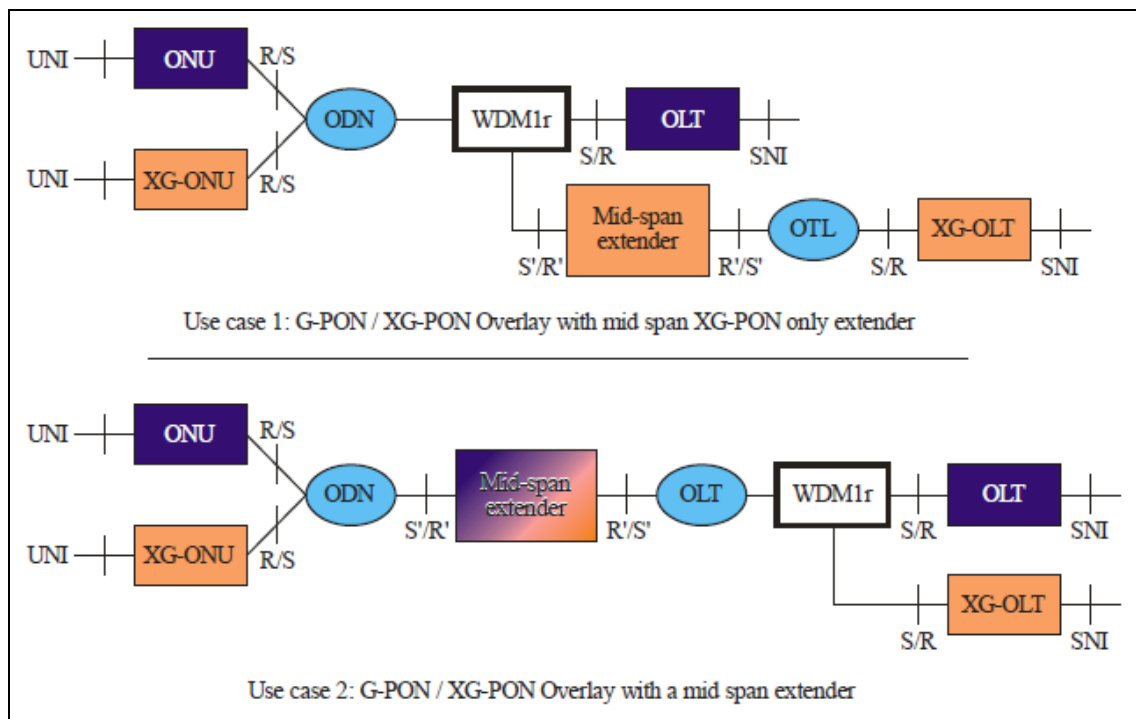


Figura 3.24: Escenarios de migración con extensores de alcance [26]

### 3.5 Migración de sistemas PON legados a NGPON2

#### Solución global del plan de longitudes de onda

Al considerar la coexistencia entre NGPON2 y los estándares anteriores, se tuvieron en cuenta los planes de longitudes de onda de los sistemas GPON, video RF, y XGPON, entre otros. Para facilitar la comprensión de la solución global del plan de longitudes de onda, el mapeo en bandas de cada uno de los principales sistemas implicados ha sido representado gráficamente sobre la Figura 3.25.

Para facilitar la coexistencia entre estándares, un sistema NGPON2 debe ser capaz de operar sobre partes utilizables del espectro que no estén ocupadas por otros sistemas PONs heredados. Además, gracias a su flexibilidad espectral, un sistema NGPON2 podría reutilizar el espectro asignado a los sistemas PON heredados si no coexiste con ellos en la misma ODN, es decir, podría por ejemplo utilizar la planificación espectral asignada a GPON, siempre y cuando no existan servicios activos soportados por dicho estándar en la ODN donde esté operando NGPON2 [30].



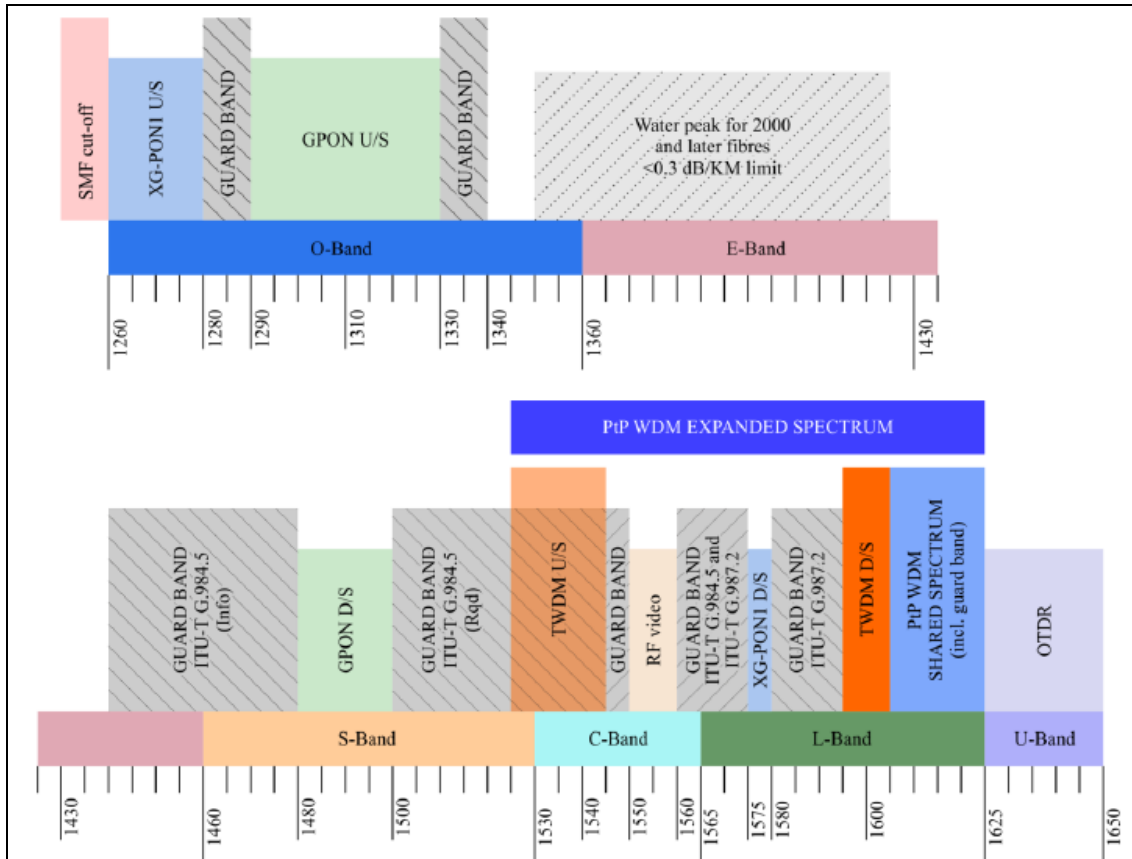


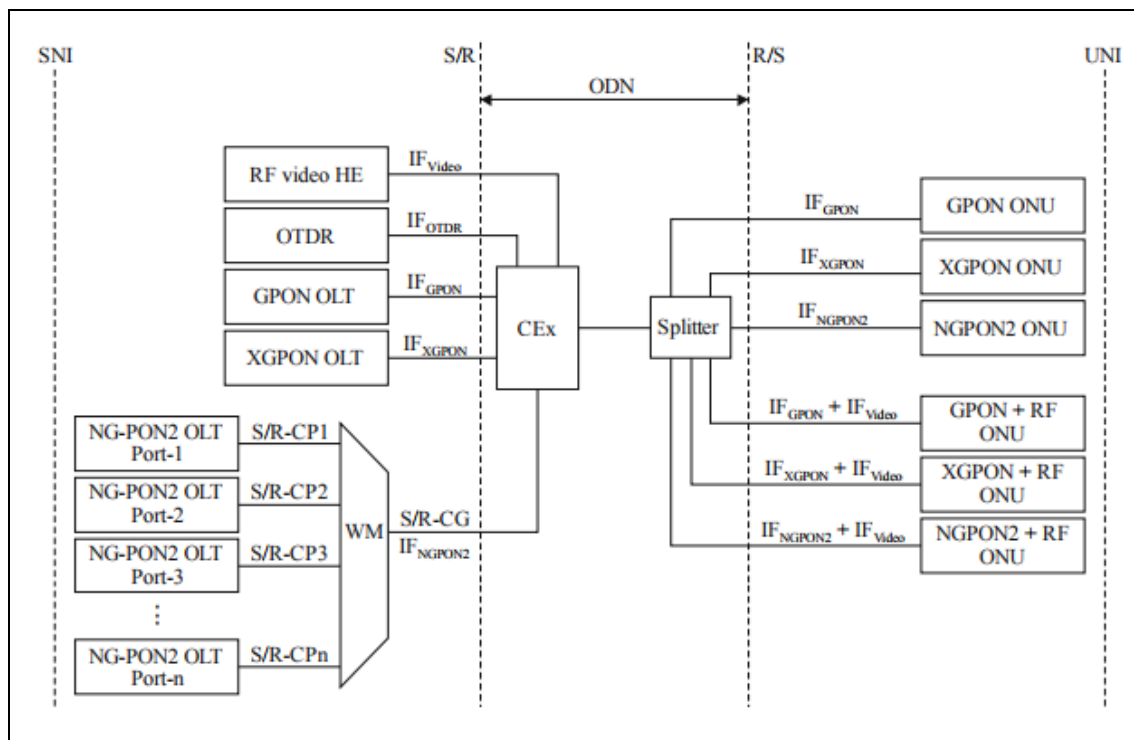
Figura 3.25: Representación de coexistencia del espectro óptico [29]

### Arquitectura de referencia para la coexistencia entre NGPON2 y sistemas heredados

Un posible esquema de arquitectura para la coexistencia de un multi-sistema OAN, constituido por la combinación de redes legadas PON y NGPON2, coincidiría con lo representado en la Figura 3.26. La ODN extremo a extremo en NGPON2 está delimitada por los puntos de referencia R/S y S/R, de manera análoga a como se especificó en los estándares GPON y XGPON. Esta arquitectura permite la convivencia entre conectividades PtM TWDM PON y conectividades virtuales PtP WDM PON, gracias a la incorporación de técnicas mitigadoras de incompatibilidades intersistema.

Si se desea compatibilidad hacia atrás, la opción más conservadora sería la de mantener la ODN heredada basada en divisores de potencia, y añadir elementos adicionales para gestionar el acoplo de las OLTs de los diferentes estándares. Concretamente, para la coexistencia con sistemas PON legados, GPON y XGPON entre ellos, un multiplexor de longitud de onda denominado elemento de coexistencia (CE - *Coexistence Element*), posibilita la combinación de los distintos estándares sobre la misma ODN (ver Figura 3.26). Este dispositivo CE, equivale al elemento WDM1r contenido en la Figura 3.22, o al *splitter* de la Figura 3.23. Sin embargo, NGPON2 se decanta más por el WDM1r que por el *splitter*, ya que este reduce las pérdidas de inserción, y presenta un mejor rendimiento frente a la gran cantidad de longitudes de onda implicadas. Por ello, no se prevé el uso del *splitter* en NGPON2 a modo CE, sino que en su lugar se seleccionará un divisor de longitud de onda WDM1r,

para habilitar la coexistencia entre estándares. De esta forma, la red heredada original basada en divisores de potencia, pasará a ser una red híbrida *splitter-WDM1r*, constituyéndose como la implementación NGPON2 preferida.



