

Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada

Carlos Rábano Alarcón

Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación
Área de Comunicaciones Ópticas

Josep María Fábrega Sánchez
Pere Tuset Peiró

Junio 2022



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

FICHA DEL TRABAJO FINAL

Título del trabajo:	<i>Estudio tecno-económico del despliegue del estándar 50G-PON sobre infraestructura óptica heredada</i>
Nombre del autor:	<i>Carlos Rábano Alarcón</i>
Nombre del consultor/a:	<i>Josep María Fábrega Sánchez</i>
Nombre del PRA:	<i>Pere Tuset Peiró</i>
Fecha de entrega (mm/aaaa):	06/2022
Titulación:	<i>Master Universitario en Ingeniería de Telecomunicación</i>
Área del Trabajo Final:	<i>Comunicaciones Ópticas</i>
Idioma del trabajo:	<i>Español</i>
Palabras clave	<i>FTTH, PON, 50G-PON</i>
<p>Resumen del Trabajo (máximo 250 palabras): <i>Con la finalidad, contexto de aplicación, metodología, resultados i conclusiones del trabajo.</i></p>	
<p>El presente Trabajo tiene como objetivo analizar, tanto desde el punto de vista técnico como económico, la viabilidad del despliegue del estándar 50G-PON haciendo uso de la infraestructura óptica actual.</p> <p>La provisión de servicios de banda ancha mediante redes ópticas pasivas es hoy en día un elemento clave y su demanda crece casi de forma exponencial, requiriendo soluciones capaces de cubrir este crecimiento. Organismos como ITU-T, dirigidos al desarrollo de estándares para redes PON, estudian recomendaciones enfocadas a nuevas generaciones PON, siendo 50G-PON una reciente propuesta con un enfoque sucesor de los actuales estándares.</p> <p>Desde el punto de vista técnico, en primer lugar, se analizan las principales características y arquitecturas de los estándares legados GPON y XG-PON, así como del estándar de nueva generación 50G-PON. Una vez conocidas, se analiza la compatibilidad entre ellas, con el fin de plantear escenarios de coexistencia entre los diferentes estándares analizados y proponer una migración suave hacia las tecnologías más novedosas.</p>	

En el apartado económico se evalúan, desde un punto de vista teórico, los costes derivados de adaptar la red óptica actual para soportar el nuevo estándar, analizando un caso con la solución más flexible para permitir la convivencia de los estándares legados junto con 50G-PON. Además, comparamos esta propuesta con la equivalente sin reaprovechar la infraestructura actual, con el fin de validar que la reutilización de la infraestructura óptica ya desplegada permite un importante ahorro en la provisión de los nuevos servicios frente a un nuevo despliegue que parte de cero.

Abstract (in English, 250 words or less):

The objective of this Master Thesis is to analyze, both from a technical and economic point of view, the feasibility of deploying the 50G-PON standard using the current optical infrastructure.

The provision of broadband service through passive optical networks today is a key element and its demand is growing almost exponentially, requiring capable solutions to cover this growth. Organizations such as ITU-T, aimed at developing standards for PON networks, are studying recommendations focused on new PON generations, with 50G-PON being a recent proposal as a successor approach to current standards.

From a technical point of view, chiefly, the main characteristics and architectures of the legacy GPON and XG-PON standards, as well as the new generation 50G-PON standard, are analyzed. Once known, the compatibility between them is also analyzed, in order to propose coexistence scenarios between the different standards and propose a smooth migration towards the most innovative technologies.

In the economic section, the costs derived from adapting the current optical network to support the new standard are evaluated from a theoretical point of view, analyzing a case with the most flexible solution to allow the coexistence of legacy standards together with 50G-PON. In addition, we compare this proposal with the equivalent one without reusing the current infrastructure, in order to validate that the reuse of the already deployed optical infrastructure allows significant savings in the provision of new services compared to a new deployment that starts from scratch.

Índice

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Contexto y justificación del Trabajo	1
1.2. Objetivos del Trabajo.....	3
1.3. Enfoque y método seguido.....	3
1.4. Planificación del Trabajo	4
1.5. Breve resumen de productos obtenidos	5
1.6. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria.....	6
2. ESTADO DEL ARTE	8
2.1. Del Cobre a la Fibra	8
2.2. Organismos Internacionales.....	9
2.3. Tipos de Fibra y Topologías.....	10
2.4. Tecnología FTTH y su Implementación.....	11
3. ESTUDIO TÉCNICO	16
3.1. Elementos comunes y aspectos clave.....	16
3.2. Tecnología GPON	19
3.2.1 Características generales	19
3.2.2 Bitrate	20
3.2.3 Niveles de potencia óptica.....	20
3.2.4 Plan de longitudes de onda	21
3.2.5 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	21
3.3. Tecnología XG-PON.....	22
3.3.1 Características generales	22
3.3.2 Bitrate	23
3.3.3 Niveles de potencia óptica	23
3.3.4 Plan de longitudes de onda	24
3.3.5 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	25
3.3.6 Evolución a XGS-PON.....	26
3.4. Tecnología 50G-PON	26
3.4.1 Características generales	27
3.4.2 Bitrate	28
3.4.3 Niveles de potencia óptica	29
3.4.4 Plan de longitudes de onda	30
3.4.5 Arquitectura de la red de acceso óptico.....	31
3.4.6 Otros factores relevantes en 50G-PON	32
3.5. Migración de estándares legados a 50G-PON	36
3.5.1 Aspectos relevantes en la coexistencia y migración.....	36
3.5.2 Coexistencia previa entre GPON y XGPON	37
3.5.3 Escenarios de coexistencia	39
3.5.4 Escenarios de migración PON planteados	45
3.6. Conclusiones del estudio técnico	48
4. ESTUDIO ECONÓMICO	50
4.1. Escenario planteado.....	51
4.2. Solución propuesta.....	52
4.3. Comparación escenario brownfield vs greenfield	55
4.4. Conclusiones del estudio económico	57
5. CONCLUSIONES.....	58
6. GLOSARIO.....	60
7. BIBLIOGRAFÍA	63
8. ANEXOS	66

Índice de figuras

Figura 1.1. Cisco VNI Global IP Traffic Forecast 2016 – 2021 [1].....	1
Figura 1.2. FSAN standards roadmap 2.0 [2].....	2
Figura 1.3. Diagrama de Gantt propuesto para el Trabajo	5
Figura 2.1. Penetración accesos por tipo de municipio. CNMC [7]	8
Figura 2.2. Comparativa tipos de fibra. Multiplay Telecomunicaciones [12].....	10
Figura 2.3. FTTH Handbook, Ed. 8, Feb 2018. FTTH Council Europe [13].....	11
Figura 2.4. Fiber to the "X". Viavi Solutions [14].....	12
Figura 2.5. Modos de Implementación AON y PON [16]	12
Figura 2.6. Topología FTTH [18]	14
Figura 2.7. Evolución de los estándares PON [20].....	15
Figura 3.1. Diagrama de bloques de una red PON tipo [21].....	16
Figura 3.2. Canal Ascendente PON [22]	17
Figura 3.3. Canal Descendente PON [22].....	17
Figura 3.4. Plan de longitudes de onda en GPON [25]	21
Figura 3.5. Arquitectura de referencia GPON.....	22
Figura 3.6. Plan de longitudes de onda en XG-PON [26].....	25
Figura 3.7. Arquitectura de referencia XG-PON [26].....	25
Figura 3.8. Plan de longitudes de onda en 50G-PON	30
Figura 3.9. Arquitectura de referencia 50G TDM PON [29].....	31
Figura 3.10. Arquitectura de referencia 50 TWDM PON [29]	31
Figura 3.11. Atenuación y dispersión cromática en fibra monomodo [29].....	33
Figura 3.12. Relación entre potencia óptica y parámetros de pérdidas [29].....	34
Figura 3.13. Coexistencia de XG-PON con GPON mediante WDM1r [26].....	38
Figura 3.14. Coexistencia de XG-PON con GPON mediante splitter [26]	39
Figura 3.15. Plan de longitudes de onda para coexistencia	40
Figura 3.16. Escenarios de coexistencia con a) CEX, b) MPM [29].....	41
Figura 3.17. Coexistencia entre XG-PON y 50G-PON via CEX [29].....	43
Figura 3.18. Coexistencia entre XG-PON y 50G-PON mediante MPM [29].....	44
Figura 3.19. Coexistencia de 3 generaciones empleando WDM puro [29].....	44
Figura 3.20. Coexistencia de 3 generaciones híbrida [29]	45

Índice de Tablas

Tabla 3.1. Niveles de potencia óptica en GPON	20
Tabla 3.2. Rango atenuaciones por clase GPON.....	20
Tabla 3.3. Niveles de potencia óptica en XG-PON [27].....	24
Tabla 3.4. Rango atenuaciones por clase XG-PON [27]	24
Tabla 3.5. Niveles de potencia óptica en 50G-PON, uso de MPM [5].....	29
Tabla 3.6. Rango atenuaciones por clase 50G-PON, uso de MPM [5]	29
Tabla 3.7. Rango atenuaciones por clase 50G-PON, uso de CEX o conexión directa [5].....	30
Tabla 3.8. Comparativa principales parámetros Estándares PON	48
Tabla 4.1. Elementos a incluir y costes [33]	53
Tabla 4.2. Costes compensados	54
Tabla 4.3. Costes Escenario Greenfield.....	56
Tabla 4.4. Comparativa costes.....	56

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Contexto y justificación del Trabajo

La fibra óptica está presente en la mayoría de los hogares desde principios de este siglo, además de formar parte del “core” de las grandes redes de comunicaciones desde hace ya bastantes años.

La información que generamos cada vez es mayor y el tráfico de datos que se cursa por las redes crece de forma casi exponencial, fundamentalmente por el auge de servicios basados en la nube, “Internet of Things” o la generación y reproducción de contenidos audiovisuales de diversa índole. Este hecho, sumado a las velocidades de transmisión o inmediatez que reclaman los consumidores, cada vez mayor en su día a día, hacen que las tecnologías FTTx, fundamentalmente FTTH, deban adaptarse a la demanda actual y futura de forma frecuente.

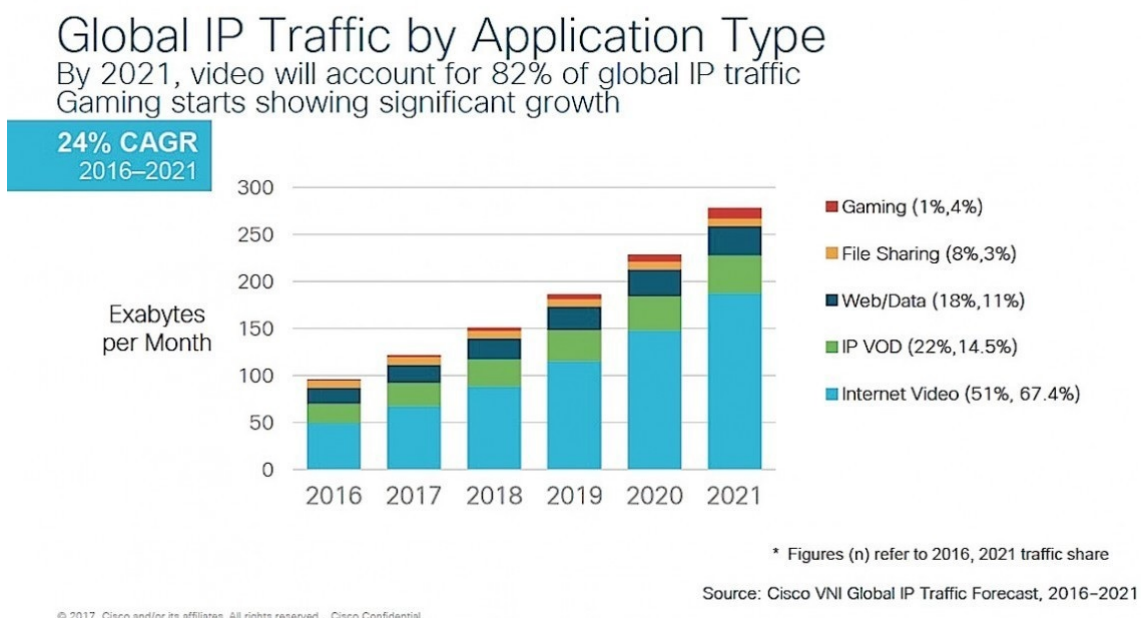


Figura 1.1. Cisco VNI Global IP Traffic Forecast 2016 – 2021 [1]

La tecnología de fibra hasta el hogar, conocida por el acrónimo en inglés FTTH (Fiber To The Home) se basa en el empleo de redes de fibra óptica distribuidas a los abonados para ofrecer servicios avanzados de telecomunicaciones tales como el denominado Triple Play: internet, telefonía y televisión. El despliegue de tecnologías FTTH está ligado al empleo de redes ópticas pasivas, conocidas con el acrónimo en inglés PON (Passive Optical Network). Este tipo de red reduce al máximo los costes de despliegue y explotación al estar formada únicamente por elementos pasivos, fundamentalmente divisores ópticos, para guiar el tráfico por la red. Se trata de una opción más barata que las redes punto a punto, es capaz de ofrecer un mayor ancho de banda al usuario final y permite cubrir mayores distancias desde la central frente a tecnologías anteriores como ADSL. [3]

La mayor parte de sistemas PON desplegados hoy en día son de tipo Gigabit (estándar GPON según ITU-T o GEPON según IEEE). Actualmente, más de 700 millones de usuarios en todo el mundo disfrutan de servicios basados en redes PON y esta cifra continúa creciendo a medida que los operadores actualizan sus redes heredadas basadas en cobre, por fibra óptica. Ante las previsiones de demanda tan crecientes en los últimos años, organizaciones internacionales como ITU-T, FSAN o IEEE apuestan por soluciones que permitan aumentar la capacidad de las redes actuales, definiendo los requisitos asociados a las nuevas generaciones de sistemas basados en redes ópticas pasivas (PON) [4].

FSAN Standards Roadmap 2.0

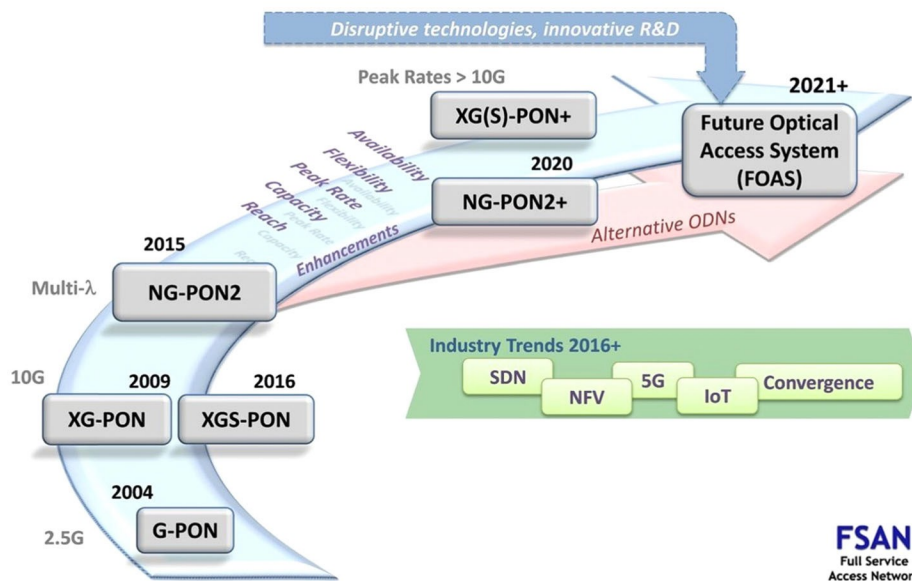


Figura 1.2. FSAN standards roadmap 2.0 [2]

En septiembre de 2021, la ITU-T ha presentado la recomendación G.9804.3 que describe un sistema basado en redes ópticas pasivas con capacidad de 50 Gb/s. Esta recomendación destaca también que 50G-PON tiene el potencial de convertirse en el principal estándar industrial de acceso óptico de próxima generación. Tras completar el desarrollo del estándar XG-PON (10 Gb/s), se inició la investigación técnica de NG-PON, pero su despliegue comercial se ha visto ralentizado debido al alto coste de los componentes ópticos sintonizables y a la falta de madurez del sistema. En comparación a la solución de multiplexación de longitud de onda múltiple, el estándar de nueva generación soportará tanto la subida como la bajada por la misma longitud de onda, proporcionando un ancho de banda 5 veces mayor que 10G PON [5].

Se espera que este estándar de nueva generación se ponga en marcha en 2022 y gradualmente entre a comercializarse hacia 2025 por lo que, hasta entonces, 10G PON continuará siendo la tecnología principal y ambas deberán coexistir en la infraestructura actual.

1.2. Objetivos del Trabajo

El principal objetivo en el que se centra este trabajo es el del análisis del despliegue de un nuevo estándar 50G-PON sobre una infraestructura óptica ya existente y actualmente en explotación, para obtener conclusiones de su viabilidad tanto desde el punto de vista técnico como económico. Este estudio busca principalmente comprender mejor la puesta en marcha de un nuevo estándar que permita un crecimiento en la capacidad actual de las redes de telecomunicaciones basadas en fibra óptica tales como FTTH, logrando además minimizar los costes asociados a la instalación de medios de transporte, infraestructura pasiva, obra civil y mantenimiento.

Puesto que la infraestructura existente se encuentra en explotación, otro objetivo relevante será obtener resultados y conclusiones sobre la viabilidad de la coexistencia de este nuevo estándar con los actuales como paso previo para una migración completa.