**Figura 3.26: Coexistencia entre NGPON2 y sistemas PON legados [30]**

El elemento WDM1r podría constituirse por un dispositivo AWG entre otras alternativas, tal y como se ha explicado anteriormente. Mientras que el divisor de potencia replicaría la señal óptica en todas sus salidas dividiendo la potencia entre todas ellas, el AWG dirigirá cada longitud de onda a su correspondiente ONU con unas pérdidas muy reducidas. De este modo, el balance de potencia mejorado del enlace por el intercambio del dispositivo, puede ser empleado para reducir las especificaciones con su consecuente abaratamiento de los componentes activos, o bien para incrementar el factor de división y/o la distancia. Así, con esta estructura de red, NGPON2 puede soportar grandes distancias sin necesidad de extensores, permitiendo reducir sensiblemente el número de centrales necesarias.

La atenuación de cualquier dispositivo insertado en la red de manera adicional para habilitar la coexistencia entre sistemas heredados PON y NGPON2, deberá ser similar a la de los elementos introducidos previamente para habilitar la coexistencia entre estándares anteriores, tales como GPON y XGPON. Por ejemplo, la atenuación introducida por el CEx al que se hace referencia en la Figura 3.26, deberá ser similar a la introducida por el dispositivo WDM1r contemplado en la Figura 3.22. De esta manera, el balance de potencia óptica heredado no se verá comprometido [30].

Debido a las posibles interferencias entre las generaciones PON coexistentes, deberán instalarse filtros apropiados sobre las ONUs NGPON2 para protegerlas ante estas señales interferentes. Además, dado que las longitudes

de onda de unos y otros estándares estarán muy cercanas en el espectro, podrían llegar a experimentarse leves diafonías que plantearían la inclusión de filtros adicionales sobre los equipos de los estándares legados. Sin embargo, con la finalidad de ahorrar costes y evitar la afectación a la continuidad del servicio proporcionado a los clientes, las ONUs y OLTs heredadas deberían permanecer inalteradas siempre que sea posible. En el caso extremo de que las diafonías afecten notablemente a la calidad de servicio, los filtros deberían instalarse preferiblemente sobre las OLTs, donde el acceso será ser más sencillo por lo general [30].

### **Escenarios de migración PON *green field* y PON *brown field***

En el contexto de migración desde sistemas PON legados hacia arquitecturas NGPON2, vuelven a estar presentes los escenarios PON *green field* y PON *brown field* vistos en el apartado anterior [30].

Los sistemas NGPON2 soportan ODNs heredadas de división de potencia bajo escenarios *brown field*. Para ello, deben ser compatibles con la infraestructura ya desplegada.

Sin embargo, a diferencia del resto de estándares PON, también podrían adoptar ODNs basadas en divisores de longitud de onda sobre escenarios PON *green field*, en las cuales se implementarían aplicaciones totalmente nuevas. Para llevar a cabo un despliegue específico NGPON2 en un escenario *green field*, la ODNs legadas no se mantienen intactas, y al menos, es necesario intercambiar el divisor de potencia empleado por los sistemas GPON y XGPON, por un multiplexor de longitudes de onda [19].

Una migración suave desde una tecnología PON a otra mas avanzada sobre la mismo ODN, proporcionará una mejor experiencia para el cliente final, al minimizarse el tiempo de interrupción del servicio. La cualidad de coexistencia facilita una migración fluida desde los sistemas PON heredados hacia NGPON2, ya que sin ella, los clientes podrían estar sometidos a largos periodos de espera hasta que sus servicios fuesen trasladados al nuevo sistema. En el caso extremo en que se lleve a cabo una migración completa de todos los clientes alojados en la red, la interrupción necesaria para intercambiar/reconfigurar las distintas partes de infraestructura podría llegar a ser inaceptable. La coexistencia de dos generaciones PON podría permitir una migración flexible, mediante un despliegue sin corte de servicio para aquellos clientes que solicitasen acceso a las nuevas capacidades. Para una flexibilidad máxima, los sistemas NGPON2 deben permitir la coexistencia con soluciones GPON y XGPON en la misma ODN de manera simultánea [30].

La compatibilidad del estándar NGPON2 con el servicio de superposición de video RF heredado también fue requisitada. Dado que muchas implementaciones PON anteriores ya utilizan este servicio, la coexistencia entre estándares PON legados y NGPON2, habilitará paralelamente una migración sencilla del servicio hacia los sistemas NGPON2. Sin embargo, este requisito de compatibilidad no debería aumentar la complejidad del sistema, en aquellos casos que no requieran la activación del servicio de video [30].

## Opciones de migración

Con el objetivo de permitir la migración tecnológica sobre la infraestructura existente sin que ello suponga una interrupción prolongada del servicio, los operadores deberán tener la posibilidad de migrar clientes aislados conforme estos vayan demandando mayores capacidades de red. Para ello, se establece una vía de migración de GPON a XGPON, otra de XGPON a NGPON2, y una tercera vía que permitirá una migración directa desde GPON a NGPON2 [30]. La capacidad de los sistemas NGPON2 para convivir con los sistemas GPON y XGPON, habilitará una mayor flexibilidad para actualizar hacia XGPON en el corto plazo, y hacia NGPON2 en el futuro.

Existen tres opciones de migración disponibles que difieren en su nivel de flexibilidad:

Migración en línea recta. La ruta de migración se realiza en línea recta en el orden GPON - XGPON - NGPON. Esta opción requiere una primera migración de GPON a XGPON, a lo cual seguirá la actualización desde XGPON a NGPON2 [30].

Migración flexible. Consiste en una vía de migración directa desde GPON/XGPON a NGPON2. La migración flexible requiere que el sistema NGPON2 pueda coexistir con GPON/XGPON [30].

Migración global. El mayor nivel de flexibilidad se logra mediante un sistema NGPON2 que permita la coexistencia con GPON, XGPON y NGPON2 de manera simultánea. Se trata de la opción más desafiante, pues abarca toda la amplia gama de longitudes de onda ópticas requeridas [30].

Cualquiera que sea el escenario de migración seleccionado, deberá ser posible migrar a un cliente desde GPON/XGPON hacia NGPON2, mediante el reemplazo de su ONU asociada [30].

## Soporte a ODNs heredadas

Las redes ópticas emplean conectores para enlazar los distintos transceptores intervinientes a través de líneas de fibra. Algunas ODNs usan hasta nueve conectores entre la OLT y la ONU, de los cuales ocho conectores APC (*Angled Physical Contact*) se ubican en la ODN, y un conector UPC (*Ultra Physical Contact*) se sitúa en la OLT. Los sistemas NGPON2 deben ser capaces de acomodar las reflexiones y pérdidas resultantes de estos conectores que forman parte de las ODNs heredadas, pero no requieren una tolerancia de reflexión más estricta que la ya definida en los estándares GPON y XGPON [30].

Dado que la infraestructura de acceso suele tener una vida útil muy larga, de 20 años o más, debe habilitarse una vía de actualización de la infraestructura desplegada que garantice las correctas prestaciones del sistema. Por ello, los sistemas NGPON2, deben aportar una gran flexibilidad en términos de etapas,

y número de divisiones por cada etapa, sin importar la tecnología de división que haya sido empleada [30].

Los filtros estáticos dentro de la ODN definen ventanas de longitud de onda que limitan la flexibilidad del sistema, aumentando la complejidad de la planificación de la red. Por ello, podría ser preferible una ODN no selectiva en longitud de onda, a fin de obtener una red de distribución independiente del sistema. Con este enfoque, no existirían barreras para las actualizaciones flexibles en longitud de onda, así como para el uso adicional del espectro óptico [30].

### **3.6 Cierre y conclusiones del estudio técnico**

La labor de investigación llevada a cabo durante el transcurso del estudio técnico, concluye que el Trabajo es realizable técnicamente. Sin embargo, la actualización del estándar no será transparente para los operadores de telecomunicaciones. Estos deberán poner en marcha una serie de adaptaciones para adecuar la red óptica heredada a los nuevos requerimientos del estándar NGPON2, y otras medidas para habilitar la coexistencia entre los estándares NGPON2, XGPON y GPON. El detalle de estas adaptaciones se presentará en el siguiente capítulo.

Con el objetivo de sintetizar las ideas clave extraídas del estudio técnico, a continuación se presentará un resumen focalizado en los aspectos más relevantes del estándar NGPON2.

NGPON2 se constituye como el primer sistema PON de la industria capaz de operar con múltiples longitudes de onda.

NGPON2 es compatible con ODNs heredadas basadas en divisores de potencia, ya que las especificaciones OPL en NGPON2 están alineadas con las de XGPON, las cuales lo estaban a su vez con las de GPON.

El plan de longitudes de onda de NGPON2 cumple los requisitos de coexistencia con los sistemas GPON, XGPON y video RF. Su enorme flexibilidad, permite utilizar cualquier parte desocupada del espectro para la expansión de la capacidad del sistema.

Para habilitar la coexistencia entre estándares sobre la misma infraestructura de red, debe instalarse un elemento CE que podrían consistir en un dispositivo WDM1r.

Los sistemas NGPON2 están fundamentados por las tecnologías TWDM y/o PtP WDM, donde ambas opciones pueden emplear más de un canal de longitud de onda para aumentar la capacidad total del sistema. Por ello, se requerirá el empleo de ONUs con capacidad para sintonizar distintos canales en ambos sentidos de la comunicación. De esta forma, se permitirá el funcionamiento agnóstico a la longitud de onda (*colorless*), habilitando así la compatibilidad de NGPON2 con ODNs heredadas basadas en división de potencia.

NGPON2 soporta ODNs de tipo WS ODN y WR ODN, cada uno destinado a diferentes escenarios. WS ODN es compatible con TWDM y PtP WDM, mientras que WR ODN solo se considera generalmente para implementaciones PtP WDM. Las ODNs híbridas que combinan las tipologías WS y WR, también son adecuadas para soportar enlaces TWDM y PtP WDM.

La capacidad de ajuste de longitud de onda en las ONUs NGPON2 es una característica nueva y distintiva que no se encuentra en las generaciones anteriores de estándares PON, la cual supone nuevos desafíos para el diseño de los transceptores.

La recomendación NGPON2 especifica tres clases de tiempo de sintonización, las cuales facilitan las nuevas funciones del sistema y los casos de uso de la red.

La recomendación especifica un mínimo de cuatro canales TWDM extensibles hasta ocho unidades, y admite un mínimo de cuatro canales PtP WDM con un número máximo no especificado. La combinación de canales implica una capacidad global mínima de 40 Gb/s en sentido descendente, y 10 Gb/s en sentido ascendente, según las opciones a nivel de canal individual de 10 Gb/s y 2.5 Gb/s respectivamente. En términos individuales, en ODNs que den soporte a 64 clientes, la velocidad mínima asignada a cada usuario será de 625 Mb/s en NGPON2, frente a los 37,5 Mb/s proporcionados por GPON, coincidiendo con un incremento de la tasa de transferencia en un factor 16.

Debido a la potencia óptica relativamente alta que se emplea en NGPON2, así como a su naturaleza multi-longitud de onda, la no linealidades de Raman deben tenerse en consideración para la penalización del camino óptico.

Las interferencias cruzadas (*cross-talk*) entre distintos canales tienen impacto en el diseño del enlace óptico. Para garantizar el funcionamiento adecuado del sistema, el estándar especifica la densidad espectral de potencia máxima que un transmisor NGPON2 puede emitir.

La especificación MSE es un importante factor a controlar durante el diseño y configuración de los transceptores. Con el objetivo de minimizar las interferencias cruzadas y así optimizar el rendimiento del enlace, las longitudes de onda de las ONUs transmisoras deben quedar confinadas dentro de un intervalo óptico espectral permitido.

Los transmisores ONU basados en láseres EML o DML pueden ser opciones efectivas. El láser DML es más económico que el EML, pero ofrece peores prestaciones.

El multiplexor de longitud de onda ubicado en las cercanías de la OLT, podría estar basado en las tecnologías AWG o TFF, quedando a elección del proveedor.

El multiplexor de longitud de onda WDM1r ubicado en la planta externa, estará basado por lo general en un dispositivo AWG, ya que los elementos TFF son sensibles a los cambios de temperatura.

## 4. Estudio económico

Una vez llevado a cabo a cabo el análisis para verificar la viabilidad técnica del despliegue NGPON2 sobre la infraestructura óptica legada, habiendo llegado a la conclusión de que el despliegue es realizable, pero se precisan ciertas adaptaciones en la estructura de la red, nos disponemos a acometer la siguiente fase del Trabajo.

Este capítulo, se corresponde con la valoración económica del proyecto de adaptación en la red óptica heredada, con la finalidad de adecuarla a los requerimientos y especificaciones NGPON2, cumpliendo además con el requerimiento de coexistencia entre estándares. Se calcularán los gastos estimados sobre un escenario concreto, basándonos para ello en catálogos pertenecientes a proveedores de equipamiento de sistemas de telecomunicación, realizando las previsiones de precio oportunas. Finalmente, se llevará a cabo un análisis sobre la viabilidad económica del proyecto.

### 4.1 Definición del escenario

El escenario sobre el cual se llevará a cabo la simulación teórica del despliegue de los servicios NGPON2, podría haberse definido de dos maneras distintas. En un primer planteamiento, la distribución de la planta externa podría estar basada en mapas reales, considerando la disposición de los edificios, canalizaciones propias y de otros operadores, alcantarillado, etc. Como segunda opción, podría optarse por un esquema genérico basado en un entorno ficticio. El primer planteamiento, apoyado en mapas reales, concede cálculos de mayor exactitud, pero sus conclusiones se ven limitadas al caso preciso donde sea aplicado. Además, estas figuras reales que definen el escenario suelen pertenecer a terceros. Por ello, a fin de generalizar, al mismo tiempo que se evita el uso de datos confidenciales, el estudio ha sido basado en un planteamiento ficticio que resulta adecuado para un contexto teórico general, fácilmente aplicable a una mayoría de entornos. Al tratarse de un estudio tecno-económico genérico, carecería de sentido entrar al detalle de la distribución geográfica de los elementos de planta externa, tales como canalizaciones, arquetas, cámaras de registros, etc.

Concretamente, se asumirá que el escenario objetivo del despliegue de la red de acceso NGPON2, se encuentra en una zona urbana residencial de 5 km cuadrados de superficie, en la cual deberá ofrecerse cobertura de banda ancha a un máximo de 1500 viviendas residenciales.

La tasa de penetración se posicionará entorno al 70%, es decir, a pesar de que la arquitectura de la planta externa esté distribuida para acceder a las 1500 viviendas, se asume que solo el 70% de los clientes han adoptado la tecnología FTTH como medio de transmisión de banda ancha en sus viviendas.

La barriada ya cuenta con infraestructura FTTH desplegada tiempo atrás, adecuada para la convivencia de los estándares GPON y XGPON. Por ello, en el momento de abordar el despliegue NGPON2, la infraestructura óptica

existente ya estaría soportando servicios activos bajo los estándares GPON y XGPON. De ello se deduce que los tres sistemas deberán poder coexistir en el tiempo.

Con la finalidad de ahorrar costes, se asumirá que los elementos de la planta externa ya implantados no experimentarán cambio alguno. Por consiguiente, el estudio estará focalizado exclusivamente en la inclusión de nuevos elementos que posibiliten tanto el despliegue del sistema NGPON2, como la convivencia entre los estándares implicados, respetando en todo momento la infraestructura heredada.

En cuanto a los parámetros propios del diseño de la infraestructura legada, coincidirán con los de una red de acceso genérica de planta externa. Concretamente, cada ODN integrante del sistema global, estará formada por dos niveles de división de potencia óptica diferenciados. Pensando en el sentido de comunicación que va desde la centralita hacia los usuarios, la primera etapa de división con un factor 1:4 se encuentra situada en una cámara/arqueta, mientras que la segunda etapa con un factor de división de 1:16, se ubicará en la caja de terminal óptica en una posición más cercana a los domicilios de los clientes. La combinación de ambas etapas de división pertenecientes a la planta externa, dará lugar a un ratio de división total de 1:64 por cada ODN.

El alcance físico ofrecido por los sistemas de comunicaciones ópticas puede variar en función de la distribución del terreno, así como de los casos de uso particulares en casa escenario. Se ha considerado que la centralita responsable de ofrecer el servicio a clientes se encuentra ubicada en uno de los extremos de la barriada de viviendas. Por ello, puesto que GPON cuenta con unos rangos de operación del orden de decenas de kilómetros, ni con las adversidades más severas del entorno podrían experimentarse problemas de alcance.

Por último, la fibra desplegada será de tipo estándar de acuerdo con la ITU-T G.652, modelo ya mencionado con anterioridad. Si bien existen otras alternativas de fibras compatibles según la recomendación de los estándares, como por ejemplo la ITU-T G.655, al tener desplazado el cero de dispersión, requiere de unos procesos de fabricación más sofisticados que encarecen su precio.

## **4.2 Solución técnica**

A partir del proceso de investigación llevado a cabo en el trascurso del estudio técnico, se concluyen las siguientes premisas para abordar el análisis económico:

- El esquema de la arquitectura de red, coincidirá con lo visto en la Figura 3.26.
- Sobre dicha red, convivirán los estándares NGPON2, XGPON y GPON.



- El divisor de potencia de la Figura 3.26, se corresponde con el de la ODN legada GPON/XGPON.
- El elemento CEx de la Figura 3.26, consistirá en un dispositivo WDM1r. Este elemento se encargará de multiplexar las longitudes de onda operadas por los distintos estándares activos en la red, posibilitando su coexistencia, y evitando acoplamientos e interferencias.
- La labor de multiplexación de los canales de subida y baja de cada estándar concreto, quedará delegada en sus propias ONUs y OLTs, de la misma forma que sucede en escenarios donde solo opera un estándar aislado.

A continuación, se detallarán las actuaciones que se han identificado como obligatorias en el estudio técnico, imprescindibles para compatibilizar la red heredada al sistema NGPON2, al tiempo que se habilita la coexistencia entre estándares PON:

- **Inserción de nuevas ONUs** para los clientes, nuevos o migrados, a los que se les proporcionará conectividad mediante un sistema NGPON2. Estas ONUs deberán tener capacidad de sintonización, además de cumplir con los parámetros definidos en el estándar NGPON2 (potencia de transmisión, sensibilidad, plan de longitudes de onda, etc).
- **Inserción de nuevas OLTs**, que atiendan a sus correspondientes ONUs sintonizables integradas en la red. Estas OLTs, no deberán disponer de capacidad de sintonización, pero si cumplir con los parámetros especificados en el estándar.
- **Inserción de dispositivos WM**, en las inmediaciones de la OLT, empleados para para multiplexar las numerosas longitudes de onda existentes en una comunicación NGPON2.
- **Inserción de elementos CEx (WDM1r)**, para posibilitar la coexistencia de los distintos estándares activos en la red, mediante la multiplexación de sus respectivas longitudes de onda de operación.

Además de estas modificaciones obligatorias para lograr el éxito del despliegue, en el estudio técnico se presentaron una serie de recomendaciones para mejorar la calidad del servicio. Por citar algunos ejemplos, estarían las fibras o *spans* de compensación de dispersión, mecanismos para paliar los efectos no lineales de la fibra y el efecto de Raman, filtros para reducir las interferencias entre estándares, etc. Sin embargo, la mayoría de estas medidas no implicarían una mejora muy sustancial de las prestaciones del servicio, por lo que raramente serían implementadas por los operadores de red. La decisión para articular estas recomendaciones dependerá del caso de uso del proveedor, de las distintas longitudes de onda del espectro ocupadas por los sistemas implicados en la red, de la potencia de transmisión de las señales, etc. Por ello, el inventario de los elementos considerados en el presente estudio económico, queda limitado al listado situado en el párrafo anterior.

### 4.3 Solución comercial

Debido a que el estándar NGPON2 ha sido especificado recientemente, la industria aún no ha alcanzado un gran nivel de consolidación. Por ello, la mayoría de suministradores de equipamiento de sistemas de telecomunicación, todavía no disponen de catálogos oficiales que satisfagan las especificaciones del estándar. Este factor ha ocasionado un cambio en la estrategia original del Trabajo, habiendo desestimado el uso de un catálogo de componentes NGPON2 como base para el estudio económico. En su lugar, se han realizado algunas suposiciones sobre precios de venta de catálogos conocidos, permitiendo estimar los costes asociados al despliegue NGPON2. Concretamente, se ha empleado un catálogo comercial de equipamiento GPON como punto de partida, sobre el cual se ha efectuado una previsión oportuna de incremento de precios, a fin de estimar los costes reales que supondría la compra de equipos NGPON2.

A continuación, se presentarán los distintos modelos comerciales que han sido seleccionados para implementar el despliegue, contemplando tanto los dispositivos pasivos WM, como los elementos activos GPON.

**ONUs.** Los distintos modelos comerciales ONUs existentes en el catálogo de componentes consultado, disponen de los parámetros adecuados para ser empleados en la infraestructura FTTH instalada [34]. La elección de un dispositivo u otro dependería principalmente del caso uso del proveedor, así como de los servicios contratados por el cliente. Dado que el escenario planteado es un caso genérico y no se profundiza a este nivel de detalle, asumiremos que el terminal instalado para ofrecer el servicio a los clientes será el modelo WaveAccess 4022 del fabricante Telnet RI, presentado en la Tabla 4.1. Se trata de un dispositivo estándar, diseñado para uso en áreas residenciales y en pequeñas empresas, cumpliendo con las características del escenario planteado [37].

Dispositivo	Modelo	Fabricante	Coste GPON
ONU	WaveAccess 4022	Telnet RI	160,00 €

**Tabla 4.1: Modelo ONU comercial seleccionado [34]**

**OLTs.** Las tres alternativas comerciales OLT, disponibles en el catálogo de componentes consultado, cubren las necesidades de un sistema basado en una distribución PON [35]. Sin embargo, puede notarse como a pesar de que el modelo SmartOLT 460 del fabricante Telnet RI mostrado en la Tabla 4.2, es la opción más costosa a nivel de componente, este dispositivo cuenta con 12 puertos de salida, mientras que el resto de alternativas solo poseen 4 puertos [38]. Dada la tasa de penetración del escenario definido, la elección de este dispositivo, supondrá un ahorro a nivel de costes globales frente a las otras alternativas, ya que este podrá soportar una mayor cantidad de ONUs.