1.3. Enfoque y método seguido

El trabajo llevado a cabo se ha planteado desde el punto de vista meramente conceptual motivado por la reciente creación del estándar objeto de estudio. Se ha optado por esta metodología por delante de otras opciones de un corte más práctico, ya que estas últimas no son a fecha de hoy viables al no disponer en el mercado de soluciones consolidadas, bien mediante elementos reales o a través de simulaciones.

Del mismo modo, la parte económica del estudio se ve fundamentada en el planteamiento de un entorno genérico tipo, puesto que no es posible contar con datos puramente reales al tratarse de información de carácter privado y propia de cada proveedor. Además, el desarrollo del estándar 50G-PON es tan novedoso que aún no se recogen dispositivos en el mercado actual para cubrir estas características, por lo que es necesario llevar a cabo un análisis previo de la evolución de costes de los dispositivos FTTH que se emplean en la actualidad, basados en GPON y XG-PON, para poder plantear un entorno lo más realista posible. Los costes de equipamiento para estas tecnologías, actualmente en uso, se han visto sometidos a un ajuste desde el nacimiento de cada estándar hasta hoy día, que nos permiten hacer una estimación de la evolución en los costes asociados a equipamiento para el estándar de nueva generación.

1.4. Planificación del Trabajo

El material necesario para la realización contempla la documentación que actualmente se dispone, asociada al estándar 50G-PON, así como la relativa a estándares previos e infraestructura que los rodea con el fin de poder analizar y verificar la viabilidad del trabajo, tanto desde la parte técnica como desde el punto de vista económico.

Atendiendo a la parte económica, no se requiere presupuesto concreto para su ejecución. Los medios básicos para su ejecución, tales como recursos informáticos/ofimáticos, acceso a la red y a recursos en red así como acceso a revistas y publicaciones, forman parte del equipamiento ya a disposición del alumno y por tanto no es necesario cursar inversiones adicionales.

Puesto que el trabajo no contempla un sistema o arquitectura en sí, no dispondremos de un diagrama de bloques como tal, en su lugar se detallan a continuación las fases en las que se divide el trabajo:

- Una primera fase relativa al estudio en detalle del nuevo estándar 50GPON, así como la tecnología asociada al mismo. Esto nos permitirá entender el papel que juega dicho estándar, las mejoras que introduce respecto a la tecnología actual y que opciones de implementación son posibles, en coexistencia con los sistemas actuales basados en estándares como GPON / NGPON2.
- Una segunda fase que se centra en diseñar la estrategia a seguir para implementar el estándar y poder llevar a cabo la migración. En esta parte, obtenemos conclusiones suficientes para valorar si el despliegue sobre la infraestructura heredada es factible, si la migración es posible llevando a cabo adaptaciones en la infraestructura actual o por el contrario se requieren grandes cambios o incluso no es posible reaprovecharla.
- Abordada la estrategia desde la parte técnica, en una tercera fase, llevamos a cabo un estudio comparativo de aspecto económico. La intención es evaluar la rentabilidad de las adaptaciones que se lleven a cabo sobre la infraestructura actual para lograr la migración al nuevo estándar, comparando las mismas con el escenario en el que es necesaria la creación de una nueva red óptica para tal fin.
- Existe también una cuarta fase más transversal, dedicada a los aspectos de redacción de la memoria y consolidación de los resultados, además de recopilar los datos bibliográficos y glosario. Junto a ello se elabora también una presentación que sirve como versión resumida de la memoria que contiene los aspectos clave de la misma.

En la siguiente figura se recoge el diagrama de Gantt propuesto con la planificación temporal de las tareas y principales hitos de este Trabajo

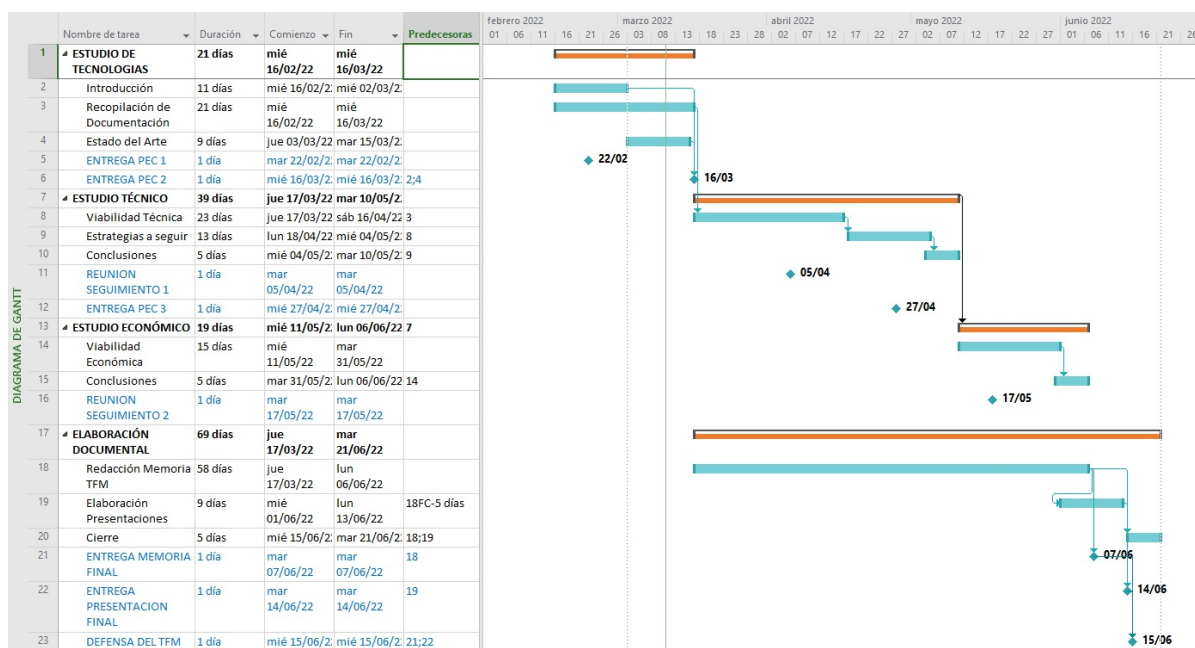


Figura 1.3. Diagrama de Gantt propuesto para el Trabajo

1.5. Breve resumen de productos obtenidos

El producto obtenido estará recogido principalmente en la presente memoria, ya que se trata de un estudio teórico que no contempla obtener medios materiales físicos, si no analizar y obtener conclusiones sobre la viabilidad del despliegue de un estándar de nueva generación.

Estas conclusiones son, en términos generales, positivas en relación al objetivo que se persigue, pues es viable desde el punto de vista técnico la puesta en marcha del estándar 50G-PON reaprovechando la gran mayoría de la infraestructura óptica que hoy en día se emplea. Junto con ello, también es relevante destacar que se obtienen métodos para garantizar la coexistencia de esta nueva tecnología con los estándares legados, como son GPON y XG-PON, requisito de gran relevancia para los principales proveedores de servicios basados en fibra óptica, ya que les permite por una parte reutilizar la práctica totalidad de su infraestructura para lograr poner en marcha un estándar de nueva generación y por otro lado garantizar la continuidad de los servicios para sus clientes, con independencia de los escenarios de coexistencia y migración que se lleguen a plantear.

Desde el punto de vista económico, los resultados son también positivos para el objetivo que se busca, puesto que el hecho de poder reutilizar la gran mayoría de la infraestructura desplegada facilita la contención de costes en términos de despliegue y explotación de los servicios, revertiendo esto también en el cliente final, pudiendo ofrecer cada vez mejores anchos de banda así como ampliando el catálogo de servicios pero ofreciendo unos costes contenidos. Además, los escenarios de coexistencia permiten a los proveedores modular el crecimiento de sus redes FTTH en función de la demanda actual y futura para los diferentes casos de explotación, como núcleos muy poblados frente a zonas rurales o de menor densidad de población.

Por último, cabe destacar que la presente memoria puede servir también como base documental para profundizar en el futuro despliegue de redes de nueva generación, tales como las basadas en el estándar 50G-PON.

1.6. Breve descripción de los otros capítulos de la memoria

Se describen a continuación cada uno de los capítulos de los que consta la presente memoria del Trabajo:

- **Introducción.** Recoge fundamentalmente la motivación por la que se lleva a cabo el presente trabajo. Se plantea el contexto actual, así como una breve recopilación de las tecnologías actuales en uso. Este capítulo recoge también una descripción general de los objetivos del presente trabajo, así como el método planteado y la descripción tanto de la planificación como del resultado obtenido a grandes rasgos.

- **Estado del Arte.** Engloba un breve recorrido por las tecnologías y medios relacionados con el presente trabajo. Nos permite analizar la evolución desde los primeros medios de comunicación ofrecidos al cliente final, basados en el par de cobre, hasta la situación actual. Además, se revisan los principales Organismos en materia de Telecomunicaciones y los estándares desarrollados para servicios basados en comunicaciones ópticas y más concretamente en fibra hasta el hogar.

- **Estudio Técnico.** Describe en primer lugar los aspectos técnicos más relevantes, para posteriormente analizar más a fondo los principales parámetros de los estándares actualmente en uso y el futuro estándar 50G-PON. Posteriormente se estudian los escenarios de coexistencia posibles, así como los casos de migración que pueden abordar los proveedores.

- **Estudio Económico.** Sirve de complemento al anterior capítulo, para analizar desde el punto de vista económico la viabilidad del despliegue de 50G-PON empleando la red actualmente en uso y posibilitando la coexistencia con estándares legados, así como una posterior migración. El análisis de este caso frente a un despliegue convencional partiendo de cero nos permite obtener conclusiones sobre la rentabilidad de cada caso.

- **Conclusiones.** Engloba los análisis y resultados más relevantes obtenidos del desarrollo del presente Trabajo, así como posibles líneas de trabajo futuras.

- **Anexos, Bibliografía y Glosario.** Recogen toda aquella información complementaria para la completa comprensión de los textos recogidos en este documento, así como las referencias bibliográficas empleadas y que pueden ampliar la información aquí recogida.

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Del Cobre a la Fibra

Los servicios de telefonía fija se desarrollaron y desplegaron a nivel mundial hacia finales del siglo XIX, soportados principalmente por líneas metálicas, mayoritariamente de cobre. Al principio se desplegaron redes sencillas, locales o particulares, que crecieron de forma exponencial hasta alcanzar una capilaridad prácticamente total en torno a los años 80 del pasado siglo XX.

Junto con ello, la demanda de servicios de telecomunicaciones no solo creció, si no que pasó a abarcar nuevos servicios cada vez más relevantes, como datos y televisión a través del mismo par de cobre. El crecimiento en la demanda de estos nuevos servicios fue exponencial, apareciendo además nuevos usos que requerían mayores capacidades y velocidades de transmisión en la red desplegada.

Si bien el desarrollo de sistemas de comunicación digitales vía radio (GSM, UMTS y redes 2G, 3G, 4G e incluso 5G actualmente) podrían postularse como una alternativa capaz, hasta la fecha no pueden brindar todas las características de estabilidad, latencia o capacidad que podemos obtener con el uso de fibras de vidrio o polímeros capaces de enviar pulsos de luz que representan los datos que queremos transmitir.

Hoy en día, la fibra óptica es el medio de transmisión por excelencia, capaz de transportar grandes cantidades de datos, con unos costes de fabricación y explotación contenidos y presentando inmunidad a las interferencias electromagnéticas. Su posibilidad de despliegue hasta el consumidor final nos permite brindar múltiples servicios cubriendo las necesidades que se plantean actualmente, a diferencia del par de cobre que presentaba limitaciones tanto de capacidad como de distancia a cubrir. [6]

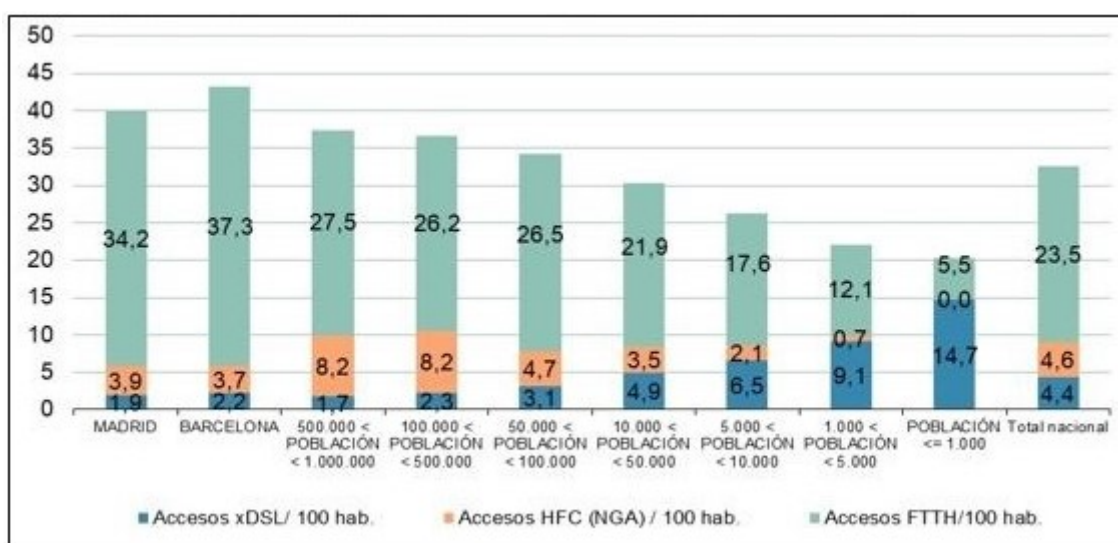


Figura 2.1. Penetración accesos por tipo de municipio. CNMC [7]

Grandes proveedores de estos servicios, como la española Telefónica, ya explotan redes de fibra óptica desplegadas desde sus centrales hasta el propio domicilio de cada usuario particular, lo que se conoce como redes FTTH (Fiber to the Home), reemplazando poco a poco la ya veterana red de cobre.

2.2. Organismos Internacionales

En el entorno de las telecomunicaciones es vital plantear un consenso que permita un desarrollo y evolución de las redes equilibrado y que facilite la coexistencia de diferentes tecnologías, el uso de un lenguaje común en materia de especificaciones y medios de transmisión para posibilitar la compatibilidad, además de facilitar el acceso a estas tecnologías a los usuarios finales.

Por todo esto, existen varios organismos tanto a nivel estatal como europeo y mundial, cuyo trabajo y aportaciones permiten crear sinergias en materia de telecomunicaciones entre los principales proveedores de equipamiento y de servicios logrando la globalización de las redes de telecomunicaciones en estos aspectos.

Aunque existen diversos organismos y entidades, destacamos a continuación los que resultan más relevantes para nuestro caso:

- International Telecommunication Union (ITU). Se trata de un organismo perteneciente a las Naciones Unidas, creado en 1865 para regular las telecomunicaciones a nivel internacional entre las distintas administraciones y operadoras [8]. Dentro de este organismo existen tres sectores
 - ITU-R. Dedicado a las Radiocomunicaciones
 - ITU-D. Dedicado al desarrollo de las Telecomunicaciones
 - ITU-T. Dedicado a las Telecomunicaciones y su Normalización. Este sector es el encargado de presentar una serie de normas denominadas “Recomendaciones” que gozan de un reconocimiento internacional mayor que las publicadas por otras organizaciones técnicas.
- Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). Es la mayor organización profesional técnica del mundo que agrupa a ingenieros, científicos y profesionales de diferentes campos y diferentes países, creada en 1963 con el objetivo de trabajar en la innovación tecnológica en beneficio de la humanidad. Al igual que la ITU, esta organización también trabaja en la normalización y creación de estándares en todo el mundo [9].
- Full Service Access Network (FSAN). Organización formada por proveedores de servicios de telecomunicaciones del mundo, laboratorios de pruebas independientes y proveedores de equipos de trabajo con un objetivo común en relación a las redes de acceso fibra de banda ancha. Su misión es impulsar los estándares existentes en servicios y productos de la industria además de trabajar en especificaciones y normalización.

Existen varios grupos de trabajo activos dentro de FSAN, uno de ellos está enfocado en las redes ópticas pasivas de nueva generación (NG-PON) [10].

2.3. Tipos de Fibra y Topologías

Una fibra óptica es una guía de ondas de estructura cilíndrica, formada por un cilindro interno denominado núcleo, que posee un índice de refracción concreto, rodeado de un revestimiento también cilíndrico que posee otro índice de refracción normalmente menor que el del núcleo. Esta estructura permite guiar la luz por el interior del núcleo, basándose en la propiedad de reflexión total que se produce en la transición entre el núcleo y el revestimiento, siempre que se cumpla que el índice de refracción del núcleo sea mayor que el del revestimiento [11].

Existen principalmente dos tipos de fibra óptica, cuyo empleo depende de las características que ofrece cada una de ellas:

- Fibras monomodo, donde viaja un único haz de luz, de longitud de onda determinada. Proporciona una menor atenuación, lo que permite una velocidad de transmisión superior o poder cubrir mayores distancias. Poseen un núcleo muy reducido por lo que su coste de fabricación es superior.
- Fibras multimodo, donde se propagan distintas longitudes de onda de forma simultánea, con múltiples trayectos o modos. Esto genera una mayor atenuación y distorsión de las señales propagadas, por lo que se logran menores velocidades de transmisión y son útiles en distancias más cortas. Dado que su núcleo es mayor, son más baratas de fabricar.

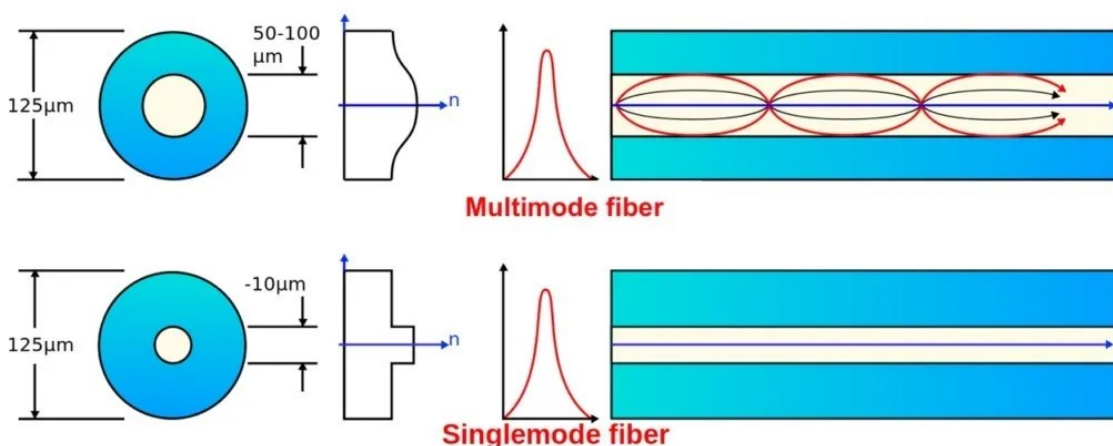


Figura 2.2. Comparativa tipos de fibra. Multiplay Telecomunicaciones [12]

Aunque existen diversas topologías, para el caso que nos ocupa, nos vamos a centrar en destacar dos de ellas:

- Punto a Punto. Cada abonado dispone de una fibra dedicada que lo conecta con la central. Este es el caso de uso para grandes anchos de banda como por ejemplo grandes empresas o interconexión entre proveedores. Los costes de instalación y mantenimiento son apreciables en este caso.
- Punto a Multipunto. Cada fibra que parte de una central puede dar servicio a múltiples abonados mediante multiplexación óptica. Este es el caso de uso principal para múltiples usuarios que requieren anchos de banda medios o moderados. Pese a que todos los datos viajan por la misma fibra, se emplean multiplexado de tramas de datos para lograr que llegue solo la información requerida a cada usuario. Los costes de mantenimiento y explotación se reducen al poder reaprovechar un mismo tendido de fibra para múltiples clientes [11].

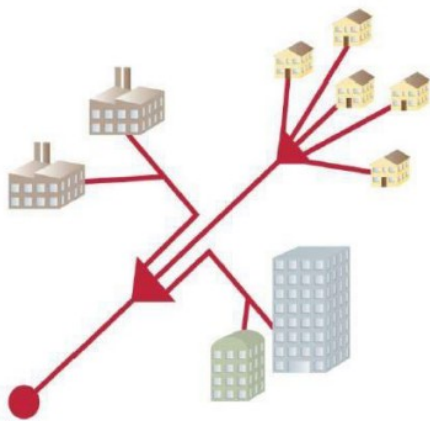


Figure 3: Point to Multi-Point (P2MP)

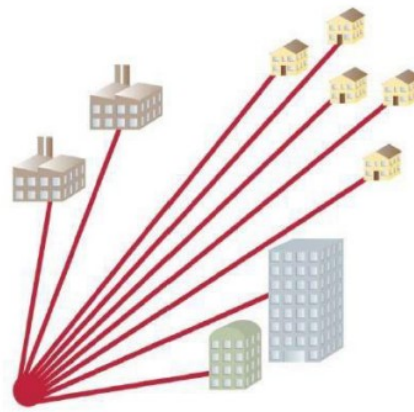


Figure 4: Point to Point (P2P)

2.4. Tecnología FTTH y su Implementación

La expresión “Fiber to the X” es un término genérico que se emplea para describir una amplia variedad de opciones de arquitectura de redes de banda ancha que emplean fibra óptica para algunos o todos los últimos tramos de conectividad.

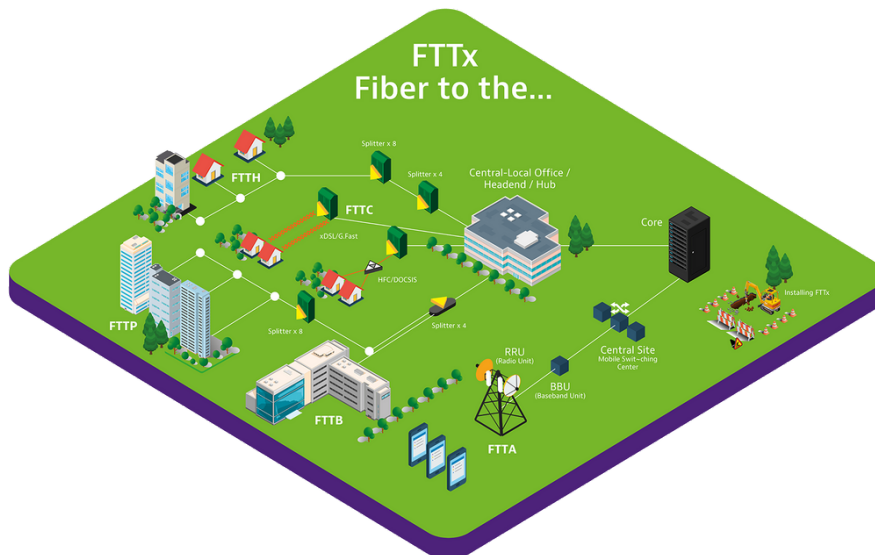
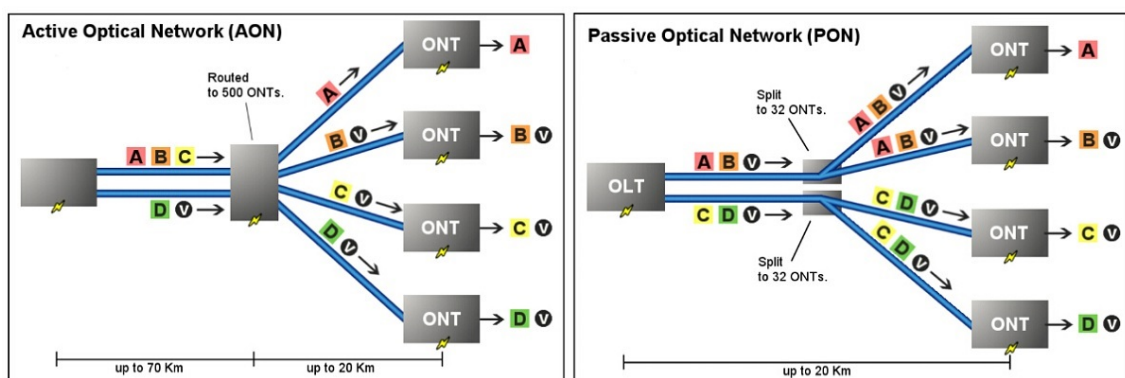


Figura 2.4. Fiber to the "X". Viavi Solutions [14]

La fibra hasta el hogar (FTTH) permite una conexión directa de fibra óptica desde una central hasta la propia caja de conexiones de un domicilio, lo que permite ofrecer el ancho de banda más alto posible a los suscriptores de la vivienda. Dentro de esta tecnología, se proponen dos rutas básicas para implementarla, por un lado las redes ópticas activas (AON) y por otro las redes pasivas (PON).

Una red AON suele estar formada por una estructura de red punto a punto en la que cada suscriptor tiene su propia línea de fibra óptica que termina en un concentrador óptico. Estas redes emplean equipos con alimentación eléctrica para la distribución de señales hacia los usuarios y por la misma fibra conviven dos canales de transmisión a distinta longitud de onda, uno para transmisión y otro para recepción. De esta forma hay una comunicación Full-Dúplex con un ancho de banda totalmente dedicado al usuario. [11] [15]

Las redes PON tienen una estructura de red punto a multipunto en la que se emplean equipos que no requieren alimentación eléctrica. Los elementos fundamentales de estas redes son los divisores ópticos pasivos, encargados de combinar o distribuir múltiples señales ópticas propagadas en la red sin requerir ningún elemento activo para ello. [11] [15].



Key: **A** - Data or voice for a single customer. **V** - Video for multiple customers.

Figura 2.5. Modos de Implementación AON y PON [16]

A la vista de la anterior figura, podemos destacar que en una red AON, un router activo tiene capacidad de enrutar un mayor número de señales con respecto a una red PON. No obstante, en AON disponemos de conexiones punto a punto donde cada fibra está dedicada a un único usuario mientras que en PON se sigue una conexión punto a multipunto donde el mensaje es enviado a múltiples destinatarios que comparten la misma fibra óptica. Es por ello que, empleando PON, se reduce drásticamente el número de fibras ópticas que parten desde la central, así como el equipamiento asociado.

El empleo de redes pasivas facilita la reducción en los costes tanto de inversión inicial en el despliegue, así como los costes de mantenimiento y control de equipamiento intermedio, además de minimizar el consumo de energía por el empleo mayoritario de equipos que no requieren electricidad. Por estos motivos, PON es la red más empleada, dadas sus ventajas frente a AON.

2.5. Redes Ópticas Pasivas (PON)

Una red óptica pasiva (PON, del inglés Optical Passive Network) es una red de fibra óptica que, como comentábamos anteriormente, emplea una topología de punto a multipunto y divisores o combinadores ópticos que no requieren alimentación externa, para transmitir datos de un punto único a varios usuarios finales. Estos splitters ópticos no seleccionan longitudes de onda, simplemente dividen las longitudes de onda en dirección descendente. Esta división implica una pérdida de potencia que dependerá del número de vías en las que se divide una señal [17]. Otros componentes pasivos que encontraremos en nuestra red PON serán los típicos que forman el tendido de fibra óptica, así como conectores y acopladores.

Además de los componentes pasivos, se requieren dispositivos finales activos para completar la red PON. Por un lado, el terminal de línea óptica (OLT) se encuentra en el extremo nodal y su función es la conversión, entramado y transmisión de señales para la red PON, además de coordinar la multiplexación de los terminales de red óptica del extremo contrario (ONTs) para una correcta gestión de la transmisión en sentido ascendente compartida. Este otro dispositivo activo situado en el extremo del usuario es el encargado de ofrecer las interfaces al usuario. Es también posible encontrar este dispositivo nombrado como unidad de red óptica (ONU). Esta terminología depende fundamentalmente de los principales organismos normalizadores. ITU-T emplea el término ONT mientras que IEEE se refiere a este equipo como ONU. Ambos pueden ser intercambiables pero el uso de uno u otro depende del servicio de la red PON y la norma que se aplique [17].

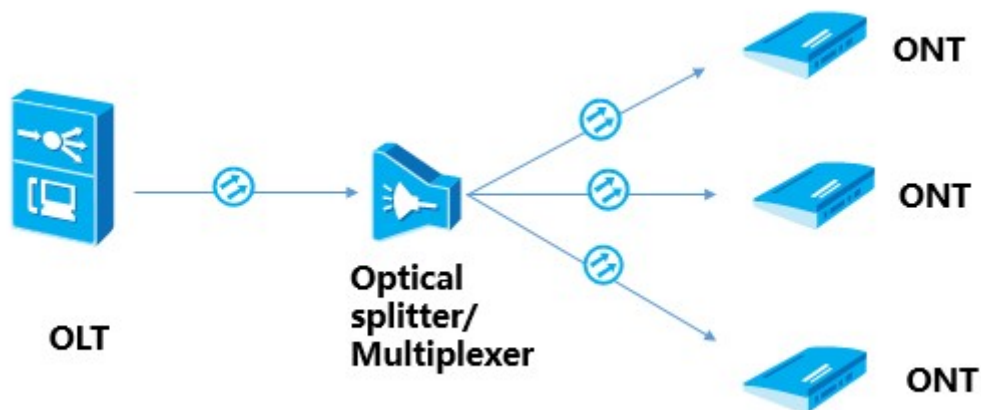


Figura 2.6. Topología FTTH [18]

Respecto a la arquitectura empleada para redes ópticas pasivas, cabe destacar alguna de las recomendaciones definidas a lo largo del tiempo hasta el uso actual, tanto por la ITU-T como IEEE:

- ITU-T G.983.
 - o ATM-PON o APON. Basado en tráfico de ráfagas de celdas ATM (Asynchronous Transfer Mode), fue el primer sistema de banda ancha y tuvo gran éxito, ofreciendo en sus comienzos velocidades de transmisión en torno a 155Mb/s que posteriormente aumentó hasta 622Mb/s [19].
 - o Broadband-PON o BPON. Nació para dar soporte a otros estándares de banda ancha, aunque se basaba principalmente en APON y compartía características como las velocidades de transmisión [19].
- ITU-T G-984
 - o Gigabit Capable PON o GPON. Empleando protocolos basados en IP y presenta mejoras en cuanto a la capacidad para aceptar diferentes tipos de tráfico (como Triple-Play). Velocidades de transmisión de 2,4Gb/s en sentido descendente y 1,2Gb/s e incluso una segunda opción que permitía 2,4Gb/s simétricos [17].
- ITU-T G-987
 - o 10Gigabit Capable PON o XG-PON. Una evolución del anterior para permitir hasta 10Gb/s en sentido descendente y 2,4Gb/s en sentido ascendente, con capacidad para coexistir en la misma fibra con señales GPON, gracias al empleo de diferentes longitudes de onda [17].
- ITU-T G-989.
 - o New Generation PON2 o NG-PON2. Aparece como una ruta de actualización, empleando la multiplexación por longitud de onda con diversas longitudes de onda 10G, tanto en subida como en bajada, para proporcionar un servicio simétrico de 40Gb/s.

Nuevamente, el empleo de diferentes longitudes de onda permite la coexistencia de este estándar con los anteriores GPON y XG-PON [17].

- IEEE 802.3 ah
 - o Ethernet PON o EPON. Diseñado para lograr compatibilidad completa con dispositivos Ethernet. Las redes EPON, basadas en el estándar IEEE 802.3 no requieren encapsulación adicional alguna ni protocolos de conversión para conectarse a las redes basadas en Ethernet. Opera a velocidades de 1,25Gb/s simétricas. Dado que emplean mismas longitudes de onda que las redes GPON, no podrían implementarse ambas en una misma red PON [17].
- IEEE 802.3 av
 - o 10G Ethernet PON o 10G-EPON. Al igual que ocurría con XG-PON, ofrece una mejora con velocidades de 10Gb/s simétricos y permite convivir con redes E-PON al trabajar en distintas longitudes de onda [17].

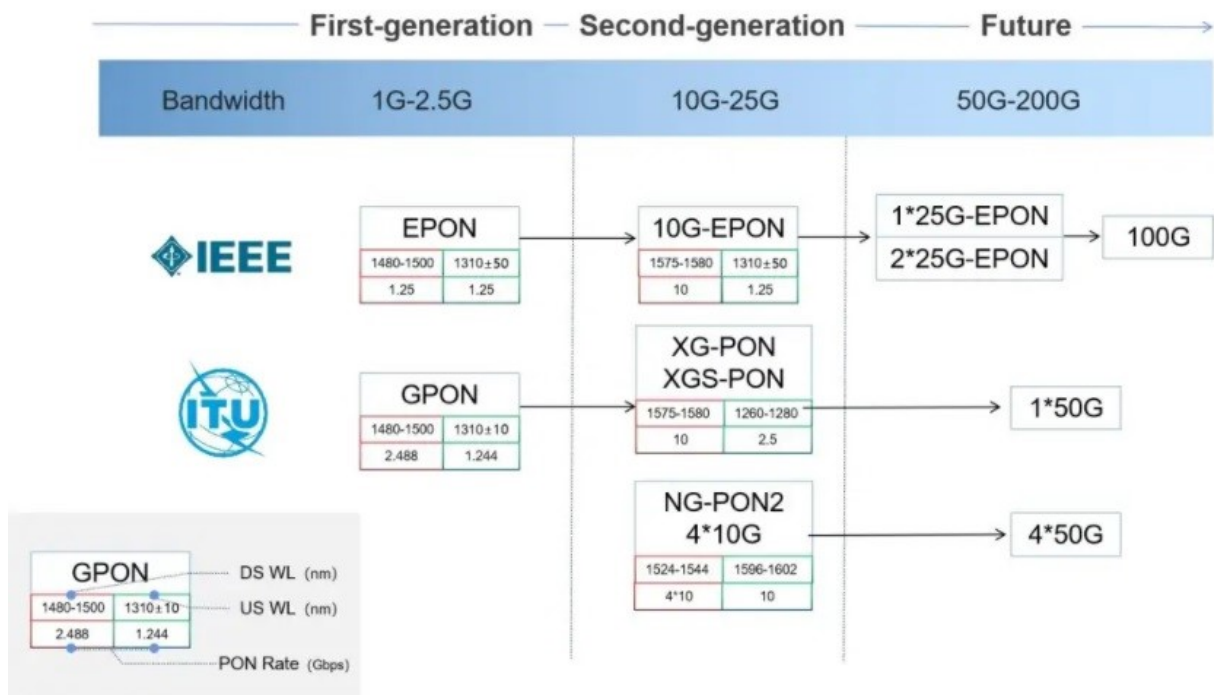


Figura 2.7. Evolución de los estándares PON [20]

3. ESTUDIO TÉCNICO

Este capítulo recoge el estudio de viabilidad, centrado en el aspecto técnico, del despliegue del estándar 50GPON sobre la infraestructura óptica actual. En primer lugar, analizamos los principales aspectos técnicos asociados a cada estándar para poder definir y evaluar diferentes escenarios de coexistencia y optar por la solución óptima de convivencia.