Dispositivo	Modelo	Fabricante	Coste GPON
OLT	SmartOLT 460	Telnet RI	5333,00 €

**Tabla 4.2: Modelo OLT comercial seleccionado [35]**

El modelo comercial SmartOLT 460, no incluye los transmisores y receptores necesarios para cada uno de sus puertos de serie. Por ello, estos transceptores deberán ser adquiridos adicionalmente. El modelo seleccionado ha sido el dispositivo SFP OLT B+, compatible con la clase OPL B+ GPON tal y como su nombre indica, destacado en la Tabla 4.3.

Dispositivo	Modelo	Fabricante	Coste GPON
SFP	SFP OLT B+	Telnet RI	175,00 €

**Tabla 4.3: Modelo SFP OLT comercial seleccionado [35]**

En un sistema NGPON2, la distribución entre puertos de la OLT y número de transceptores por puerto, dependería de cómo lo hayan concebido los fabricantes, así como de las opciones de transceptores existentes. En la Figura 3.21, se presentaron varios ejemplos de configuración OLT posibles en NGPON2. Al ser una implementación libre para cada fabricante, no se dispone de una guía de implementación clara. Sin embargo, puesto que en la literatura se reportan encapsulados que integran 40 transceptores con sus correspondientes longitudes de onda asociadas [39], se ha considerado una distribución formada por un encapsulado SFP acoplado a cada puerto de la OLT. A su vez, cada módulo SFP integrará varios transceptores a distintas longitudes de onda, posibilitado la aplicación de las técnicas TWDM y PtP WDM que caracterizan al estándar NGPON2.

**WMs.** Tal y como se comentó en el estudio técnico, los multiplexores de longitud de onda WM, podrían ser implementados mediante dispositivos TFF o AWG. Se argumentó que los TFF podrían ser empleados en las inmediaciones de la OLT para multiplexar los canales NGPON2, pero sin embargo, dada su sensibilidad a la temperatura, no resultan aconsejables para constituir el elemento WDM1r ubicado en la planta externa. A pesar de que los TFF son más económicos que los AWG, se ha tomado la decisión de emplear dispositivos AWG en ambas partes de la red, a fin de potenciar una fabricación masiva del mismo tipo de componente que derive en una reducción de sus costes de producción. Además, los AWG tienen típicamente unas pérdidas de inserción menores que la alternativa formada por TFFs combinados con divisores de potencia. Por tanto, esta decisión también implica un menor impacto en el balance de potencias de la red.

Los dispositivos AWGs comerciales disponibles en el catálogo de componentes consultado [36], tienen un mínimo de 16 canales orientados a los módulos WDM en redes de agregación y troncales, algo excesivo para el sistema NGPON2 planteado. Dado que inicialmente se prevén velocidades de 40 Gb/s con transceptores de 10 Gb/s para los sistemas NGPON2, se ha considerado que los WMs asociados a las OLTs, y por tanto también los módulos SFP, estarán constituidos por 4 longitudes de onda distintas. En cuanto a los AWGs correspondientes a los módulos WDM1r, en el supuesto de que los tres estándares convivan sobre la misma ODN, requerirán un máximo de 3 entradas. Por ello, también serían válidos AWGs constituidos por 4 canales para los módulos WDM1r, donde la entrada sobrante podría ser empleada, por ejemplo, para permitir la incorporación adicional de servicios de video. Además, se aprecia como los anchos de banda y longitudes de onda de operación de los

AWGs existentes en el catálogo comercial [36], no se ajustan a los definidos en el estándar NGPON2. Aun así, los fabricantes de componentes NGPON2, dispondrán de modelos AWGs diseñados a medida para las especificaciones del estándar.

La complejidad de los dispositivos AWG diseñados específicamente para el estándar NGPON2 será muy similar a la de las versiones GPON, y por tanto, también lo serán sus costes de fabricación. Por ello, el precio considerado por dispositivo AWG particularizado a los sistemas NGPON2, deducido a partir de una extrapolación de los componentes del catálogo consultado, podría rondar los **1000,00€ (\$1250.00)**.

En línea con la apreciación vista en el estudio técnico, en la que el WM podría estar integrado como parte del equipamiento OLT (ver Figura 3.21), se ha determinado una arquitectura en la que cada módulo SFP tiene integrados tanto los grupos de 4 transceptores, como el multiplexor/demultiplexor correspondiente. De esta forma, los AWGs necesarios para la multiplexación de canales NGPON2, han sido considerados parte del equipamiento OLT, y consecuentemente, no supondrán costes adicionales.

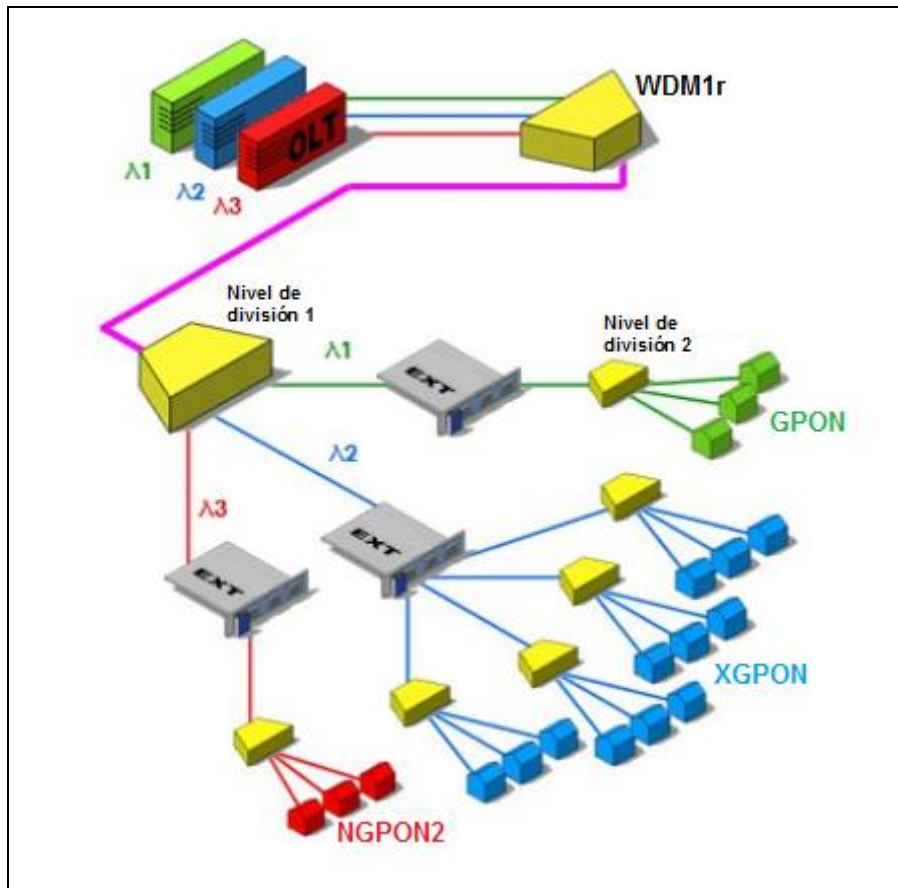
NOTA: Tanto el catálogo de componentes GPON empleado para realizar la estimación de precios de sus dispositivos homólogos NGPON2, como el catálogo de multiplexores de longitud de onda AWG, han sido incluidos en el capítulo dedicado a los anexos del Trabajo.

#### **4.4 Solución técnica particularizada al escenario definido**

En un escenario en el que solo exista un estándar activo sobre la infraestructura óptica desplegada, por ejemplo, GPON, se dedicaría un puerto OLT para cada una de las distintas ODNs que conformen la red óptica global. Este puerto de la OLT saldrá al exterior de la central a través de una fibra única, la cual quedará ramificada por las etapas de división de potencia, para de esa forma, poder alcanzar la ubicación de los distintos domicilios de los clientes que compartan la misma ODN. En el escenario planteado en este Trabajo, cada ODN constituida por dos etapas de división óptica, posee un factor global de división de 1:64, pudiendo albergar servicios para un máximo de 64 clientes. Por consiguiente, la estrategia del despliegue original para poder penetrar hasta todos los clientes de la zona, sería la de ir instalando tantas ODNs como sean necesarias.

Con el objetivo de permitir la convivencia entre estándares sobre esta misma infraestructura legada, por cada una de las ODNs que conformen la red global, habrá que incorporar un dispositivo WDM1r de coexistencia. Este elemento podría estar situado en las proximidades de la central, o incluso entre las OLTs y el repartidor óptico que conecta con la galería de cableado dentro de la centralita, evitando de esta forma tener que realizar cambios sobre la planta externa. Como se ha comentado previamente, cada elemento WDM1r deberá tener tantas entradas como estándares coexistan en su respectiva ODN. Es decir, suponiendo que convivan clientes suscritos a servicios soportados mediante sistemas GPON, XGPON y NGPON2 sobre la misma ODN, cada

WDM1r tendrá un mínimo de tres entradas que quedarán conectadas respectivamente con algunos de los puertos de la tres OLTs implicadas en la ODN, una para cada estándar. A groso modo, este esquema se asemejaría con el representado en la Figura 4.1.



**Figura 4.1: Coexistencia sobre la misma ODN mediante WDM1r [33]**

A partir de ahora, nos centramos exclusivamente en los nuevos dispositivos NGPON2 que deberán ser insertados en la red, ignorando sus homólogos pertenecientes a los estándares heredados, pues estos ya habrían sido amortizados con el tiempo.

Teniendo en consideración la tasa de penetración del 70% sobre las 1500 viviendas existentes en la barriada, haría un total de 1050 clientes que consumen conectividad de banda ancha mediante la tecnología FTTH. Se interpreta que en cada una de las ODNs que forman la red, habrá un mínimo de clientes suscritos a servicios soportados por el estándar NGPON2, con lo cual, todas las ODNs existentes en el sistema deberán ser actualizadas.

Desde este punto de partida, se contemplan tres panoramas con un porcentaje distinto de clientes que han decidido aumentar el ancho de banda contratado mediante una migración al sistema NGPON2. A continuación, se realiza un cálculo de los equipos necesarios para provisionar el servicio al número de clientes que corresponde a cada opción de migración:

**OPCIÓN A, migración completa de clientes a NGPON2.** El 100% de los clientes (1050) ha decidido acogerse a las prestaciones ofrecidas por el sistema NGPON2. Para poder provisionar el servicio en estas condiciones, se precisaría el siguiente inventario de componentes:

- **1050 dispositivos ONU WaveAccess 4022**, representativos de sus homólogos diseñados para el sistema NGPON2. Estos elementos servirán a 17 ODNs de división de potencia ya instaladas, con un factor de división de 1:64 ( $1050/64=16,4=17$ ).
- **2 dispositivos SmartOLT 460**, representativos de sus homólogos diseñados para el sistema NGPON2. Dado que se requieren 17 puertos OLTs NGPON2, y que cada dispositivo SmartOLT 460 cuenta con 12 puertos SPF, sería necesaria la compra de 2 unidades (24 puertos disponibles).
- **17 dispositivos SFP OLT B+**, equivalentes al sistema NGPON2. Recordar que se ha considerado que estos encapsulados integran cuatro transceptores en su interior, operando a cuatro longitudes de onda distintas, lo que permitiría el escalado del sistema mediante TWDM y PtP WDM. Para poder combinar estas cuatro longitudes de onda implicadas en cada ODN, también integran los componentes WM correspondientes.
- **17 dispositivos AWG (WDM1r)**, para habilitar la coexistencia entre los estándares implicados.