También se analizan los aspectos necesarios para permitir migraciones desde los sistemas legados PON hacia el nuevo estándar, como requisito para validar la completa coexistencia entre los estándares en la misma infraestructura óptica ya desplegada.

3.1. Elementos comunes y aspectos clave

Tal como comentamos anteriormente, la arquitectura de una red PON, en términos generales, estará compuesta en un extremo por el terminal de línea óptica, que denominamos OLT de aquí en adelante, localizado en el extremo nodal o de la centralita que provee los servicios a los clientes. En el otro extremo encontraremos el terminal del cliente que denominamos ONT de aquí en adelante. En una red PON típica, el número de ONTs por cada OLT dependerá de cómo se encuentra distribuida la red. Dicha distribución, formada por divisores ópticos pasivos, entre otros, es la que denominamos red de distribución óptica u ODN.

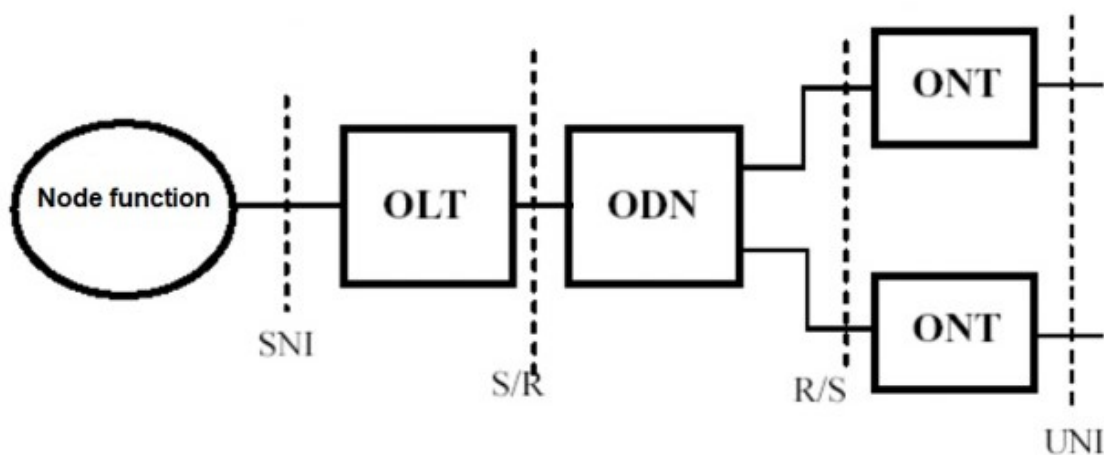


Figura 3.1. Diagrama de bloques de una red PON tipo [21]

En la figura anterior se aprecian dos puntos físicos denominados UNI y SNI. El primero delimita el dominio propio del proveedor del servicio con el dominio propiedad del cliente mientras que el segundo provee el acceso a las funciones del nodo de servicio. Las entidades contempladas entre ambos puntos físicos es lo que denominaremos la red de acceso. Las ODNs de acceso, a diferencia de redes troncales o de agregación, se basan en una arquitectura de fibra única por la que circulan todas las señales. Cabe destacar también dos puntos de referencia entre la ODN, que denominamos de envío (Send) o recepción (Receive) y que coinciden con conectores o empalmes ópticos justo después del punto de conexión óptico tanto para OLT como para ONT.

Atendiendo a los canales de comunicación, una red PON emplea diferentes formas de trabajo para el canal ascendente y el descendente:

- El canal ascendente o upstream es el que contempla el intercambio de información desde el cliente hacia la central. En dicho canal, la red actúa como una red punto a punto donde las ONT envían las tramas hacia la OLT empleando acceso por multiplexación por división en el tiempo (TDMA, time división multiple Access) para poder ser transmitidas. La OLT gestiona los intervalos de tiempo en los que transmitirá cada ONT para evitar colisiones de tramas.

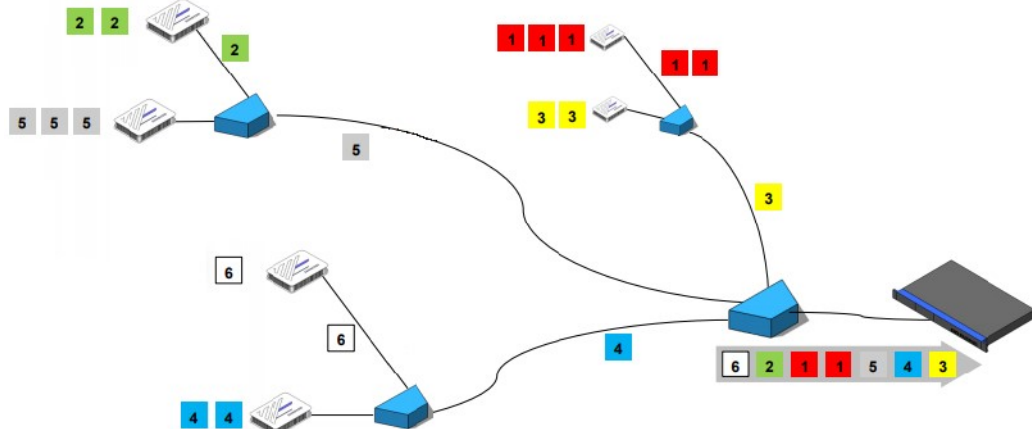


Figura 3.2. Canal Ascendente PON [22]

- El canal descendente o downstream es el definido para el intercambio de información desde la central hacia cada cliente. Aquí la OLT transmite la información a las ONT a través de broadcast, por lo que hablamos de una red punto a multipunto. El contenido que envía la OLT llega hacia el divisor óptico que se encarga de distribuir el contenido hacia todas las ONT sin ningún tipo de discriminación. Son las propias ONT las encargadas de filtrar el contenido deseado. En este proceso se emplea multiplexación por división de tiempo o TDM para lograr enviar la información a múltiples clientes empleando diferentes instantes de tiempo para cada uno.

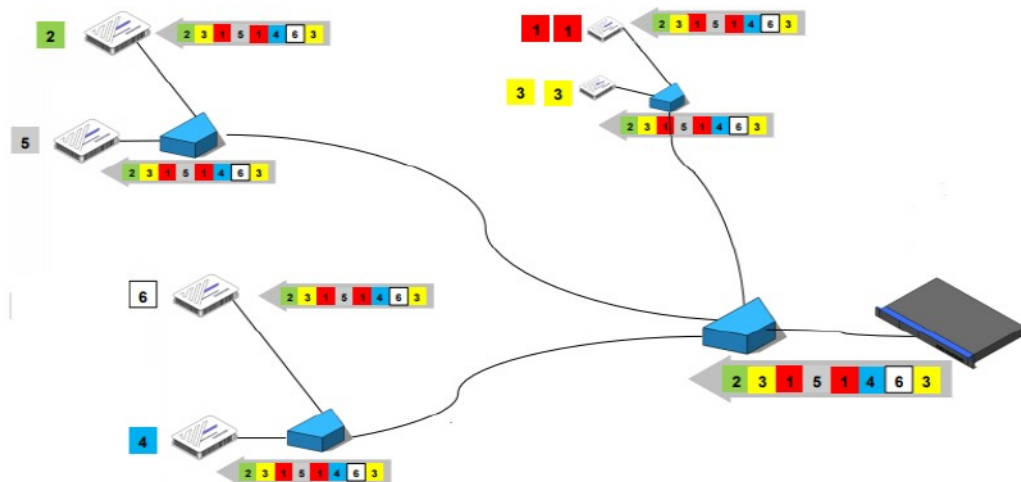


Figura 3.3 Canal Descendente PON [22]

Para evitar posibles efectos interferentes entre canales se hace uso de diferentes longitudes de onda para cada caso, además se tiene en cuenta el empleo de diferentes ventanas de la fibra en función del servicio (voz, datos, servicios de nueva generación, etc.). Para que todo ello sea factible se emplea multiplexación por división de longitud de onda o WDM.

Por último y debido a la distancia a recorrer hasta el cliente, así como a los efectos atenuadores en la fibra y a los divisores, las redes PON deben contar con mecanismos que controlen la potencia de transmisión para asegurar que el receptor obtenga un nivel de potencia acorde a la sensibilidad del equipo. El máximo número de clientes que dependen de una misma OLT en un nodo vendrá limitado principalmente por las especificaciones de potencia óptica que se propagará en la red hasta cada ONT de cliente, teniendo en cuenta la función de división de dicha potencia, que realizan los splitters a su entrada para repartir de forma equitativa a todas sus salidas, esto es lo que se conoce como presupuesto óptico.

El presupuesto óptico nos indicará lo lejos que podremos tener los clientes, o el número de splitters que podemos colocar, por lo tanto, el ratio máximo de agregación en PON. Para ello debemos conocer la potencia óptica que es capaz de emitir el transmisor, así como la sensibilidad del receptor. Esto debe ser tenido en cuenta para ambos sentidos de la comunicación. Junto con ello, el resto de factores que forman parte de este cálculo de presupuesto óptico serán los valores de atenuación que introduce la distancia a cubrir hasta el cliente más alejado, así como la relación de división de los splitters ópticos.

De cara al cálculo del presupuesto óptico, se establecen una serie de características ópticas para la ODN en función de clases, que se diferencian principalmente en los rangos de atenuación en la ODN, potencias medias emitidas y sensibilidad en la recepción. Tendremos en cuenta, para cada estándar, la clase más empleada en los despliegues actuales.

3.2. Tecnología GPON

GPON nace como una solución para adaptarse a las exigencias de la red que estándares anteriores ya no podían cubrir. Los servicios soportados son principalmente los basados en Ethernet, para transmisión de datos vía IP, el servicio telefónico conocido como POTS, así como redes de servicios integrados ISDN, redes privadas T1, E1, DS3 o E3 y servicios de video sobre IP.

Abordamos a continuación las principales especificaciones y características del estándar GPON, de acuerdo con lo propuesto por la ITU-T. [23][24]

3.2.1 Características generales

Se detallan algunos de los aspectos y características relevantes del estándar GPON:

- Distancia de fibra. Corresponde al alcance físico máximo entre OLT y ONT, definido en 10km y 20km. Tomaremos la opción menor, asumiendo que no vamos a tener que cubrir distancias mayores en escenarios urbanos. Además, esta distancia es la máxima que nos permite emplear velocidades superiores a 1,2Gb/s.
- Distancia máxima de fibra diferencial. Representa la máxima distancia entre la ONT más lejana y la más cercana y tiene un valor de 20km.
- Retardo máximo de transferencia de la señal, que deberá tomar un valor máximo de 1,5ms, teniendo en cuenta que el retardo en transmisión óptica en la fibra es de 5ns/m.
- Relación de división. Atendiendo al compromiso entre potencia óptica y capacidad de penetración, con la tecnología actual se propone una relación de 1:64. Si bien, con las mejoras en términos de sensibilidad y/o potencia óptica transmitida que introduce el equipamiento más novedoso, es posible estudiar escenarios con relaciones 1:128, si bien las tasas de transferencia de datos pueden quedar comprometidas.
- FEC. Suele ser opcional, pero en caso de usarlo se emplea RS 255,239 en ambos sentidos. La OLT tiene capacidad para enviar a las ONTs la orden de habilitar/deshabilitar FEC en el downstream, aunque la ejecución de este cambio no es transparente para el servicio

3.2.2 Bitrate

GPON presenta velocidades de transmisión iguales o superiores a 1,2Gb/s. La ITU recoge dos combinaciones de bitrate:

- 1,2Gb/s para upstream; 2,4Gb/s para downstream
- 2,4Gb/s para upstream; 2,4Gb/s para downstream

En la actualidad la primera opción es la más empleada en los despliegues de fibra con GPON y es la que tendremos en cuenta.

3.2.3 Niveles de potencia óptica

Dentro de GPON se establecen 3 clases en ODN denominadas A, B y C, si bien hay algunas adecuaciones conforme mejoran las características técnicas del equipamiento desplegado, pudiendo encontrarnos con clase B+ o C+. La clase A nos ofrecerá el menor presupuesto óptico y la C el mayor, aunque, en términos económicos, se traducen en poca diferencia. En general, suele emplearse la Clase B, o su variante B+ en los despliegues PON típicos y por tanto nosotros tendremos en cuenta las características ópticas de esta clase de aquí en adelante.

La recomendación ITU-T G.984.2 para GPON [24], recoge en su Anexo A los parámetros de potencia teniendo en cuenta una ODN Clase B+ y que tomaremos como referencia:

ELEMENTO	PARÁMETRO	VALOR NOMINAL (dBm)
OLT	Potencia Media (MIN)	+1,5
	Potencia Media (MAX)	+5
	Sensibilidad	-28
ONT	Potencia Media (MIN)	+0,5
	Potencia Media (MAX)	+5
	Sensibilidad	-27

Tabla 3.1. Niveles de potencia óptica en GPON

Mientras que el rango de atenuaciones definido para cada clase es:

ATENUACIÓN	CLASE		
	A	B	C
MIN (dB)	5	10	15
MAX (dB)	20	25	30

Tabla 3.2. Rango atenuaciones por clase GPON

3.2.4 Plan de longitudes de onda

Se distinguen dos rangos de longitudes de onda en función del sentido de la comunicación (upstream vs downstream) ya que se emplea una única fibra y ambos canales viajan por ella. Además, se reservan otros rangos de longitudes de onda para mantener la coexistencia de GPON con otros servicios y para zonas de guarda con el fin de evitar interferencia entre bandas próximas.

El rango de longitudes de onda asignado a la señal en sentido ascendente está ubicado entre 1260nm y 1360nm mientras que el asignado al descendente está especificado entre 1480nm a 1500nm. Junto con ello se reserva un rango entre 1400nm y 1450nm y otro entre 1530nm y 1625nm para los servicios y acceso de nueva generación, denominados como *enhancement band* [25].

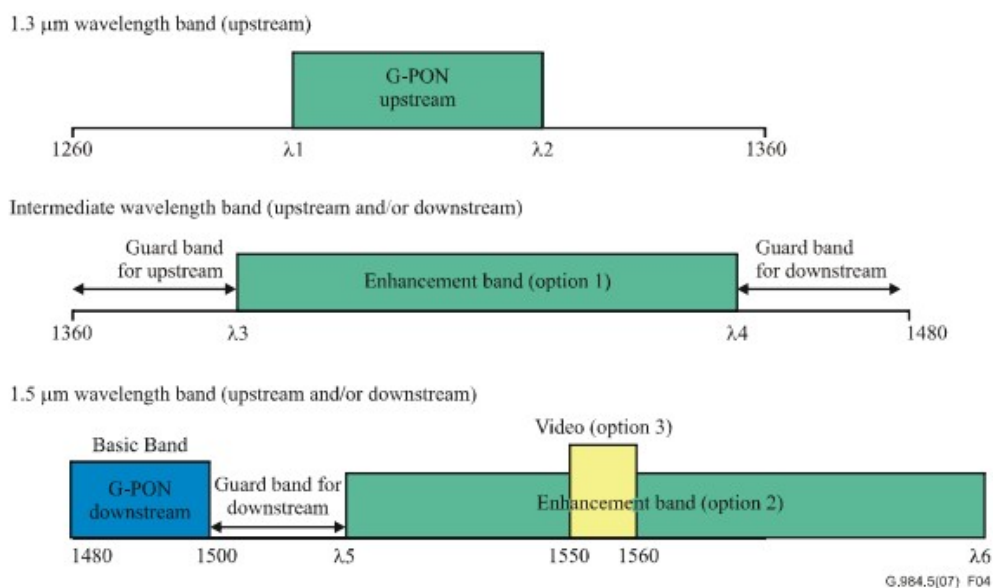


Figura 3.3. Plan de longitudes de onda en GPON [25]

En la figura anterior pueden apreciarse también las bandas de guarda fijadas así como una opción reservada en el rango de 1550nm a 1560 propuesta para servicios de video.

Dentro del espectro asignado para upstream, GPON plantea un rango de longitudes de onda para banda estrecha (*narrow*) entre 1300nm y 1320nm, válido para casos de ONTs con laser de espectro estrecho.

3.2.5 Arquitectura de la red de acceso óptico

La siguiente figura muestra la arquitectura de referencia GPON, que guarda similitud con el diagrama propuesto en la Figura 3.1, pero se encuentra más desglosado:

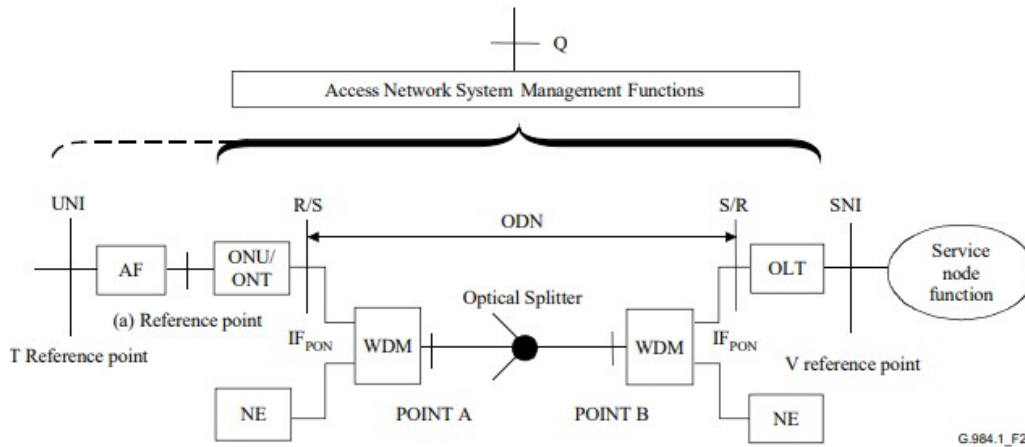


Figura 3.4. Arquitectura de referencia GPON

Se contempla en la anterior figura el empleo de *Network Elements* (NE) que representa a dispositivos que emplean diferente longitud de onda de las reservadas para OLTs y ONTs. Si estos elementos se encuentran presentes en la red, será necesario el empleo de módulos WDM para multiplexar las diferentes longitudes de onda. De igual forma se incluyen también los *Adaptation Function* (AF) empleados para adaptar ciertas funciones, pero que suelen estar incluidos en muchos casos en las propias ONTs.

3.3. Tecnología XG-PON

A la hora de desarrollar este estándar, se requería que las mejoras que presenta en términos de ancho de banda permitiese un crecimiento en las redes con la aparición de nuevos servicios, permitiendo también la compatibilidad con los servicios ya en uso tanto empresariales como para cliente residencial.

De esta forma se cubren necesidades relativas a servicios de voz sobre IP e IPTV, así como servicios de Ethernet, VPN y *backhaul* móvil. Se sigue facilitando el servicio telefónico tradicional (POTS) así como las líneas privadas entre dos puntos (T1, E1).

XG-PON continúa empleando los dos sentidos de comunicación en la fibra al igual que hace GPON, pero amplía su capacidad de ancho de banda además de emplear otros rangos del espectro óptico, distintos a GPON.

3.3.1 Características generales

Se detallan algunos de los aspectos y características relevantes del estándar XGPON:

- Distancia de fibra. Se fija una distancia máxima de al menos 20km, por lo que propone una mejora con respecto a GPON, si bien nuevamente hay que tener en cuenta la relación de división que será el principal condicionante para fijar el alcance máximo de la red.

- Distancia máxima de fibra diferencial. En este caso, al igual que GPON tiene una variante con valor de 20km, pero propone otra opcional que mejora hasta 40km.
- Retardo máximo de transferencia de la señal, se mantiene un retardo promedio máximo de 1,5ms.
- Relación de división. Ya que la mayoría de despliegues de GPON han empleado en su infraestructura relaciones de división de entre 1:32 y 1:64, será este segundo valor el mínimo propuesto, con el fin de poder ofrecer un entorno de coexistencia entre XG-PON y su antecesor. No obstante, se contempla el empleo de relaciones de división 1:128 y hasta 1:256, de interés para los principales operadores por mejorar la penetración de red, todo ello contando con las mejoras que pueden introducir en términos de potencia óptica los equipos activos empleados en los extremos.
- FEC. Se emplea RS 248,232 para downstream siempre activo y RS 248,216 para upstream pero su uso quedabajo control dinámico por parte de la OLT.

3.3.2 Bitrate

La recomendación de la ITU [26] recoge, para el caso del estándar XG-PON, dos combinaciones de velocidades de transmisión:

- Denominado como XG-PON1, con 2,5Gb/s para upstream y 10Gb/s para downstream, planteado para ofrecer compatibilidad con GPON en los mismos circuitos.
- Denominado como XG-PON2 con 10Gb/s tanto para upstream como para downstream.

3.3.3 Niveles de potencia óptica

En el caso de XG-PON se establecen 4 clases de potencia en ODN denominadas nominales N1, N2 y extendidas E1 y E2. A su vez las segundas clases de cada subgrupo quedan divididas en dos (N2a y N2b, E2a y E2b) para ofrecer rangos de potencia de transmisión más altos en el extremo de la OLT y rangos de sensibilidad también mayores en el extremo de la ONT.

La recomendación ITU-T G.987.2 para XG-PON [27], recoge los parámetros de potencia asociados a XG-PON1 que son los que tomaremos como referencia:

ELEMENTO	PARÁMETRO	VALOR NOMINAL (dBm)					
	CLASE	N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
OLT	Potencia Media (MIN)	+2	+4	+10.5	+6	+8	+14.5
	Potencia Media (MAX)	+6	+8	+12.5	+10	+12	+16.5
	Sensibilidad	-27.5	-29.5		-31.5	-33.5	
ONT	Potencia Media (MIN)	+2	+2		+2	+2	
	Potencia Media (MAX)	+7	+7		+7	+7	
	Sensibilidad	-28	-28	-21.5	-28	-28	-21.5

Tabla 3.3. Niveles de potencia óptica en XG-PON [27]

Mientras que el rango de atenuaciones definido para cada clase es:

ATENUACIÓN	CLASE			
	N1	N2	E1	E2
MIN (dB)	14	16	18	20
MAX (dB)	29	31	33	35

Tabla 3.4. Rango atenuaciones por clase XG-PON [27]

3.3.4 Plan de longitudes de onda

Para este estándar se establece también una banda dedicada a upstream, que estará fijada entre 1260nm y 1280nm, teniendo en cuenta que hablamos de la especificación XG-PON1 concretamente. El tramo reservado para downstream está contemplado entre 1575nm y 1580nm. Con esta distribución del espectro, se permite la convivencia con GPON así como otros servicios y contenidos de video.

Al igual que ocurría en GPON, se siguen teniendo en cuenta bandas reservadas para servicios adicionales con la denominación de *enhancement band*, así como las bandas de guarda.

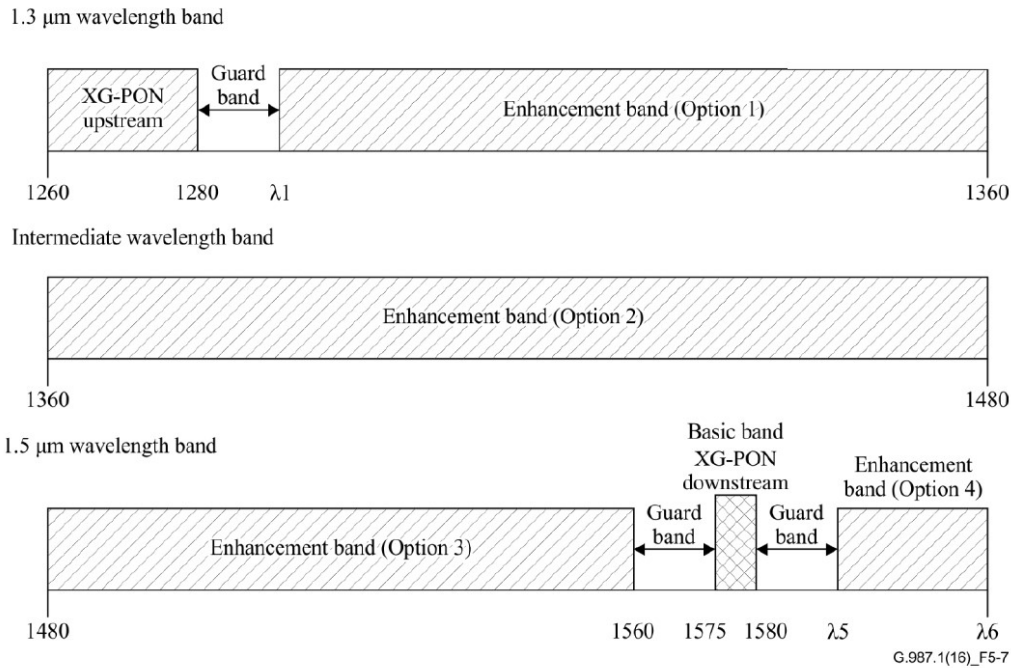


Figura 3.5. Plan de longitudes de onda en XG-PON [26]

3.3.5 Arquitectura de la red de acceso óptico

La tipología de configuración que encontramos en XGPON es muy similar a la vista para GPON en la figura 3.5.

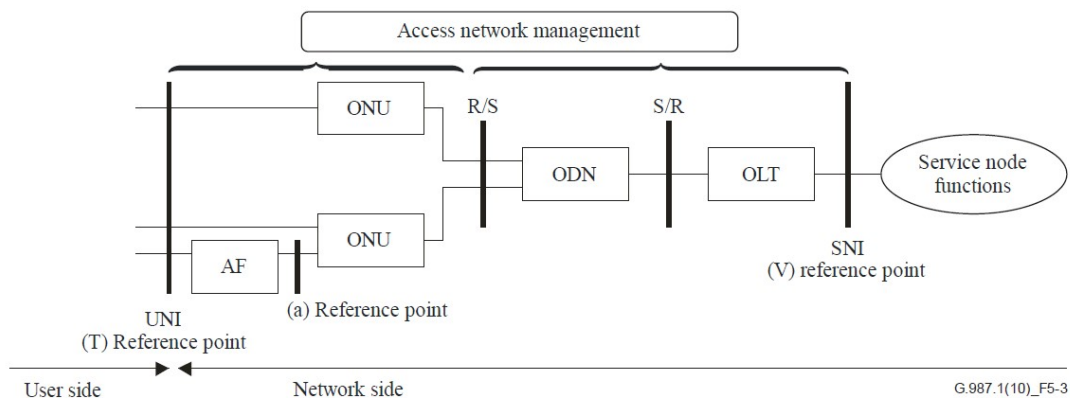


Figura 3.6. Arquitectura de referencia XG-PON [26]

En el desarrollo de este estándar, la ITU ya contempla mecanismos para facilitar la coexistencia, en una misma ODN, de XGPON en sus dos casos (XG-PON1 y XG-PON2) junto con otros servicios o estándares como GPON, con el empleo, por ejemplo, de medios para controlar las interferencias entre bandas, como filtros para bloquear ciertas longitudes de onda (WBFs, wavelength blocking filters).

Más adelante profundizaremos en el empleo de unas u otras arquitecturas de ODN para lograr una correcta coexistencia entre XG-PON y servicios adicionales, fundamentalmente GPON, con el empleo de dispositivos WDM o acopladores/splitters ópticos para combinar dichos servicios.

3.3.6 Evolución a XGS-PON

Posteriormente, la ITU-T ha investigado en la versión de XG-PON que permite 10Gb/s tanto para upstream como downstream. Lo que en la ITU-T G.987.1 se recoge como XG-PON2, pasó a llamarse XGS-PON por su condición de simetría (S) entre ambos canales. De aquí en adelante nos referiremos a la versión simétrica de XG-PON como XGS-PON y por tanto, a la hora de referirnos a la tecnología global basada en XG-PON lo haremos tal como indica la ITU-T, nombrándolos como XG(S)-PON para contemplar ambas especificaciones de bitrate.

Esta versión del estándar se recoge ya en la ITU-T G.9807.1 y como principales cambios se contempla, principalmente el aumento de bitrate para el canal ascendente y el plan de longitudes de onda a emplear. Éste podrá tener dos opciones, una básica que reutiliza la banda empleada para XG-PON y por tanto el sistema debe acomodar tanto las ONT XGS-PON como las XG-PON empleando TDM/TDMA. La otra opción pasa por reutilizar la banda empleada actualmente para G-PON, siempre y cuando no coexista con ella [32].

3.4. Tecnología 50G-PON

Motivado por la creciente demanda de velocidad en banda ancha, la ITU-T comenzó en 2018 un proyecto para desarrollar estándares PON con velocidades superiores a las hasta ahora vistas en GPON o XG-PON. Este proyecto denominado *Higher Speed PON (HSP)* prevé cubrir las demandas futuras a partir de 2025. HSP aborda el empleo de velocidades de línea de hasta 50Gb/s.

La recomendación de la ITU-T asociada a este estándar es de reciente creación (09/2021) y su desarrollo también se ha enfocado en lograr la coexistencia de este estándar con los anteriores, facilitando así la reutilización de la infraestructura óptica ya desplegada y simplificando, de cara a los proveedores de servicio, los procesos de actualización de redes FTTx, pudiéndose adaptar al crecimiento en la demanda de servicios y ancho de banda sin derivar esto en grandes inversiones o intervenciones que afecten mayoritariamente a los clientes.

Desde la perspectiva de la capacidad del sistema, suponiendo relaciones de división de en torno a 1:64, concurrencia del servicio del 50% e índices de carga útil de en torno al 80%, con una línea nominal de 50Gb/s, es posible proporcionar una capacidad de acceso promedio de 1,25Gb/s de forma simultánea para hasta 64 ONTs. Esta capacidad cubre los grandes requisitos de ancho de banda que demandan nuevos servicios como realidad virtual o aumentada, cada vez más populares en el mercado residencial [28].

En este caso, la ITU-T hace diferencia entre 3 subtipos dentro de HSP:

- 50G TDM PON. Un par de canales con una longitud de onda, empleando TDM/TDMA. El principal caso contemplado en el estándar 50G-PON
- 50G TWDM PON. Una opción que permitirá múltiples pares de longitud de onda multiplexados en la misma fibra
- PtP WDM PON. Una opción de punto a punto WDM que aún está bajo estudio por parte de la ITU-T a la fecha de redacción de este documento

El presente trabajo se centrará principalmente en analizar la propuesta de 50G TDM PON, si bien la ITU-T no ha definido aún los aspectos relativos a la capa PMD para TWDM o PtP WDM.

3.4.1 Características generales

Al igual que en los anteriores estándares descritos, destacamos algunas de las propuestas técnicas que introducen los sistemas HSP propuestos por la ITU-T. En general estas prestaciones son comunes para los 3 subtipos, si bien hay algunas puntualizaciones:

- Distancia de fibra. Puesto que se desea facilitar la coexistencia con estándares legados, se parte de una distancia de 20km, pero se valoran coberturas de hasta 60km. No obstante, se fija un límite de 10km para el caso de aplicaciones inalámbricas que son más sensibles a la latencia, como los casos de uso para 5G
- Distancia máxima de fibra diferencial. En este caso, al igual que ocurría en las generaciones anteriores tiene una variante con valor de 20km, y se encuentra bajo estudio otra que mejora hasta 40km.
- Retardo máximo de transferencia de la señal. En este caso, la ITU hace mención a tres tipos de servicios para los que propone unos requerimientos concretos
 - Voz e Internet. Inferiores a 1,5ms como en anteriores estándares.
 - Transporte inalámbrico. Aún en estudio por parte de la ITU-T.
 - Video Avanzado. Inferiores a 2ms de forma bidireccional.

Para cumplir con los requisitos de retardo en HSP se propone que una ONT se active mediante un canal con longitud de onda adicional, que permitiría reducir el retardo total en torno a 250µs en el canal de datos.

- Relación de división. Como ya ocurría con XGPON, se valoran relaciones de división de 1:128 por compatibilidad con estándares legados, pero lo deseable y de aplicación futura, también de cara al aumento en la penetración y la economía en la red por parte de los operadores, es un ratio 1:256.

En el caso de 50G TWDM PON se desea también dotar de ciertas características adicionales a la red, basadas en la capacidad de este subtipo de emplear múltiples longitudes de onda multiplexadas, como serán:

- El empleo de “channel bonding” para lograr velocidades de servicio superiores a la máxima que puede ofrecer el caso de un solo canal en una longitud de onda concreto. Esto debe estar soportado por las ONTs.
- Capacidad de balanceo de la carga a través de canales disponibles.
- Mayores relaciones de división, partiendo de al menos 1:256.
- Capacidad para ofrecer un servicio “pay-as-you-grow” que permite incrementar la capacidad contratada en función del crecimiento de la demanda de un cliente.
- Un requisito muy importante será el empleo de ONTs sintonizables capaces de operar en cualquiera de los canales de longitud de onda que estén bajo el control de la OLT.

Otras especificaciones destacables para el caso de 50G TDM PON son:

- Modulación. Se ha decidido emplear modulación NRZ OOK tanto para upstream como downstream. El motivo principal es su sencillez y la sensibilidad de este método de modulación para poder trabajar con altas pérdidas ópticas (OPL).
- FEC. Con el aumento en la tasa de transmisión, es cada vez más complejo cumplir las clases altas de ODN, como el caso de C+ y D. Para poder relajar los requisitos de los transceptores ópticos, se propone un modelo de corrección de errores FEC más potente, en comparación con la opción Reed-Solomon empleado en XG(S)-PON.

3.4.2 Bitrate

La recomendación de la ITU [5] recoge, para el caso del estándar 50G-PON, tres combinaciones de velocidades de transmisión:

- Downstream 50Gb/s y upstream 12,5Gb/s
- Downstream 50Gb/s y upstream 25Gb/s
- Downstream 50Gb/s y upstream 50Gb/s, aún bajo estudio

3.4.3 Niveles de potencia óptica

Se han definido dos grupos de clases para ODN en función de los elementos dispuestos en dicha red para permitir la coexistencia, estos serán módulos multi-PON o elementos de coexistencia externos. Cabe destacar que los valores de potencia y sensibilidad de los equipos extremos son diferentes en función de si partimos de configuraciones downstream/upstream 50/12,5Gb/s o 50/25Gb/s, pero en nuestro caso solo vamos a tener en cuenta los más exigentes, que se corresponden con la segunda opción de bitrate. La tercera opción no es de nuestra elección porque, tal como indicamos anteriormente, se encuentra aún bajo estudio y no disponemos de datos en la recomendación.

Consideramos que la segunda opción es el paso más acertado de cara a la provisión de equipamiento para el nuevo estándar por parte de los operadores. En caso de una migración de un estándar actual hacia 50G-PON, es más rentable dar el salto a equipamiento acorde a prestaciones superiores dentro del mismo estándar. De esta forma quedan previstas las posibles demandas futuras en términos de upstream sin modificar el equipamiento.