**OPCIÓN B, migración moderada de clientes a NGPON2.** El 50% de los clientes (525) ha decidido acogerse a las prestaciones ofrecidas por el sistema NGPON2. Para poder provisionar el servicio en estas condiciones, se precisaría el siguiente inventario de componentes:

- **525 dispositivos ONU WaveAccess 4022**. Estos elementos servirán a 9 ODNs de división de potencia ya instaladas, con un factor de división de 1:64 ( $525/64=8,2=9$ ).
- **1 dispositivo SmartOLT 460**. Dado que se requieren 9 puertos OLTs NGPON2, y que el dispositivo SmartOLT 460 cuenta con 12 puertos SPF, sería necesaria la compra de una sola unidad.
- **9 dispositivos SFP OLT B+**.
- **9 dispositivos AWG (WDM1r)**.

**OPCIÓN C, migración reducida de clientes a NGPON2.** El 10% de los clientes (105) ha decidido acogerse a las prestaciones ofrecidas por el sistema NGPON2. Para poder provisionar el servicio en estas condiciones, se precisaría el siguiente inventario de componentes:

- **105 dispositivos ONU WaveAccess 4022**. Estos elementos servirán a 2 ODNs de división de potencia ya instaladas, con un factor de división de 1:64 ( $105/64=1,64=2$ ).
- **1 dispositivo SmartOLT 460**. Dado que se requieren 2 puertos OLTs NGPON2, y que el dispositivo SmartOLT 460 cuenta con 12 puertos SPF, sería necesaria la compra de una sola unidad.
- **2 dispositivos SFP OLT B+**.
- **2 dispositivos AWG (WDM1r)**.

En la Tabla 4.4, se presenta un resumen de las unidades de componentes necesarias de cada tipo, para satisfacer cada una de las opciones de migración definidas.

Dispositivo	Modelo	Unidades		
		A	B	C
ONU	WaveAccess 4022	1050	525	105
OLT	SmartOLT 460	2	1	1
SFP	SFP OLT B+	17	9	2
AWG	-	17	9	2

**Tabla 4.4: Inventario de componentes asociado al despliegue NGPON2**

## 4.5 Solución económica particularizada al escenario definido

El precio por componente en dispositivos NGPON2 no solo depende de su tecnología, sino que también depende del ratio de adopción del mercado. Si el grado de adopción de la tecnología NGPON2 a nivel mundial fuese predominante, se producirá un decremento de los costes por equipo, ya que la alta demanda fomentaría una fabricación masiva de componentes que abarataría los costes generales. Para poder relacionar el grado de adopción global del mercado, con cada una de las opciones de migración definidas en el apartado anterior, se plantean las siguientes suposiciones.

La migración completa de usuarios enmarcada en la **OPCIÓN A**, estaría manifestando la existencia de una fuerte demanda a nivel global, que ofrecería unos costes tecnológicos a un precio muy competitivo. Una producción tan extendida, ya habría superado los retos relativos al diseño de equipamiento de sistemas NGPON2, permitiendo unos costes de fabricación muy similares en ambos estándares.

Una migración moderada de usuarios correspondiente a la **OPCIÓN B**, estaría denotando que el grado de acogida del mercado a los sistemas NGPON2 comienza a extenderse, y consecuentemente, también la demanda a fabricantes. Con ello, se asumirá que la fabricación de cada componente NGPON2, supondrá un sobre coste del 50% respecto de su equivalente GPON.

Una migración reducida de clientes representada por la **OPCIÓN C**, coincidiría con un mercado que tímidamente empieza a adentrarse en soluciones

NGPON2. La demanda a fabricantes será puntual, y por tanto, la producción de componentes más costosa. Este panorama equivaldría al peor caso posible, en el que cada componente NGPON2 supondría un coste adicional del 100% sobre el precio marcado en el catálogo GPON, dada la complejidad añadida de los diseños tecnológicos NGPON2 que aún estarían en fase de maduración.

Los precios por componente individual, en función del nivel de adopción del mercado a la tecnología NGPON2 (simbolizado por las opciones de migración planteadas), se muestran sobre la Tabla 4.5.

Dispositivo	Modelo	Coste por componente			
		GPON	NGPON2		
Opción		-	A	B	C
Sobrecoste		-	0%	50%	100%
ONU	WaveAccess 4022	160,00€	160,00€	240,00€	320,00€
OLT	SmartOLT 460	5333,00€	5333,00€	7999,50€	10666,00€
SFP	SFP OLT B+	175,00€	175,00€	262,50€	350,00€

**Tabla 4.5: Coste estimado del equipamiento NGPON2**

Finalmente, en la Tabla 4.6, se presentan los costes totales asociados al despliegue del sistema NGPON2 sobre el escenario definido, para cada una de las tres opciones de migración planteadas. Se aprecia como los operadores deberán afrontar unos costes que varían desde los 189.2 € para la opción A, hasta los 447.3 € para la opción C, por cada uno de los clientes migrados al sistema NGPON2. Para poder obtener cierta rentabilidad de esta inversión, los operadores deberán ejercer una subida en el precio del servicio, que quedaría justificada con el incremento de la velocidad de transferencia en un factor 16 (625 Mb/s en NGPON2 frente a los 37,5 Mb/s en GPON, dedicados a cada usuario).

Dispositivo	Modelo	Precio	Unidades	Costes Totales
<b>OPCIÓN A, migración completa de clientes a NGPON2</b>				
ONU	WaveAccess 4022	160,00€	1050	168000,00€
OLT	SmartOLT 460	5333,00€	2	10666,00€
SFP	SFP OLT B+	175,00€	17	2975,00€
AWG	-	1000,00€	17	17000,00€
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>198641,00€</b>
<b>OPCIÓN B, migración moderada de clientes a NGPON2</b>				
ONU	WaveAccess 4022	240,00€	525	126000,00€
OLT	SmartOLT 460	7999,50€	1	7999,50€
SFP	SFP OLT B+	262,50€	9	2362,50€
AWG	-	1000,00€	9	9000,00€
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>145362,00€</b>
<b>OPCIÓN C, migración reducida de clientes a NGPON2</b>				
ONU	WaveAccess 4022	320,00€	105	33600,00€
OLT	SmartOLT 460	10666,00€	1	10666,00€
SFP	SFP OLT B+	350,00€	2	700,00€
AWG	-	1000,00€	2	2000,00€
<b>TOTAL</b>	-	-	-	<b>46966,00€</b>

**Tabla 4.6: Costes globales asociados al despliegue NGPON2**



## 4.6 Análisis final de viabilidad del Trabajo

La implantación de la infraestructura de redes de fibra óptica, supone alrededor del 75-85% de la inversión necesaria para la implementación completa de los sistemas. Estos porcentajes tienen una fuerte variabilidad en función de las características propias de la región donde se lleve a cabo el despliegue de fibra. No obstante, teniendo en consideración que el escenario planteado en este Trabajo se corresponde con una típica zona residencial, sería realista estimar que el 75-85% de los costes globales se corresponden con la creación de la infraestructura, y que solo el 15-25% se atribuye a la incorporación del equipamiento de red entre otros elementos. Por tanto, se ha considerado que los costes del equipamiento NGPON2 calculados en el apartado anterior, suponen alrededor del 25% de los gastos globales del sistema.

A continuación, se llevará a cabo una valoración de los costes totales asociados al despliegue del sistema NGPON2, para cada una de las opciones de migración contempladas. Se presentará un primer esquema *brown field* correspondiente al escenario definido en este Trabajo, el cual posibilita la reutilización de la infraestructura óptica previamente instalada. El segundo esquema coincide con un desarrollo *green field* que requiere la creación de una nueva infraestructura óptica, debidamente dimensionada al volumen de clientes soportados. El detalle en términos económicos se muestra sobre la Tabla 4.7.

Escenario	Costes Equipamiento	Costes Infraestructura	Costes Totales
<b>OPCIÓN A, migración completa de clientes a NGPON2</b>			
<i>Brown field</i>	198641,00€	0,00€	<b>198641,00€</b>
<i>Green field</i>	198641,00€	595923,00€	<b>794564,00€</b>
<b>OPCIÓN B, migración moderada de clientes a NGPON2</b>			
<i>Brown field</i>	145362,00€	0,00€	<b>145362,00€</b>
<i>Green field</i>	145362,00€	436086,00€	<b>581448,00€</b>
<b>OPCIÓN C, migración reducida de clientes a NGPON2</b>			
<i>Brown field</i>	46966,00€	0,00€	<b>46966,00€</b>
<i>Green field</i>	46966,00€	140898,00€	<b>187864,00€</b>

**Tabla 4.7: Inversión económica en escenarios *brown field* y *green field***

Del análisis de la Tabla 4.7, se desprende que la reutilización de la red óptica heredada, ha logrado una reducción muy importante de los costes asociados al despliegue del sistema NGPON2, en comparación a los obtenidos en una implementación llevada a cabo sobre infraestructura de nueva creación. En un entorno de tamaño reducido como es el escenario definido en este Trabajo, en el que la red da soporte a un número limitado de clientes, se obtienen ahorros que pueden superar el medio millón de euros cuando el ratio de adopción a la tecnología NGPON2 sea elevado. Concretamente, en la OPCIÓN A, se ha obtenido un ahorro de 595923,00€. Lógicamente, si el despliegue se extendiera a otras zonas, la reducción de costes sería aún más significativa.

Por consiguiente, se llega a la conclusión de que el Trabajo no solo es viable tecnológicamente, sino que también lo es desde el punto de vista económico. Aquellos operadores de telecomunicaciones que decidan abordar el despliegue del sistema NGPON2 mediante la reutilización de la infraestructura óptica

disponible, tendrán una enorme ventaja competitiva económica respecto a otros operadores que no tengan tal posibilidad. Por otro lado, aquellos operadores que sustenten el servicio sobre un sistema NGPON2, ofrecerán una velocidad mínima de banda ancha de 625 Mb/s asignada a cada usuario, frente a los 37,5 Mb/s ofertados por competidores que sigan operando en el estándar legado GPON. Este incremento de la tasa de transferencia en un factor 16 no pasará desapercibido por los clientes, los cuales acudirán a aquellos operadores de red que posean sistemas capaces de proporcionarles el ancho de banda demandado.

# 5. Conclusiones

## 5.1 Análisis del desarrollo del Trabajo

### Lecciones aprendidas

En la etapa del curso coincidente con la elección del tema y objetivo del Trabajo, llegué a mostrarme reticente a abordar un proyecto con este importante grado de investigación. Se trataba de un tema relativamente innovador, del que, si bien existía mucha información disponible en internet, las fuentes parecían poco fiables. Hasta entonces, solía evitar acudir a estándares de telecomunicación, ya que suelen estar diseñados para un colectivo experto en la materia, y por tanto su comprensión no resulta sencilla. Tras haber dedicado una gran cantidad de horas de investigación de la mano de estos estándares y otras fuentes técnicas de bajo nivel, he aprendido a beneficiarme del potencial ofrecido por este tipo de herramientas.

Lógicamente, también he ampliado notablemente mis conocimientos acerca de la materia en la que se orientaba el Trabajo, las redes de distribución ópticas pasivas, especialmente sobre los sistemas GPON, XGPON y NGPON. Hasta entonces, tan solo había tratado ligeramente estos conceptos, siempre desde un punto de vista teórico. Hoy día, creo haber adquirido un mayor conocimiento sobre la arquitectura y funcionamiento real de las redes PON, lo que indudablemente, me aportarán valor en el plano profesional.

### Logros obtenidos

Podría decirse que los objetivos del Trabajo se han cumplido de manera satisfactoria. El proyecto ha sido validado técnicamente, lo cual se corresponde con el objetivo de la primera fase del Trabajo. También ha sido elaborada correctamente la valoración económica de los costes asociados al despliegue de la red como un segundo hito. Sin embargo, en relación a esta segunda fase del Trabajo, cabría comentar que la idea original, era la de fundamentar el estudio económico sobre catálogos de suministradores reales de sistemas de Telecomunicación NGPON2. Pese a haber contactado repetidas veces con una decena de proveedores potenciales especializados en esta tecnología, finalmente no ha sido posible disponer de un presupuesto formal.

### Planificación y metodología adoptada

Por lo general, la planificación inicial del Trabajo ha coincidido con la transcurrida en la realidad. Los grandes bloques incluidos en la planificación, formados por el estado del arte, estudio técnico y estudio económico, se cumplieron en plazos sin anomalías reseñables.

Como punto de mejora, habría sido adecuado incluir una tarea dedicada al diálogo con suministradores dentro de la planificación. De esa forma, podrían haberse previsto posibles demoras en los tiempos de respuesta de los proveedores, ofreciendo la posibilidad de adelantar la tarea en el tiempo, y así

aumentar las posibilidades de disponer de los presupuestos en una etapa temprana del Trabajo. Este contratiempo forzó la modificación del planteamiento original para garantizar el éxito del trabajo. En lugar de partir de un presupuesto de equipos de red NGPON2, el estudio económico ha sido basado en un catálogo comercial de equipamiento diseñado para implementar sistemas GPON. Dada la complejidad añadida de los sistemas NGPON2 frente a las soluciones GPON, se consideró un porcentaje de incremento de precios sobre este catálogo de partida.

Cabría mencionar que la metodología empleada durante el transcurso del Trabajo para el desarrollo del estudio tecno-económico, ha propiciado la consecución de los objetivos marcados.

## **5.2 Líneas de trabajo futuras**

Como posible continuación del presente Trabajo de Fin de Máster, el ámbito de aplicación del análisis tecno-económico podría verse ampliado. Este posible hito futuro, pondría foco en la viabilidad del despliegue de una red de acceso radio mediante un sistema NGPON2, con la finalidad de dar servicio a estaciones base en comunicaciones móviles (servicio CPRI - *Common Public Radio Interface*).

La idea clave es que ambos servicios, fijo y móvil, puedan ser desplegados sobre la misma infraestructura reutilizada de la red de acceso FTTH, sobre la que ya se habrían realizado las actualizaciones necesarias consideradas en este Trabajo.

De esta forma, se prevé una reducción importante de los costes asociados al despliegue de ambos servicios por separado.

Dadas las altas prestaciones aportadas por los sistemas NGPON2, superiores a los requerimientos de la tecnología 4G, el estudio estaría orientado a la quinta generación de tecnologías de telefonía móvil 5G, con mayores exigencias de ancho de banda, latencias y calidad de servicio, que podrían satisfacerse con la implantación del nuevo estándar.

Por otro lado, se espera que las futuras versiones del sistema NGPON2 puedan beneficiarse de los avances tecnológicos en otras áreas de aplicación. Con sus capacidades únicas para proporcionar una conectividad de 40 Gb/s en ambos sentidos de comunicación, el sistema NGPON2 se encuentra bien posicionado para admitir nuevas oportunidades en futuras redes de acceso, e incluso podría adentrarse en otro tipo de negocios y aplicaciones.

## 6. Glosario

AF: *Adaptation Function*

AON: *Active Optical Network*

APC: *Angled Physical Contact*

APD: *Avalanche Photodiode*

ATM: *Asynchronous Transfer Mode*

AWG: *Arrayed Waveguide Gratings*

BER: *Bit Error Rate*

CAPEX: *Capital Expenditures*

CE: *Coexistence Element*

CG: *Channel Group*

CO: *Central Office*

CPRI: *Common Public Radio Interface*

CS: *Channel Spacing*

CT: *Channel Termination*

DML: *Directly Modulated Laser*

EML: *Externally Modulated Laser*

FEC: *Forward Error Correction*

FSAN: *Full Service Access Network*

FTTB: *Fiber to the Building*

FTTC: *Fiber to the Curb*

FTTCab: *Fiber to the Cabinet*

FTTH: *Fiber To The Home*

FWM: *Four Wave Mixing*

HFC: *Hybrid Fiber Coaxial*

IEEE: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*

IPTV: *Internet Protocol Television*

ITU-T: *International Telecommunication Union*

NE: *Network Element*

NGA: *Next Generation Access*

NGN: *Next Generation Network*

NGPON: *Next Generation Passive Optical Network*

OAN: *Optical Access Network*

ODN: *Optical Distribution Network*

ODS: *Optical Distribution Segment*

OLT: *Optical Line Terminal*

ONT: *Optical Network Termination*

ONU: *Optical Network Unit*

OPEX: *Operating Expenditures*

OPL: *Optical Path Loss*

OPP: *Optical Path Penalties*

PON: *Passive Optical Network*

POTS: *Plain Old Telephone Service*

PSTN: *Public Switched Telephone Network*

PtM: *Point to Multipoint*

PtP: *Point to Point*

QoS: *Quality of Service*

RE: *Reach Extenders*

SFP+: *Small Form Factor Pluggable Plus*

SMF: *Single Mode Fibre*

SNI: *Service Node Interface*

TDM: *Time Division Multiplexing*

TDMA: *Time Division Multiple Access*

TFF: *Thin Film Filters*

TWDM: *Time and wavelength division multiplexing*

UNI: *User Network Interface*

UPC: *Ultra Physical Contact*

VoIP: *Voice over IP*

WBF: *Wavelength Blocking Filter*

WDM: *Wavelength Division Multiplexing*

WM: *Wavelength Multiplexer*

WR ODN: *Wavelength Routed ODN*

WS ODN: *Wavelength Selected ODN*

## 7. Bibliografía

[1] Nuevos estándares PON para sistemas FTTx

URL: <https://www.redeweb.com/articulos/componentes/nuevos-estandares-pon-para-sistemas-fttx/>.

Fecha de consulta: 10/2017

[2] Tendencias, los futuros servicios en redes PON, Nelson Saito

URL: <http://portal.furukawatam.com/archivos/0/servicios-en-redes-pon.pdf>

Fecha de consulta: 10/2017

[3] Autores: André Girard. Título: FTTx PON Technology and Testing, a detailed review of system performances, issues and testing solutions. Compañía: EXFO (Electro-Optical Engineering Inc). Ciudad: Quebec (Canadá). Año: 2005

[4] Estudios de viabilidad

URL:

<https://revistaselectronicas.ujaen.es/index.php/pruebas/article/download/2/3>

Fecha de consulta: 10/2017

[5] Elementos claves en el estudio económico de un proyecto

URL: <https://www.obs-edu.com/es/blog-project-management/etapas-de-un-proyecto/elementos-claves-en-el-estudio-economico-de-un-proyecto>

Fecha de consulta: 10/2017

[6] Diferencias entre cables de fibra óptica monomodo y multimodo

URL: <https://beyondtech.us/blogs/beyondtech-en-espanol/diferencias-entre-cables-de-fibra-optica-monomodo-y-multimodo>

Fecha de consulta: 10/2017

[7] ¿Qué cable de fibra óptica es el óptimo para mi instalación?

URL: <https://www.fibraopticahoy.com/que-cable-de-fibra-optica-es-el-optimo-para-mi-instalacion/>

Fecha de consulta: 10/2017

[8] Tipos de Cables de Fibra Óptica

URL: <http://informatica.ep-electropc.com/2016/06/tipos-de-fibras-opticas.html>

Fecha de consulta: 10/2017

[9] Fiber to the x

URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber\\_to\\_the\\_x](https://en.wikipedia.org/wiki/Fiber_to_the_x)

Fecha de consulta: 10/2017

[10] Redes FTTH, tecnología PON y AON.

URL: <https://es.slideshare.net/Eliot007/redes-ftth-tecnologia-pon-y-aon>

Fecha de consulta: 10/2017

[11] Red óptica pasiva

URL: [https://es.wikipedia.org/wiki/Red\\_%C3%B3ptica\\_pasiva](https://es.wikipedia.org/wiki/Red_%C3%B3ptica_pasiva)

Fecha de consulta: 10/2017



- [12] GPON: Introducción y Conceptos Generales, Telnet.  
URL: <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [13] GPON (Gigabit Passive Optical Network)  
URL: <http://www.ramonmillan.com/tutoriales/gpon.php>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [14] OLT, ONT, ODN y ONU  
URL: <https://prezi.com/pjk8zvky8jd2/olt-ont-odn-y-onu/>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [15] FTTx.  
URL: <https://www.americantechsupply.com/fibertothehome.htm>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [16] Comparativa GPON vs EPON  
URL: <http://blogtelecomunicaciones.ramonmillan.com/2008/12/comparativa-gpon-vs-epon.html>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [17] Next-Generation PON Evolution, HUAWEI.  
URL: [http://www.huawei.com/ilink/en/download/HW\\_077443](http://www.huawei.com/ilink/en/download/HW_077443)  
Fecha de consulta: 10/2017
- [18] Orange pone en funcionamiento la nueva generación de fibra óptica  
URL: <http://blog.orange.es/adsl-fibra/orange-pone-en-funcionamiento-la-nueva-generacion-de-fibra-optica/>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [19] NG-PON (Next Generation Passive Optical Networks)  
URL: <https://www.ramonmillan.com/tutoriales/ngpon.php>  
Fecha de consulta: 10/2017
- [20] Recommendation ITU-T G.984.1. Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. 03/2008
- [21] Recommendation ITU-T G.984.2. Amendment 1. Gigabit-capable Passive Optical Networks (GPON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. 02/2006
- [22] Recommendation ITU-T G.984.5. Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Enhancement band. 05/2014
- [23] Fundamentos de GPON, HUAWEI  
URL: <https://es.slideshare.net/quereimba/gpon-fundamentos>  
Fecha de consulta: 11/2017

- [24] Fundamentos G-PON  
URL: <http://saavedrairala.blogspot.com.es/2012/05/fundamentos-g-pon.html>  
Fecha de consulta: 11/2017
- [25] GPON  
URL: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPON>  
Fecha de consulta: 11/2017
- [26] Recommendation ITU-T G.987.1. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements. 03/2016
- [27] Recommendation ITU-T G.987.2. 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. 02/2016
- [28] Recommendation ITU-T G.987. 10-Gigabit-capable passive optical network (XG-PON) systems: Definitions, abbreviations and acronyms. 06/2012
- [29] Recommendation ITU-T G.989.2. 40-Gigabit-capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. 12/2014
- [30] Recommendation ITU-T G.989.1. 40-Gigabit-capable passive optical networks (NG-PON2): General requirements. 03/2013
- [31] Autores: Jun Shan Wey, Derek Nettet, Maurizio Valvo, Klaus Grobe, Hal Roberts, Yuanqiu Luo, and Joe Smith. Título: Physical Layer Aspects of NG-PON2 Standards-Part 1: Optical Link Design. Nombre de la revista: Journal of Optical Communications and Networking. Número de Página inicial y final: 33 y 42. Número de la revista: 1. Volumen: 8. Año: 2016
- [32] Autores: Yuanqiu Luo, Hal Roberts, Klaus Grobe, Maurizio Valvo, Derek Nettet, Kota Asaka, Harald Rohde, Joe Smith, Jun Shan Wey, and Frank Effenberger. Título: Physical Layer Aspects of NG-PON2 Standards-Part 2: System Design and Technology Feasibility. Nombre de la revista: Journal of Optical Communications and Networking. Número de Página inicial y final: 43 y 52. Número de la revista: 1. Volumen: 8. Año: 2016
- [33] PON manufacturer interoperability topics: how to survive?  
URL: <https://www.fiberoptictel.com/pon-manufacturer-interoperability-topics-how-to-survive/>  
Fecha de consulta: 12/2017
- [34] Modelos ONU GPON comerciales  
URL: <https://wifi.tienda/101-gpon-ont-onu?orderby=price&orderway=asc>  
Fecha de consulta: 12/2017
- [35] Modelos OLT GPON comerciales  
URL: <https://wifi.tienda/100-gpon-olt?orderby=price&orderway=asc>  
Fecha de consulta: 12/2017