Las principales diferencias entre una u otra configuración radican únicamente en parámetros de sensibilidad y potencia de los equipos extremos y la diferencia entre ambos casos es baja (1,5dB en el peor caso) por lo que la diferencia de inversión en unos equipos u otros será igualmente baja e incluso se podrá contemplar una solución que abarque parámetros compatibles con ambos casos.

Para el caso de coexistencia basada en módulos multi-PON (MPM) tendremos:

ELEMENTO	PARÁMETRO	VALOR NOMINAL (dBm)	
	CLASE	N1	C+
OLT	Potencia Media (MIN)	+5.5	+8.5
	Potencia Media (MAX)	+11	+14
	Sensibilidad	-24.5	-27.5
ONT	Potencia Media (MIN)	+5	+5
	Potencia Media (MAX)	+9	+9
	Sensibilidad	-24	-24

Tabla 3.5. Niveles de potencia óptica en 50G-PON, uso de MPM [5]

Mientras que los rangos de atenuaciones definidos para cada clase serán:

ATENUACIÓN	CLASE	
	N1	C+
MIN (dB)	14	17
MAX (dB)	29	32

Tabla 3.6. Rango atenuaciones por clase 50G-PON, uso de MPM [5]

Los rangos de atenuación definidos coinciden con los correspondientes en XGPON (N1) y GPON (C+), lo que supone una facilidad en la normalización del estándar respecto a los heredados.

En el caso en el que la coexistencia se plantee empleando elementos externos (CEX) o tengamos escenarios de ODN que no requieren coexistencia y la interconexión es directa, como son casos en los que se lleva a cabo un nuevo despliegue de 50G-PON la recomendación de la ITU-T recoge que los valores para el caso de una clase N1 serán los mismos que los del anterior caso, reflejados en la tabla 3.5, pero el resto de clases aún están bajo estudio, si bien los rangos de atenuaciones si están definidos para las diferentes clases y son similares a los de XG-PON [5].

ATENUACIÓN	CLASE			
	N1	N2	E1	E2
MIN (dB)	14	16	18	20
MAX (dB)	29	31	33	35

Tabla 3.7. Rango atenuaciones por clase 50G-PON, uso de CEx o conexión directa [5]

3.4.4 Plan de longitudes de onda

Para este caso, la ITU-T plantea una solución en el espectro óptico que va a facilitar la coexistencia entre este estándar y los anteriores. Se propone una banda entre 1310nm y 1314nm para el canal descendente y dos opciones para el canal ascendente, en función de las necesidades de coexistencia que puedan surgir.

- Opción 1. Permite la coexistencia con XG-PON empleando WDM: banda ancha entre 1290nm y 1310 nm; banda estrecha entre 1298nm y 1302 nm
- Opción 2. Permite la coexistencia con GPON, ya que admite opciones de longitud de onda ascendente de banda ancha, entre 1260nm y 1280 nm; banda estrecha no propuesta aún en la recomendación de la ITU-T, aunque podrá ser útil, al igual que en la opción 1, con el fin de aliviar los requisitos de aislamiento en escenarios de coexistencia con GPON, tal como ocurre para el caso de XG-PON.

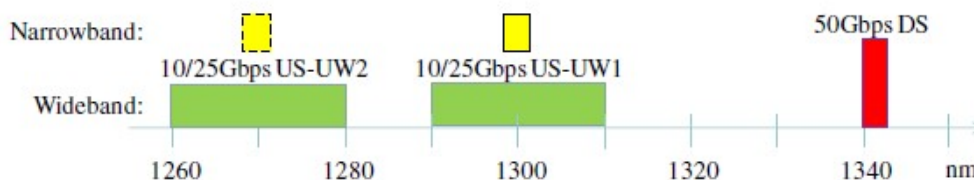


Figura 3.7. Plan de longitudes de onda en 50G-PON

La anterior figura muestra un resumen gráfico del plan de longitudes de onda propuesto para 50G-PON en comparación con los actuales planes para XG-PON y GPON. Se puede apreciar que el empleo de una u otra banda en upstream permitirá la coexistencia entre diferentes estándares en términos de espectro óptico. La representación hace alusión a las opciones de banda ancha y estrecha como *wide (W)* y *narrow (N)* respectivamente.

3.4.5 Arquitectura de la red de acceso óptico

Dentro de los denominados sistemas HSP los 3 subtipos comentados anteriormente presentan, cada uno de ellos, algunas particularidades en su arquitectura de referencia, como vemos a continuación:

- **50G TDM** es una evolución de los TDM/TDMA PON convencionales, con una longitud de onda para cada sentido de la comunicación, como ocurre con GPON y XG-PON.

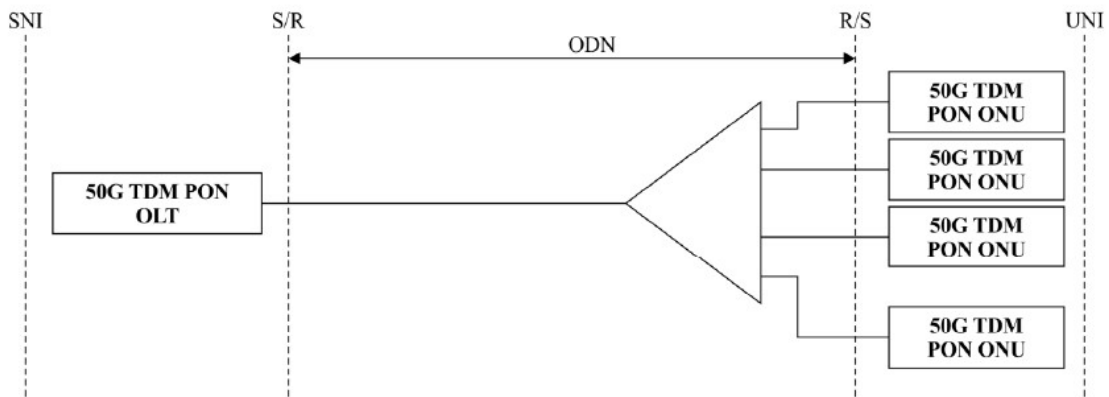


Figura 3.8. Arquitectura de referencia 50G TDM PON [29]

- **TWDM PON** es la opción con múltiples longitudes de onda donde cada par de longitudes de onda (canales) es compartido por múltiples ONTs empleando TDM/TDMA. En este caso, las ONTs tienen asignado también un slot temporal, por tanto se consigue un acceso múltiple tanto por división de longitud de onda como por división de tiempo.

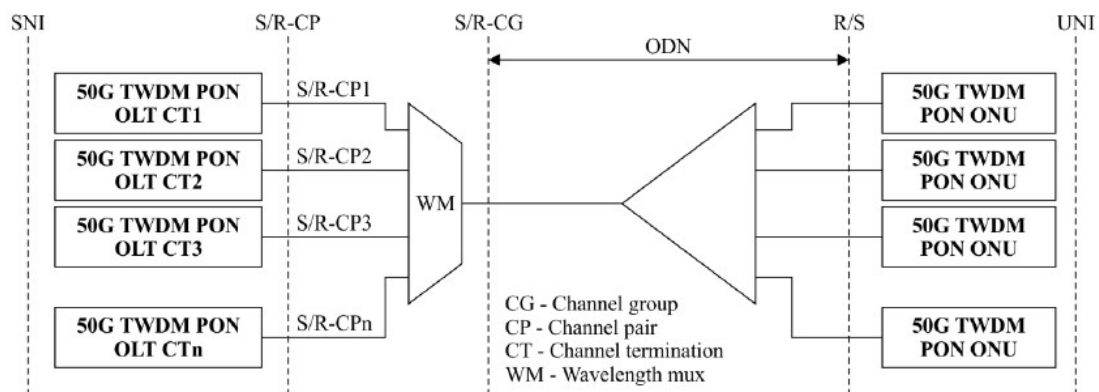


Figura 3.9. Arquitectura de referencia 50 TWDM PON [29]

En este segundo subtipo, la OLT estará compuesta por terminaciones de canal (CT) conectadas a través de un multiplexor de longitudes de onda (WM). El punto de referencia S/R-CG será donde la OLT envía y recibe un conjunto de pares de longitud de onda que corresponden al downstream y upstream y se denominan *channel group (CG)*.

- Por último, PtP WDM que ofrece una pareja de longitud de onda dedicada a cada ONT, para subida y bajada, pero como comentábamos anteriormente, aún se encuentra bajo estudio por parte de la ITU-T. Esta opción está pensada para soportar servicios dedicados en los que se requiera una comunicación de alta capacidad y permanente. Esta funcionalidad es única de HSP si comparamos con los estándares legados GPON y XGPON, pero ya se propuso anteriormente en el desarrollo de la recomendación para NGPON2.

En el caso de TWDM y PtP WDM es necesario emplear transmisores sintonizables en longitud de onda y receptores que sean controlados para mejorar la precisión de DWDM. En el caso de TDM PON, tanto OLT como ONT emplean longitud de onda fija, aunque es admisible una desviación dentro de una banda de longitudes de onda bien definida. Bien es cierto que ambos canales plantearán una arquitectura de sistema de transmisión muy similar, por ello los mismos dispositivos optoelectrónicos podrán ser empleados para ambos casos, logrando simplificar la tecnología de uso y por tanto la reducción en los costes de producción.

3.4.6 Otros factores relevantes en 50G-PON

Al ser 50G-PON el estándar principal sobre el que se lleva a cabo este trabajo, es interesante destacar otros aspectos relativos a este estándar que deben ser tenidos en cuenta.

Fenómenos de atenuación, dispersión y Raman

Las redes PON generalmente emplean fibras monomodo SMF siguiendo las directrices recogidas en la ITU-T G.652. Dicho tipo de fibra presenta una dependencia con la longitud de onda que debe tenerse en cuenta.

Existe un primer factor atenuante conforme una señal se propaga a lo largo de una fibra, que varía en función del rango de longitudes de onda empleado. Por lo general se considera que la banda E concentra los peores valores de atenuación con la distancia, frente a valores reducidos que se dan en las bandas superiores C y L. Este comportamiento puede apreciarse en la siguiente figura:

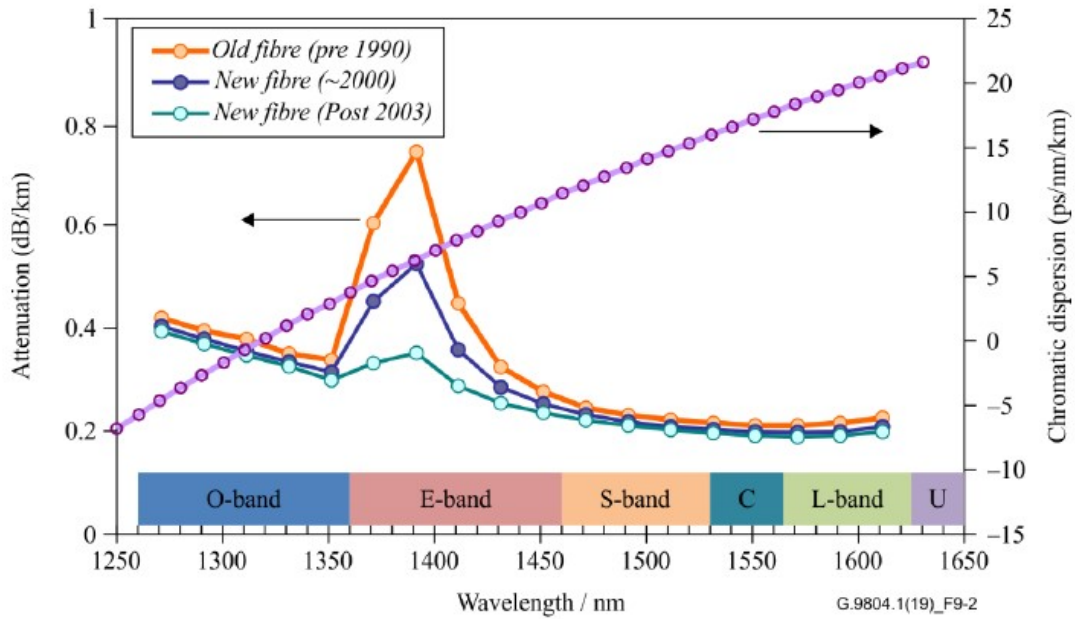


Figura 3.10. Atenuación y dispersión cromática en fibra monomodo [29]

Junto con ello, es igualmente importante el fenómeno de dispersión cromática que se produce al no tener una portadora monocromática, si no con cierto ancho de banda que provoca variaciones en el índice de refracción que se traducen en variaciones de velocidad y por tanto ensanchamiento del pulso de luz, lo que puede limitar el alcance de la red a medida que aumenta la velocidad de transmisión de la señal. Este fenómeno también depende de la longitud de onda y como puede apreciarse en la anterior figura, es prácticamente cero en 1310nm, pero conforme aumentamos la longitud de onda los valores empeoran considerablemente.

Puesto que el plan de longitudes propuesto para este estándar está contenido dentro de la banda O, la afectación prevista por la dispersión cromática es casi 0, lo que permite no tener que emplear elementos para minimizar este fenómeno, tales como fibra compensadora de dispersión o compensación de dispersión electrónica.

Un parámetro relevante en el diseño de una red PON es el que calcula las penalizaciones a lo largo de todo el enrutamiento óptico, denominado OPP. Este cálculo de las penalizaciones sufridas por fenómenos como la dispersión cromática, para el caso de 50G-PON, al emplear múltiples longitudes de onda y también niveles de potencia óptica mayores, debe contemplar otro fenómeno, de no linealidad de Raman. Este caso puede generar un efecto atenuador adicional en ciertas longitudes de onda o efectos de diafonía (cross-talk).

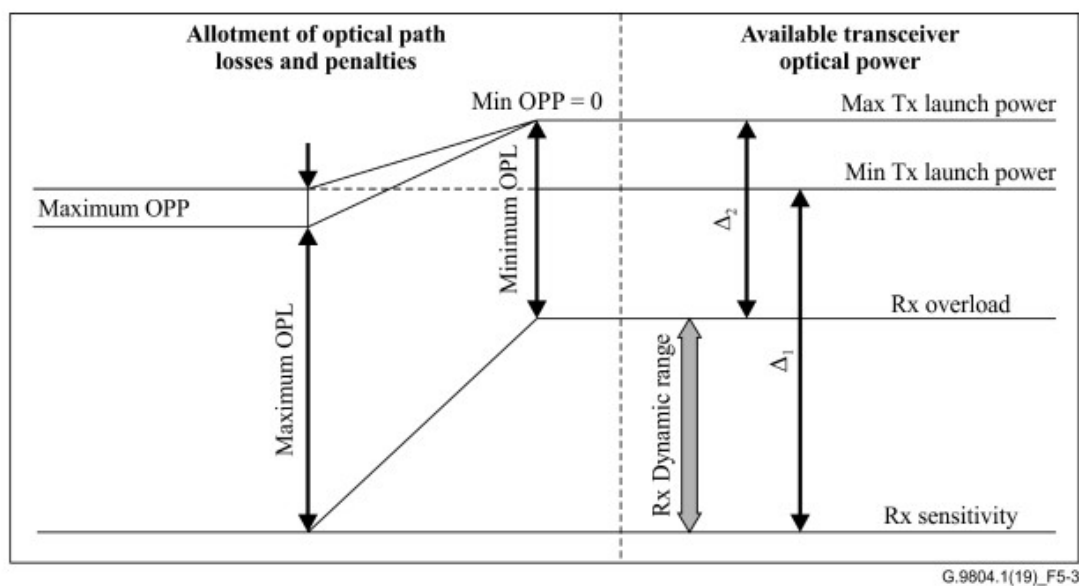


Figura 3.11. Relación entre potencia óptica y parámetros de pérdidas [29]

Puesto que, hasta ahora la especificación de la capa PMD solo ha sido definida para el caso de 50G-PON TDM, los valores de OPP no contemplan no linealidades de Raman. Será para el caso de TWDM donde deban analizarse los efectos producidos por Raman, aunque se prevén similares al caso de NG-PON2 donde los canales ascendentes TWDM se veían atenuados debido a la contra-propagación de los canales descendentes y se producían diafonías de modulación entre señales separadas un rango entre 1-40THz [30].

En escenarios donde se propagan señales ópticas de forma conjunta, éstas suelen verse afectadas por diafonías de modulación debidas a las interacciones de Raman. Los componentes de modulación de las señales ópticas se superponen a otras señales de diferente longitud de onda, pudiendo afectar a la calidad de la información transmitida. Cuando se produce una reducción en el nivel de potencia óptica, las señales de longitudes de onda más bajas actúan como fuentes de bombeo, con una reducción de potencia a cambio de amplificar las señales de longitud de onda mayor. Si la atenuación de las señales ópticas es considerable, tanto la calidad de la señal transmitida como el alcance del enlace pueden verse comprometidos [31].

El cálculo de los valores OPP se aplica para las transmisiones desde la ONT, es decir el sentido ascendente. Sin embargo, se emplea otra métrica para regular el parámetro de penalización en el caso de la OLT, es decir el sentido descendente, mediante diagrama de ojo, denominado TDEC. Este parámetro nos permite caracterizar la calidad de un transmisor óptico, midiendo el cierre vertical del ojo en base al histograma que captura un osciloscopio mediante un conversor óptico-eléctrico.

En la recomendación para este estándar, la ITU refleja los valores de OPP y TDEC máximos para cada caso, contemplando de forma intrínseca los valores de dispersión máxima, así como el tipo de transmisor y el coeficiente de dispersión de la fibra en la longitud de onda de uso.