[36] Modelos AWG comerciales

URL: <http://www.acronymeo.com/awg.html>

Fecha de consulta: 12/2017

[37] Ficha de producto WaveAccess 4022

URL: [https://wifi.tienda/pdfs/WiFiTienda\\_GPON\\_WaveAccess\\_4022\\_ES.pdf](https://wifi.tienda/pdfs/WiFiTienda_GPON_WaveAccess_4022_ES.pdf)

Fecha de consulta: 12/2017

[38] Ficha de producto SmartOLT 460

URL: [https://wifi.tienda/pdfs/telnet/Hdp\\_EQ\\_GPON\\_SmartOLT\\_460\\_ES.pdf](https://wifi.tienda/pdfs/telnet/Hdp_EQ_GPON_SmartOLT_460_ES.pdf)

Fecha de consulta: 12/2017

[39] Autores: David F. Welch, Fred A. Kish, Serge Melle, Radhakrishnan Nagarajan, Masaki Kato, Charles H. Joyner. Título: Large-Scale InP Photonic Integrated Circuits: Enabling Efficient Scaling of Optical Transport Networks. Nombre de la revista: IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics. Número de Página inicial y final: 22 y 31. Número de la revista: 1. Volumen: 13. Año: 2007

[40] Autores: Thomas Pfeiffer. Título: Next Generation Mobile Fronthaul and Midhaul Architectures. Nombre de la revista: Journal of Optical Communications and Networking. Número de Página inicial y final: 38 y 45. Número de la revista: 11. Volumen: 7. Año: 2015

## 8. Anexos

### 8.1 Modelos ONU GPON comerciales



#### SFP GPON ONU

SFP GPON ONU TX 1.244Gbps, RX 2.488Gbps

¡DISPONIBLE!

**65,50 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



#### WaveAccess 511

ONT GPON 1xGbE

¡DISPONIBLE!

**132,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



#### WaveAccess 512

ONT GPON 1xGbE formato Carril DIN

¡DISPONIBLE!

**140,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



#### WaveAccess 4022

ONT GPON 4xGbE, 2 POTS, WiFi 802.11n

¡DISPONIBLE!

**160,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



#### WaveAccess 4032

ONT GPON 4xGbE, 2 POTS, WiFi 802.11n y RF

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**172,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### WaveAccess 4522

ONT GPON 4xGbE, 2 POTS, WiFi 802.11b/g/n y ac

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**203,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### WaveAccess 4532

ONT GPON 4xGbE, 2 POTS, WiFi 802.11b/g/n y ac + RF

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**285,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### WaveAccess 101

GPON ONU en formato SFP.

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**345,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO

## 8.2 Modelos OLT GPON comerciales



### SFP OLT B+

SFP OLT B+ TX 2.5Gbps/1490nm, RX 1.25Gbps/1310nm

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**175,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### SFP OLT C+

SFP OLT C+ TX 2.5Gbps/1490nm, RX 1.25Gbps/1310nm

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**200,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### SmartOLT 240

Equipo de cabecera para redes GPON, 4xSFP, 4xGbE, 1xFastEthernet, 1xUSB

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**2 280,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### SmartOLT 350

Módulo 19", 1U, 4xSFP, 1xSFP+, 4xGbE, 2xFA

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**4 270,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO



### SmartOLT 460

Módulo 19", 1U y 12 puertos PON. Ideal para despliegue FTTH en poblaciones de densidad media, operadores, hoteles, resorts, urbanizaciones y oficinas

PRODUCTO BAJO DEMANDA

**5 333,00 €** (IVA no incluido)

 AÑADIR AL CARRITO

## 8.3 Modelos AWG comerciales

### Lightwave AWG 40 Channel 100GHz DMUX C-Band



Lightwave C-Band AWG 40 Channel 100GHz DMUX

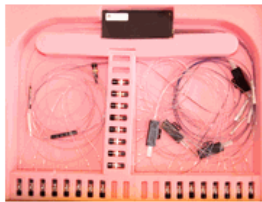
Item# LMC-AWGD

\$1,450.00

Select:

[Add to cart](#)

### Intel (AWG40)100GHz, 40 Channel Mux/Demux , FC/PC Connector



Intel (AWG40) 100GHz, 40 Channel Mux/Demux , FC/PC Connector

Item# AWG40

\$1,450.00

[Add to cart](#)

### Avanex 20 Channel 100GHz Mux/DeMux (1525-1565nm).



Avanex 20 Channel 100GHz Mux/DeMux (1525-1565nm)

Item# PFM3030XCLU01P6

\$1,250.00

[Add to cart](#)

### Hitachi 20ch. 100GHz WDM MUX/DMUX (195.900 ~ 194.000 THz) & (193.900 ~ 192.000THz).



Hitachi 20ch. 100GHz WDM MUX/DMUX (195.900 ~ 194.000 THz) & (193.900 ~ 192.000THz).

Item# R1-OMD100C

\$1,250.00

Select:

[Add to cart](#)

### Bookhanm 32 Ch. V-Mux (w/Attenuator) BKM-55002-14-LC.



Bookhanm 32 Ch. V-Mux (w/Attenuator) BKM-55002-14-LC

Item# bkm

\$1,450.00

[Add to cart](#)

### JDSU C band AWG Waveguide 32 Ch.100GHz DWDM Mux/Demux. SC/PC.



JDSU C band AWG Waveguide 32 Ch.100GHz DWDM Mux/Demux

Item# MA1X32BA

\$1,450.00

[Add to cart](#)

**DMUX 16 Channel 100GHz AWG (1531.90~1543.73nm) & (1548.51 ~ 1560.61nm)**



**DMUX 16 Channel 100GHz AWG (1531.90~1543.73nm) & (1548.51 ~ 1560.61nm)**

Item# DMUX

**\$695.00**

Select:

[Add to cart](#)

**VMUX 16 Channel 100GHz AWG (1531.90~1543.73nm) or (1548.51 ~ 1560.61nm) w/PD**



**VMUX 16 Channel 100GHz AWG (1531.90~1543.73nm) or (1548.51 ~ 1560.61nm) w/PD**

Item# VMUX

**\$795.00**

Select:

[Add to cart](#)

**JDSU (NEL) 50G, 40 Channel Demux , LC Connector, (AWG0440FHM-LCSMF).**



**JDSU (NEL) 50G, 40 Channel Demux , LC Connector (AWG0440FHM-LCSMF)**

Item# demux50

**\$1,450.00**

[Add to cart](#)

**100GHz, 16 Channel AWG Multi/Demultiplexer Module**



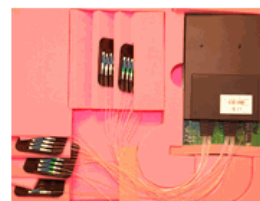
**100GHz, 16 Channel AWG Multi/Demultiplexer Module (1548.51 ~ 1560.61nm)**

Item# A10016GHMLS

**\$895.00**

[Add to cart](#)

**NEL R3-DMUX100XL-A 100GHz, 32 Channel DeMux.**



**NEL R3-DMUX100XL-A 100GHz, 32 Channel DeMux**

Item# R3-DMUX100XL

**\$1,450.00**

[Add to cart](#)



## 8.4 Ficha de producto WaveAccess 4022



Hacemos posible la  
Sociedad de la Información

### WaveAccess 4022

4x1GbE + 2xPOTS + WiFi 802.11b/g/n



WaveAccess 4022

#### Características

Terminal de red óptica (ONU) diseñado para su uso residencial y pequeñas empresas. Cumple con el ITU-T G.984 e integra funcionalidades de Gateway residencial, para proveer servicios de triple play y WiFi para acceso a red.

##### Tasa de datos

Maximiza las posibilidades de la red GPON permitiendo tasas de transferencia de 2.488 Gbps (Downstream) y 1.244 Gbps (Upstream)

KEY FEATURE

##### Interoperable

Compatible con las OLT GPON de los principales fabricantes del mercado\*

##### Ópticas clase B+

Para transmitir y recibir potencia óptica de acuerdo con la ITU-T G.984.2.

##### ITU-T G.984 - OMCI

La implementación de la pila OMCI sigue la guía de implementación del estándar

KEY FEATURE

##### WiFi

La conmutación entre WiFi y LAN/WAN se realiza a nivel HW, permitiendo la tasa máxima de routing/bridging. Además, soporta 802.11 b/g/n para ofrecer gran velocidad y alcance.

##### Descifrado AES y codificación FEC

Compatible con descifrado AES-128 y codificación FEC, soportado tanto en ascendente como en descendente

##### Filtrado IPTV

Tiene capacidad de filtrado por dirección multicast de destino, lo cual permite ofrecer distintos paquetes de televisión IPTV para cada cliente incluso estando en la misma red PON

KEY FEATURE

##### Parámetros de fábrica configurables

El WaveAccess 4022 permite al operador realizar configuraciones "de fábrica" de manera que cuando el usuario aprieta el botón Reset, el equipo vuelve a dicha configuración, reduciendo así los costes operativos por incidencias

#### Familia TELNET WaveAccess

La familia WaveAccess de TELNET es una gama de terminales de red óptica basada en la tecnología GPON FTTH (Gigabit Passive Optical Network).

Este conjunto de ONUs ofrece una gran variedad de modelos con el fin de cumplir las necesidades del despliegue GPON, ofreciendo ONUs de nivel 2 y 3, en formato SFP, con puertos Gigabit Ethernet, WiFi, router integrado, puertos POTS.

Esta variedad de ONUs permite al operador disponer del equipamiento adecuado para las de distintas arquitecturas de acceso como Fibra hasta el hogar (FTTH), Fibra hasta el edificio (FTTB) o Fibra hasta la Oficina (FTTD), así como para distintos entornos como el residencial, industrial u oficinas.

Las ONUs de TELNET implementan la pila OMCI y soportan el etiquetado VLAN (802.1p y Q-in-Q), lo cual las hacen capaces de soportar los servicios definidos en el informe técnico Broadband Forum TR-156.

Todas las ONUs de la familia WaveAccess son 100% compatibles con la SmartOLT de TELNET, y su sistema de gestión web, el TGMS (TELNET GPON Management System). Mediante el TGMS, el operador puede configurar ofertas triple play en cuestión de minutos, y gestionar el parque de SmartOLTs y ONUs desplegados, todo ello desde un único interfaz web, y de manera sencilla e intuitiva.

## Especificaciones técnicas

### Características generales

2.5G en downstream y 1.25G en upstream  
 4x10/100/1000 Base-T Ethernet  
 2xPOTS interfaz telefónica para el servicio de VoIP  
 WiFi 802.11b/g/n  
 Interoperable con las OLTs de los principales fabricantes\*

### GPON

Diseñado siguiendo la especificación ITU-T G.984.x y G.988  
 Cumple con Broadband Forum TR-156  
 Activación con descubrimiento automático de SN y contraseña en conformidad con la recomendación ITU-T G.984.3  
 Cifrado AES-128 con generación de claves y conmutación  
 FEC (Forward Error Correction) bidireccional  
 Autodetección de Rogue ONU

### Interfaz óptico

Conector SC/APC  
 2,488 Gbps Downstream / 1.244G bps de ancho de banda  
 Ópticas clase B + (28dB de presupuesto de pérdida óptica)  
 Longitudes de onda: US 1310nm, DS 1490nm

### Interfaz Ethernet

4 x 10/100/1000 Base-T interfaz para conectores RJ-45  
 Etiquetado/intercambio VLAN por puerto Ethernet  
 VLAN stacking (Q-in-Q), traducción y filtrado VLAN  
 Marcado de tráfico usando 802.1p  
 IGMP Snooping, soporte para IGMP v1/v2/v3  
 Filtrado de video multicast basado en dirección multicast destino

### Interfaz POTS

2xconector RJ-11  
 Soporta múltiples codecs: G.711ALaw, G.711µLaw, G.729a, G.722

### Router

Funcionalidad de cliente PPPoE  
 Funcionalidad NAT/NATP  
 Servidor/cliente DHCP para asignación dinámica de direcciones IP

### WLAN

WiFi IEEE 802.11 b/g/n  
 Banda de frecuencias 2.4GHz, con 13 canales  
 Seguridad WEP, WPA y WPA2. Autenticación WPS  
 Conmutación WiFi-LAN/WAN wirespeed

### Instalación

Dimensiones  
 217mmx167mmx39mm  
 Peso: <1Kg

Fuente de alimentación:  
 Entrada: 100-240V AC 50/60Hz  
 Salida: 12VDC / 1.5A

Rango de funcionamiento  
 Temperatura: 0 ~ 55° Celsius  
 Humedad: 10 ~ 90% de humedad relativa

### Información para pedido

Nombre: WaveAccess 4022  
 Referencia: 400040212



\*Contacte para más información sobre modelos de OLT que soporta interoperabilidad

### Información de Contacto

TELNET Redes Inteligentes  
 Oficinas Centrales  
 Polígono Industrial Centrovía  
 c/ Buenos Aires, 18  
 50198 La Muela, Zaragoza  
 España  
 Teléfono: (+34) 976 14 18 00  
 Fax: (+34) 976 14 18 10  
 telnet@telnet-ri.es

Oficina Comercial en Madrid  
 Avda. Menéndez Pelayo, 85 - 1º A  
 28007 Madrid  
 España  
 Teléfono: (+34) 91 434 39 92  
 Fax: (+34) 91 434 40 84

Filial en Portugal  
 NETIBERTEL  
 Av. Fontes Pereira de Melo, 35 - 14ºD  
 1050-118 Lisboa  
 Portugal  
 comercial\_pt@telnet-ri.es

## 8.5 Ficha de producto SmartOLT 460



# SmartOLT 460

Características generales
Equipo de cabecera para redes GPON
Hasta 768 usuarios a través de sus 12 puertos PON
Gestión intuitiva a través del interfaz web del TGMS
Interfaz de transporte: 2x puertos de 10G
Reducción de los costes por puerto GPON
Reducción de la barrera de entrada de inversión en un sistema GPON
OLT de dimensiones reducidas (1UA)

Características Ethernet/GPON
Totalmente compatible con ITU-T G984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4 y G.988
Gestión remota de ONUs via OMCI
Algoritmo adaptativo DBA orientado a QoS
Capacidad de reservar ancho de banda garantizado y ancho de limitar el "best effort" por servicio y usuario, en ambas direcciones con granularidad de 64 Kbps
802.1ad, 802.1Q, 802.1p para soportar diferentes escenarios de VLAN según recomendaciones de BBF para TR-156
QoS
IGMP Snooping y Querier
Filtrado Multicast (256 direcciones IP multicast por PON)
Codificación FEC en ambas direcciones
Cifrado AES 128-bit

Interfaces
12x puertos SFP GPON: hasta 768 ONUs conectadas a la OLT
2x puertos SFP+ 10G de transporte
1x puerto de gestión FastEthernet
1x USB interfaz de consola
Ópticos OLT B+ y C+ disponibles

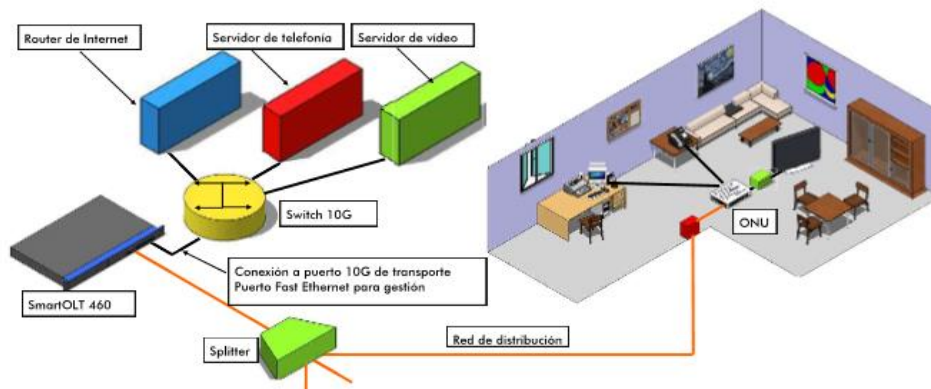


SmartOLT 460

Referencia de artículo
Nombre: SmartOLT 460
Referencia: 400040253 (220V AC)

TELNET GPON Management System
Acceso y gestión vía web a todas las OLTs y ONUs del operador
Interfaz intuitiva para reducir el tiempo de configuración
Gestión de perfiles de usuario
Detección automática de las nuevas ONU conectadas para un aprovisionamiento más sencillo por parte del operador
Orientado para poder configurar diferentes paquetes de IPTV por usuario
Fácil configuración de los parámetros SIP de la ONU
Reconfiguración automática de la ONU cuando su perfil cambia

Características técnicas
Dimensiones: 1UA x 19"
Fuente de alimentación redundante, opciones diferentes: <ul style="list-style-type: none"> <li>Fuente de alimentación universal: 2 x 110-220V AC, 50-60Hz con CEE 7/7 conector de forma predeterminada</li> <li>Disponible: -48V DC</li> </ul>
Consumo máximo: 90W



© TELNET Redes Inteligentes S.A  
www.telnet-ri.es

### Inversión escalonada según necesidades

La SmartOLT 460 de TELNET Redes Inteligentes es un equipo pensado para aquellos operadores que desean poner en marcha una red FTTH GPON armonizando los costes de despliegue con el alta de abonados. En cualquier despliegue FTTH es clave la inversión inicial requerida para dar servicio a los primeros abonados, el operador realiza importantes desembolsos en equipamiento cuando el volumen de clientes es aún reducido.

### Gestión avanzada de tráfico Ethernet

La SmartOLT 460 de TELNET incluye todas las funcionalidades esenciales para realizar el tratamiento a nivel Ethernet del tráfico procedente/destinado a los usuarios. De manera nativa y sin costes adicionales, la SmartOLT 460 soporta en todos sus puertos funcionalidades 802.1p (Clase de servicio), 802.1Q (VLAN), 802.1ad (QinQ VLAN) e IGMP v3 (Multicast de video).

### Limitación de ancho de banda y servicios IPTV

La solución TELNET para GPON proporciona anchos de banda garantizados y políticas de *best effort* tanto en bajada como en subida, y da la flexibilidad de definirlos de manera independiente por servicio y por usuario.

Las ONUs de la familia WaveAccess de TELNET son también capaces de filtrar tráfico en base a la dirección IP multicast. Esto permite al operador ofrecer distintos paquetes de canales por usuario sin necesidad de invertir en sistemas de encriptación caros y complejos.

### OLT de dimensiones reducidas

Con sus 12 puertos PON (hasta 768 ONUs) está pensada para despliegues de densidad media como poblaciones pequeñas, urbanizaciones, complejos hoteleros (FTTR, o Fiber To The Room), empresas, etc.

La SmartOLT 460 es totalmente compatible con los modelos 350 y 240, permitiendo así su coexistencia en la red y facilitando la escalabilidad de la misma mediante una inversión escalonada.

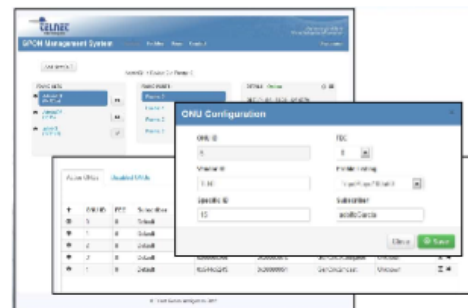
### TGMS: arquitectura de gestión centralizada

TELNET GPON Management System busca abstraer al operador de las complejidades del protocolo OMCI permitiendo una gestión y una configuración fácil e intuitiva mediante su interfaz gráfica.

TGMS permite gestionar de manera unificada decenas de Smart-OLTs como si se tratase de un único sistema, creando perfiles de ONUs con los servicios correspondientes a cada oferta que tenga el operador en cartera: telefonía, video, datos, double-play o triple-play, permitiendo posteriormente asignar a la ONU de un abonado el paquete de servicios contratado de forma rápida e intuitiva.

Este sistema de gestión está especialmente orientado a la usabilidad y a la facilidad de la gestión de los abonados, siendo muy sencilla la creación de perfiles y el descubrimiento de nuevas ONUs de abonados a las cuales asignarles estos perfiles para comenzar a darles servicio de una forma fácil y rápida. También ofrece la posibilidad de ver el estado de las ONUs disponibles en cada red PON, así como los servicios que tiene asignados en cada momento.

La gestión centralizada de las OLTs permite al operador incrementar la capacidad de su red con solo añadir una nueva Smart-OLT a su rack y con un solo click exportar perfiles de usuario y ofertas de servicios. Esta arquitectura modular evita un punto singular de fallo ya que cada SmartOLT 460 es independiente en sus necesidades de alimentación, supervisión y tratamiento de tráfico Gigabit Ethernet.



TGMS

### Información de Contacto

#### TELNET Redes Inteligentes

#### Oficinas Centrales

Polígono Industrial Centrovía  
c/ Buenos Aires, 18  
50198 La Muela, Zaragoza  
España  
Teléfono: (+34) 976 14 18 00  
Fax: (+34) 976 14 18 10  
telnet@telnet-ri.es

#### Oficina Comercial en Madrid

Avda. Menéndez Pelayo, 85 - 1º A  
28007 Madrid  
España  
Teléfono: (+34) 91 434 39 92  
Fax: (+34) 91 434 40 84

#### Filial en Portugal

NETIBERTEL  
Av. Fontes Pereira de Melo, 35 - 14ºD  
1050-118 Lisboa  
Portugal  
comercial.pt@telnet-ri.es