Empleo de extensores de alcance

Los sistemas HSP deben ser capaces de alcanzar hasta 60km, se plantea por tanto la opción de emplear extensores de alcance tipo *Mid-span range extender* si bien se trata de un desafío técnico pues implica que la red externa deje ser totalmente pasiva. La inclusión de estos extensores no debería requerir que OLT u ONT sean modificadas y además dichos equipos deben poder controlarse de forma remota a través de una OLT. Pese a ser un elemento que rompe la filosofía de red pasiva pura, sus necesidades de energía son mínimas y suele poder operar en rangos amplios de temperatura exterior.

Reducción de consumo

El ahorro de energía en redes de telecomunicaciones es un área con cada vez mas relevancia de cara a reducir gastos operativos (OPEX) además de la reducción de gases de efecto invernadero. Por ello se aplica para los sistemas HSP la mejora en el diseño del equipamiento, llevándolo a comportamientos que permitan una reducción en el consumo. Esto aplica a la OLT y fundamentalmente a las ONT que no comparten energía entre ellas (salvo algunos casos de FTTC/B).

En el contexto de 50G T(W)DM-PON, se proponen modos de vigilancia en suspensión, que permiten varios niveles de ahorro de energía durante el modo normal de funcionamiento. Más concretamente para TWDM también se propondrán modos de suspensión en los puertos del OLT, ya que cuando hay menos tráfico en el sistema, en lugar de tener todos los puertos OLT funcionando, todo el tráfico puede ser acomodado por uno o pocos puertos.

Supervisión PON y funciones OMA

En la etapa inicial del despliegue FTTH, es importante minimizar los gastos CAPEX, pero cada vez es más importante reducir los correspondientes operacionales (OPEX). El objetivo de la supervisión de PON es precisamente reducir este último gasto, pero evitando ampliar el gasto de capital para incluir capacidades de prueba y diagnóstico, además de evitar la ocupación del ancho de banda disponible con estos medios de diagnóstico. Se tomará como base para HSP los actuales medios de prueba y diagnóstico básico que posee GPON, pero se ampliará con mayores niveles de seguridad, fundamentalmente para distinguir entre servicios en una misma OLT/ONT. Además, la ONT será gestionable de forma remota, con capacidades FCAPS (gestión de fallos, configuración, cuentas, rendimiento y seguridad).

Se prevén también otros medios de supervisión de rendimiento entre extremos hasta la capa Ethernet, precisamente para permitir a los operadores verificar el flujo de tráfico de clientes y localizar caídas. Capacidad para detección de fallos en la ODN de forma automatizada y autónoma, permitiendo también mejorar la capacidad de reparación proactiva versus la reactiva, ya que permitirá a los operadores tomar decisiones sobre mantenimientos correctivos de forma adelantada.

3.5. Migración de estándares legados a 50G-PON

En el desarrollo de nuevos estándares PON queda implícita la intención de facilitar una migración de una tecnología anterior a una de nueva generación dentro de una misma ODN, permitiendo por una parte que la experiencia del cliente no sea mermada por la interrupción del servicio y por otra facilitar el crecimiento de las redes gracias al aprovechamiento de las infraestructuras ya desplegadas. La coexistencia entre dos estándares en una misma ODN permite que los clientes de ésta no se vean gravemente afectados ante cambios o importantes reconfiguraciones de la infraestructura pasiva. Además, facilita el despliegue bajo demanda de nueva conectividad PON sin interrupciones en el resto de servicios.

En este apartado nos centraremos en analizar y confirmar la viabilidad técnica de la coexistencia de 50G-PON con dos estándares legados, como son GPON y XG-PON, además de valorar las propuestas de migración posibles desde los estándares anteriores al de nueva generación.

3.5.1 Aspectos relevantes en la coexistencia y migración

Uno de los aspectos más importantes y que deben ser tenidos en cuenta para lograr una acertada coexistencia y migración amortiguada es la capacidad para reutilizar la planta pasiva desplegada, fibra y conectorización así como divisores de potencia. También el uso de una parte del espectro disponible no utilizado por el resto de estándares con los que sea necesario convivir. Esto último plantea en ocasiones un gran reto, puesto que hay que contemplar el adecuado reparto de longitudes, manteniendo en la medida de lo posible los anchos de guarda suficientes para evitar interferencias, emplear filtros para bloquear ciertas longitudes de onda o incluso en ocasiones tener que recalcular el presupuesto óptico debido a factores atenuadores propios de la transmisión óptica en diferentes longitudes de onda del espectro disponible.

El hecho de que convivan dos estándares en una misma red óptica suele requerir el empleo de elementos adicionales externos, multiplexores ópticos o módulos específicos para ofrecer en el extremo del proveedor los diferentes estándares a través de la OLT de una forma versátil, que no requiera la modificación de la mayor parte de la planta en activo ni que perjudique al cliente final. La elección de uno u otro elemento normalmente va a venir condicionada por parámetros propios de la red ya desplegada, así como en algunos casos el presupuesto óptico.

De cara a analizar la coexistencia entre estándares y la posible migración a los de nueva generación, es interesante también definir los dos entornos de infraestructura óptica que encontraremos típicamente:

- Greenfield. Se trata de áreas donde aún no existen redes ópticas pasivas desplegadas. En estos casos se requiere un despliegue que parte de cero o bien que poseen infraestructuras basadas en cobre. El proveedor puede desplegar una red basada en el estándar que ofrezca las mejores características, siempre que esto sea rentable para el planteamiento y explotación prevista por el proveedor encargado del despliegue. Es bastante fácil optar por estándares de nueva generación, ya que, aunque el coste de despliegue pueda ser superior debido a la inversión en nueva tecnología, no existen limitaciones, la demanda futura puede ser absorbida con mayor facilidad al contar con cierto sobredimensionamiento desde el primer momento y no es necesario aplicar criterios ni elementos de coexistencia con estándares anteriores.
- Brownfield. Este caso corresponde a los entornos donde ya existe una red óptica pasiva desplegada. La mejor opción suele ser reaprovechar la infraestructura óptica existente, pero adaptándola para poder albergar nueva tecnología mientras se permite la coexistencia con estándares legados. En estos casos es posible que el operador que explota la red lleve a cabo una migración de los clientes de ésta hacia tecnología de nueva generación de una forma suave, siempre y cuando todos los servicios heredados estén soportados en el nuevo estándar, llegando a plantear un escenario en el que dicha nueva tecnología sea mayoritaria en la red y finalmente complete la migración de todos los clientes, pudiendo retirar de explotación el equipamiento asociado al estándar legado. Aún resulta complejo o no es rentable finalizar una migración completa, por lo que se estima que hoy en día habrá siempre o casi siempre escenarios de coexistencia entre un estándar nuevo y otro legado.

Para nuestro caso vamos a partir siempre de un entorno brownfield, ya que la principal motivación de este trabajo es precisamente lograr reaprovechar una red PON ya desplegada.

3.5.2 Coexistencia previa entre GPON y XGPON

La mayor parte del despliegue de FTTx actual emplea el estándar GPON, si bien desde 2020 algunos operadores, motivados por la demanda de nuevos servicios o el crecimiento de los potenciales clientes en núcleos más poblados, han comenzado a disponer redes o migrar las actuales a entornos basados en XG-PON o incluso XGS-PON.

La coexistencia entre GPON y XG-PON ya fue estudiada y es viable gracias principalmente a la asignación de diferentes longitudes de onda para cada estándar, empleando medios para bloquear longitudes no deseadas para cada caso, como el caso de filtros integrados en los propios transceptores ópticos. También se han mantenido los balances de potencias planteados inicialmente y la migración puede llevarse a cabo de forma gradual, únicamente sustituyendo los elementos extremos, OLT y ONTs, por sus equivalentes XG-PON, que ofrecerán mejores prestaciones.

Para poder combinar las señales provenientes de ambos estándares, además de otras como video RF, se hace uso de filtros de coexistencia WDM1r, o se emplean divisores ópticos de potencia, admitiendo diferentes arquitecturas ODN para permitir la coexistencia.

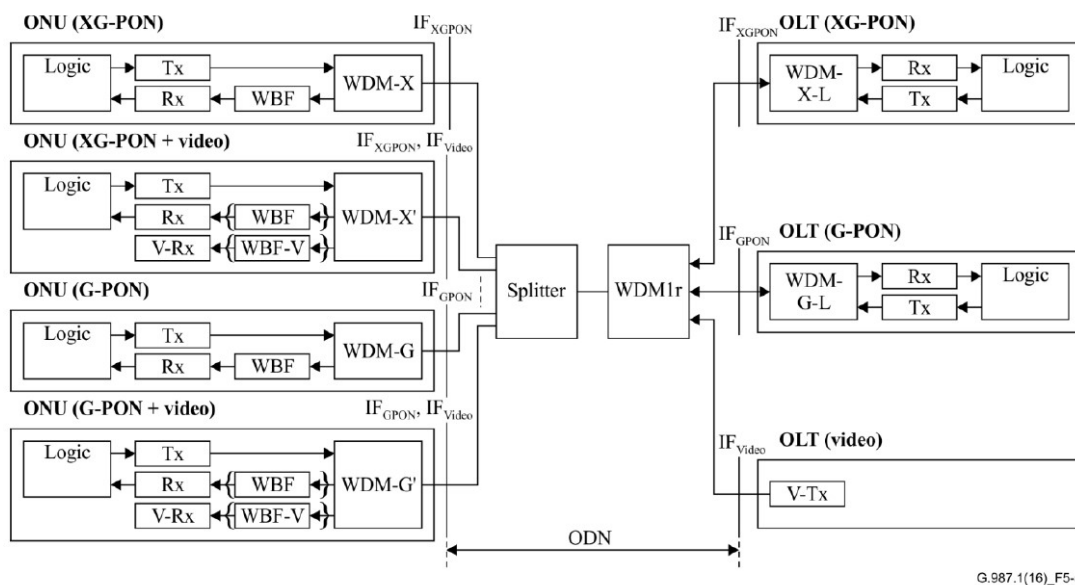


Figura 3.12. Coexistencia de XG-PON con GPON mediante WDM1r [26]

En el caso de la figura 3.11, el filtro WDM1r se emplea para multiplexar las longitudes de onda de ambos estándares, dando lugar a una red híbrida junto al divisor de potencia ya heredado.

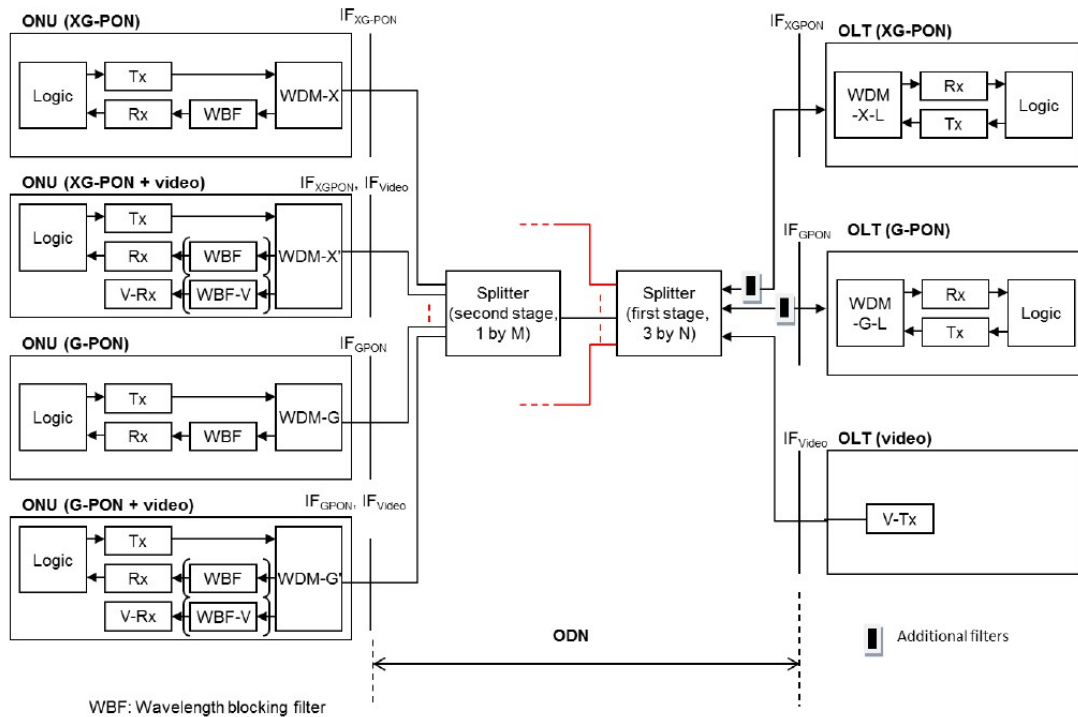


Figure 3.13. Coexistencia de XG-PON con GPON mediante splitter [26]

En este segundo caso, la coexistencia es posible mediante el uso de un divisor adicional. Aquí la multiplexación de longitudes de onda se traslada a los filtros adicionales situados entre el divisor y cada OLT. La función de estos *additional filters* será la de mejorar las capacidades de aislamiento y multiplexación.

Cualquiera que sea la solución aplicada, en el caso de llevar a cabo una migración posterior a XG-PON, debe cumplirse que la interrupción del servicio sea mínima para el cliente final y que, en caso de lograr una migración completa, XG-PON soporte todos los servicios heredados de GPON correctamente.

Otra opción contemplada en un entorno de coexistencia y posterior migración es el empleo de extensores de alcance tipo *Mid-span extender*. De esta forma es posible cubrir los requisitos de ambos estándares, pero al tratarse de elementos activos que deben situarse en planta externa, no se sigue la filosofía de una red PON pura, por lo que no se suele tomar esta opción en despliegues que requieren alcances medios.

3.5.3 Escenarios de coexistencia

Una de las características más tenida en cuenta para HSP durante el proceso de estandarización era la capacidad para soportar una evolución en la misma red basada en una coexistencia con los estándares legados en la misma red ODN. Además, se busca evitar o minimizar tanto como sea posible cualquier interrupción del servicio durante el proceso de evolución o actualización. Un

sistema HSP debe poder admitir todos los servicios soportados en estándares legados.

Los planes de longitud de onda de los principales sistemas PON tratados hasta ahora muestran que los actuales usuarios de GPON o XG(S)-PON podrían actualizarse sin mayores problemas a 50G-PON, empleando la coexistencia de 3 generaciones PON en la misma ODN, siempre que nos basemos en la opción UW1 50G TDM PON para el upstream, recogida en la figura 3.14. No obstante hay que tener en cuenta que, en caso de no convivir en una misma red con alguno de los estándares legados, 50G-PON puede reutilizar el espectro asignado a esos estándares que no están en explotación. Otro enfoque posible facilita la reutilización del espectro mediante el uso de una banda de longitud de onda común que puede incluir receptores de múltiples velocidades.

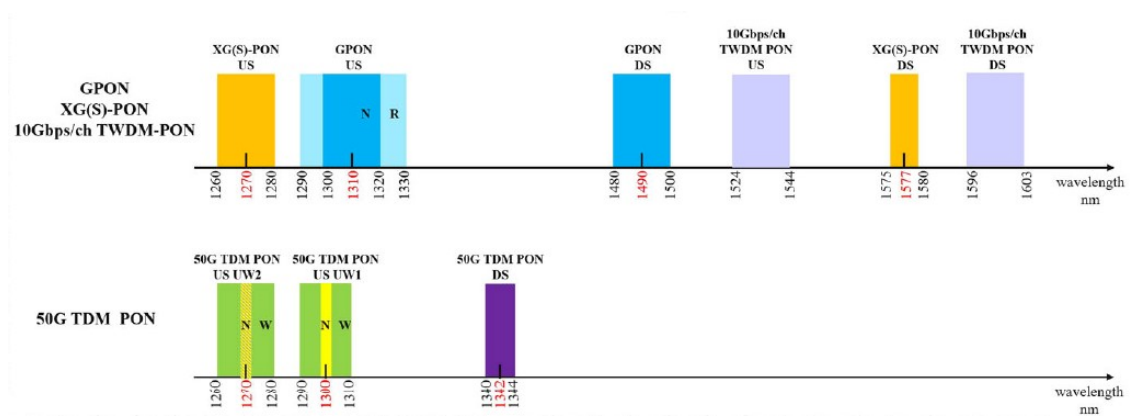


Figura 3.14. Plan de longitudes de onda para coexistencia

Existen dos escenarios de coexistencia planteables en este caso, el primero de ellos mediante el empleo de elementos de coexistencia CEx, el segundo será con el uso de módulos multi-PON (MPM). La principal diferencia radica en la ubicación del WDM y demultiplexor para las señales de los diferentes sistemas PON está integrado en la parte de OLT o se encuentra en la ODN. Esta diferencia puede dar como resultado diferentes parámetros PMD, como variaciones en las clases ODN para el cálculo de las pérdidas, la potencia de la OLT y la sensibilidad del receptor.

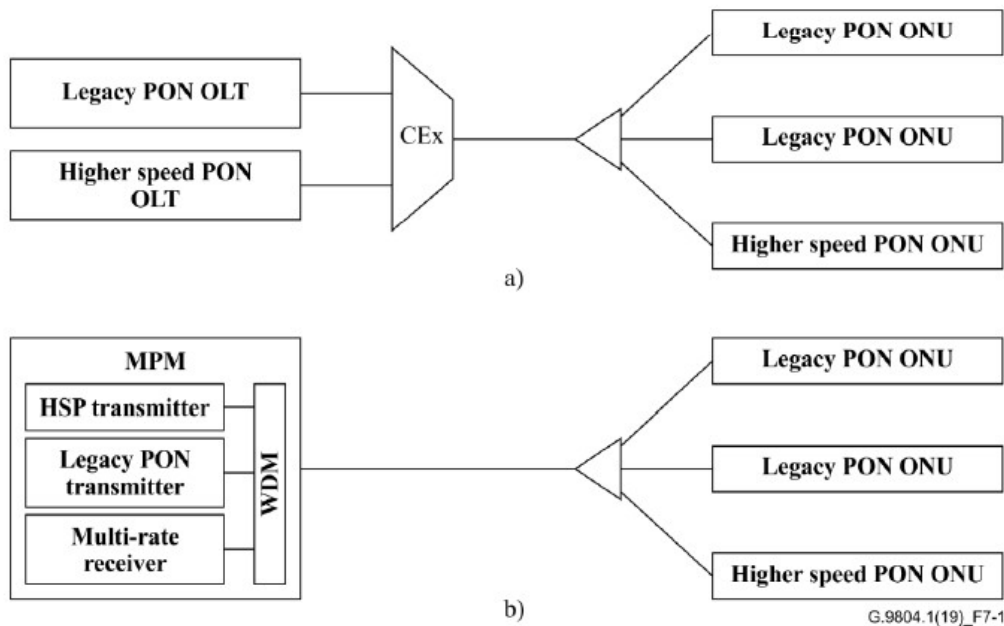


Figura 3.15. Escenarios de coexistencia con a) CEx, b) MPM [29]

Dado que la mayoría de la planta actualmente desplegada y en explotación emplea el estándar GPON, pero también existen cada vez más casos en los que ya hay un escenario de coexistencia entre GPON y XG(S)-PON, se proponen a continuación las soluciones de coexistencia con 50G-PON para las dos casuísticas, añadiendo además el caso de convivencia entre XG(S)-PON y 50G-PON. Para todos ellos, veremos las opciones de uso de CEx o MPM siempre y cuando sean viables.

Caso de coexistencia entre G-PON y 50-GPON

En el estado de explotación de las actuales redes FTTx, esta combinación es el escenario que se nos antoja más relevante a día de hoy pues, desde el punto de vista del proveedor, puede resultar más interesante llevar a cabo una evolución que nos permita ascender el mayor número de peldaños de golpe, efectuando los trabajos de ampliación y reemplazo de equipamiento en una sola ocasión y obteniendo una mejora en las prestaciones, siempre y cuando sea posible compatibilizar y posteriormente migrar todos los servicios legados al estándar de nueva generación, por lo que, llegado el caso, algunos proveedores pueden decantarse por buscar una coexistencia entre GPON y 50G-PON y no hacer una evolución previa a XG(S)-PON.

En la recomendación ITU-T G.9804.1 la ITU-T no destaca de forma relevante este escenario, en parte debido a que el estándar de nueva generación no está previsto que se encuentre en explotación hasta 2025 y posiblemente muchos operadores se verán obligados a pasar de GPON a XG(S)-PON para poder llegar a dar cobertura a la demanda prevista a corto plazo. Sin embargo, creemos interesante este caso puesto que debemos contemplar también entornos donde, bien por el número de clientes o por el tipo de uso, esta

demanda venga más amortiguada y pueda ser posible mantener los servicios requeridos empleando GPON con la suficiente calidad y bitrate hasta el momento en que 50G-PON esté disponible y podamos dar el salto directamente, sin pasar por XG(S)-PON.

Hemos considerado hasta ahora que 50G-PON empezará a desplegarse en la banda denominada UW1 para el canal ascendente, ya que se parte de la idea de ir evolucionando y abandonar el estándar más veterano, que en este caso es GPON, lo que permite reutilizar parte del espectro que deja libre para el canal ascendente. En este escenario, teniendo en cuenta que el salto generacional no va a contar con XG(S)-PON, sería factible proponer la banda UW2 para el upstream, que sería la que prácticamente deja libre XG(S)-PON al no estar en uso en este escenario. De esta forma mantenemos la banda de GPON intacta y las necesidades de aislamiento y filtrado son menos críticas.

En este caso, sería posible la coexistencia planteando cualquiera de las dos escenas de la figura 3.15, es decir el empleo de elementos externos con multiplexación y demultiplexación o bien el uso de módulos multi-PON. Para el caso de uso de CEx, es preferible decantarse por soluciones como WDM1r por encima de splitters, ya que se reducen las pérdidas de inserción y presentan un mejor rendimiento frente a la cantidad de longitudes de onda implicadas.

Este primer caso plantearía una solución viable pero que presenta una diferencia relevante en la normalización de la planta desplegada. En el caso de proveedores que exploten diferentes redes FTTx y que, por motivos del servicio, tengan diferentes escenarios de coexistencia, unos formados por GPON + 50G-PON y otros formados por XG(S)-PON y + 50G-PON, el empleo de diferentes grupos de longitudes de onda en el upstream de 50G genera una duplicidad de equipamiento, con módulos u OLTs adecuadas a la banda UW1 y otros para la banda UW2. A la hora de finalizar migraciones de estándares legados a la nueva generación, los escenarios finales podrían requerir trabajos adicionales para unificar el equipamiento y banda empleadas.

Otra opción, que también se contempla en el tercer caso que valora la coexistencia de los 3 estándares, es la adecuación de la banda empleada por GPON en upstream, pasando a explotar las opciones *narrow* y *reduced* para permitir que 50G-PON trabaje en la banda UW1. Nuevamente pueden emplearse CEx o MPM para estos casos, si bien la reducción en la banda de guarda exige un nivel de filtrado más preciso, lo que puede derivar también en mayores costes de equipamiento.

Caso de coexistencia entre XG(S)-PON y 50G-PON

Aunque actualmente este caso pueda ser minoritario ya que gran parte de la planta actual desplegada es GPON, debemos considerar este caso como el más relevante a medio plazo, ya que la explotación de redes basándonos en 50G-PON no está prevista hasta dentro de unos años tal como comentábamos anteriormente, plazo en el que varios operadores habrán requerido mejorar sus redes actuales y posiblemente se encuentren en una situación de coexistencia entre GPON y XG(S)-PON o incluso hayan finalizado ya la migración entre el primero y el segundo de ellos y por tanto se planteen un nuevo paso de evolución basado en la coexistencia entre XG(S)-PON y el nuevo estándar.

En este caso es posible proponer los dos escenarios planteados anteriormente. Uno de ellos, basado en el empleo de elementos de coexistencia independientes, permite la instalación de nuevas OLT y ONTs para 50G-PON sin afectar los equipos equivalentes para XG(S)-PON actualmente en servicio, aunque hay que contar con la introducción de un elemento adicional en la red. Este CEx puede ser un WDM1r reutilizado del caso de coexistencia entre GPON y XG-PON, siempre y cuando la banda de longitudes de onda liberada por GPON sea la que pase a emplear 50G-PON. En este escenario únicamente hay que instalar las OLT y ONT del nuevo estándar manteniendo el resto igual.

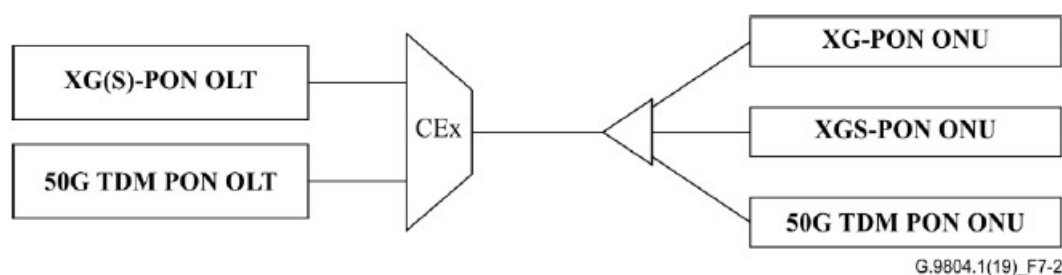


Figura 3.16. Coexistencia entre XG-PON y 50G-PON via CEx [29]

El otro escenario posible se basa en el uso de módulos multi-PON. Este formato permite que la ODN se mantenga sin modificaciones y todos los cambios importantes se producen en el extremo de la OLT, con la facilidad que admiten estos equipos para reemplazar módulos en función del tipo de estándar. No obstante, el inconveniente principal es que, si previamente no se estaba trabajando en el extremo de la OLT con elementos modulares, será necesario reemplazar la OLT XG-PON o XGS-PON por el bastidor que permita añadir tanto el módulo OLT XG(S)-PON como el nuevo para 50G-PON.

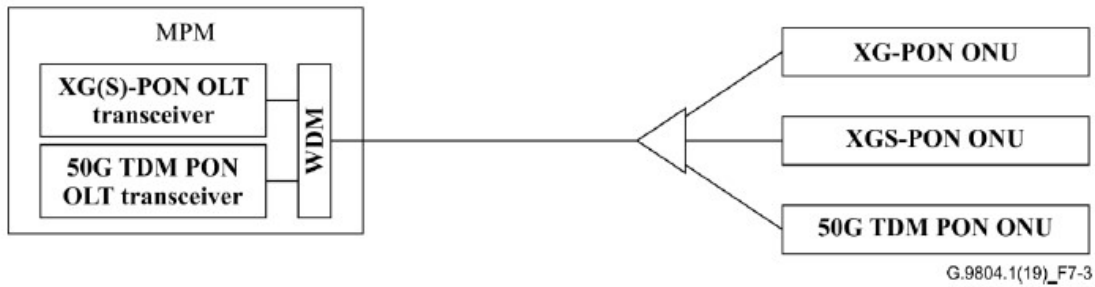


Figura 3.17. Coexistencia entre XG-PON y 50G-PON mediante MPM [29]

Caso de coexistencia entre GPON, XG(S)-PON y 50G-PON

Esta situación de triple coexistencia es la más compleja de todas. La ITU-T propone una coexistencia híbrida empleando WDM y un receptor con velocidad adaptable entre 2.5 y 50G. Esta opción es de cierto interés para los principales operadores ya que se trata de una ruta de migración asequible desde GPON a estándares superiores además de facilitar un rápido crecimiento a la última generación en situaciones donde el proveedor ya dio el primer paso de coexistencia entre GPON y XG-PON y se encuentra en mitad del proceso de migración entre estos dos estándares pero, con el nacimiento del estándar de nueva generación, le puede resultar más rentable detener parte del proceso de migración para efectuar un salto de tecnología más grande dentro de la misma red.

De esta forma, escenarios donde actualmente conviven GPON y XG(S)-PON y por tanto existe un grupo de clientes que reciben servicio en base a una tecnología y un segundo grupo adaptado a otra, pueden albergar el nuevo estándar y prepararse para adoptar una solución única, mediante la migración de todos los usuarios, sea cual sea el estándar bajo el que se ejecutan sus servicios, a una opción que unifique la red y el equipamiento sin perder la oferta de servicios y además logrando mejorar sus especificaciones.

La opción de una triple coexistencia basada únicamente en WDM requiere la identificación de un par único adicional de longitudes de onda, algo que resulta demasiado complejo pues hay que evitar interferir con los PON legados en la banda O, ya algo saturada. Este caso se encuentra bajo estudio por parte de la ITU-T.

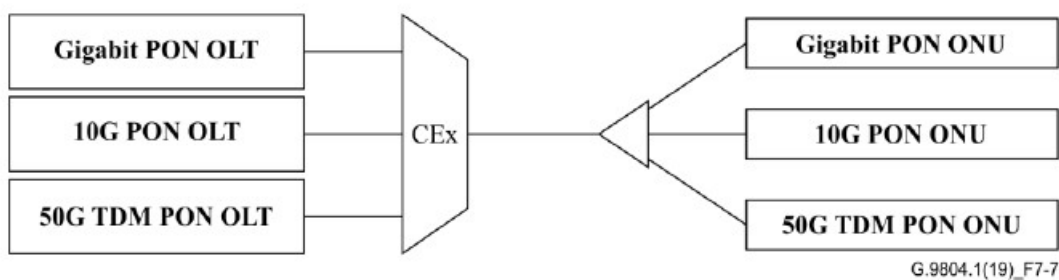


Figura 3.18. Coexistencia de 3 generaciones empleando WDM puro [29]

Por ello, la arquitectura más favorable en esta ocasión es una opción híbrida donde la coexistencia entre GPON y estándares con velocidades superiores se implementa mediante WDM mientras que XG(S)-PON y 50G-PON se aseguran mediante el uso compartido de la longitud de onda correspondiente a upstream con TDM.

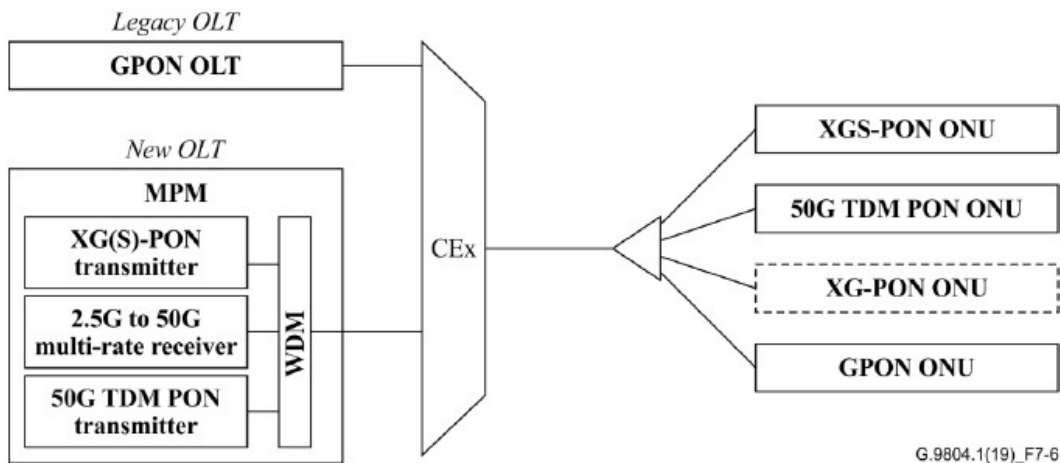


Figura 3.19. Coexistencia de 3 generaciones híbrida [29]

El resultado, como puede verse en la figura 3.17, permite mantener la OLT correspondiente a GPON, mientras que los estándares superiores se gestionan a través de una nueva OLT basada en módulos multi-PON. En este caso debe tenerse en cuenta el reparto de los canales ascendentes entre GPON y 50G-PON, siendo necesario que GPON trabaje con las bandas *narrow* o *reduced* para permitir a 50G-PON trabajar en el resto de la banda, teniendo en cuenta que la banda UW2 de este estándar estaría reservada en este caso para XG(S)-PON.

La posterior migración progresiva de todos los usuarios al estándar de nueva generación permitirá eliminar primeramente el elemento de coexistencia junto con la parte de OLT legadas al desaparecer GPON, dejando una situación parecida a la que nos encontramos en el caso de convivencia entre XG(S)-PON y 50G-PON empleando MPM, si bien en este caso continuamos empleando el receptor de velocidad adaptable y no se trata de dos OLTs totalmente diferenciadas para cada estándar.

3.5.4 Escenarios de migración PON planteados

Una vez contemplados los casos de coexistencia posibles, otro punto relevante es que dicha coexistencia evolucione hacia una completa migración desde estándares legados hacia el de nueva generación. Con esto, en primer lugar los proveedores logran mejorar las capacidades de su red y se normaliza el equipamiento empleado, resultando un escenario final compuesto por el equipamiento del estándar más avanzado. Esto permite también reducir los costes de mantenimiento al no requerir soportar tres estándares diferentes bajo la misma red y por tanto un número de equipos y tecnologías mayor.

Por otra parte, la migración hacia un estándar superior permite reutilizar la parte del espectro óptico reservada al estándar saliente, lo que se traduce en mayor capacidad operativa para el nuevo estándar y una minimización en las dificultades asociadas a interferencias entre estándares trabajando en bandas muy próximas.

En base a los anteriores escenarios de coexistencia propuestos, la ITU-T propone 3 opciones de migración que vemos a continuación:

MIGRACIÓN EN DOS PASOS

Este caso parte de un escenario de explotación basado en GPON que desea evolucionar hacia 50G-PON, pero desea un paso intermedio por XG(S)-PON. Para que esto sea posible, el primer paso es migrar GPON hacia XG(S)-PON, como hemos visto en el punto 3.5.2. Se requiere una completa migración entre estos dos estándares antes de empezar con HSP. Una vez finalizado el primer paso, se deberá retirar todo el equipamiento relativo a GPON y liberar la ventana de longitudes de onda asociada a este estándar que pasará a emplearla 50G-PON en ella, permitiendo la coexistencia con XG(S)-PON, tal como hemos visto en el escenario correspondiente del apartado 3.5.3.

Este caso puede ser una opción poco rentable para los operadores puesto que si toda la red que desea evolucionar está basada en GPON y no coexiste con ningún otro estándar, el paso lógico será proponer un escenario de coexistencia con la tecnología más novedosa de ellas. De esta forma evitamos la doble inversión y trabajo motivado por los dos pasos de migración requeridos. No obstante, esta solución también puede ser viable si el plazo en el que se lleva a cabo es muy dilatado en el tiempo. Esto es, se requiere un crecimiento en la capacidad, que XG(S)-PON puede abordar, se lleva a cabo una migración a XG(S)-PON y mucho más adelante se propone volver a ampliar la capacidad de la red empleando HSP.

Esta migración dilatada en el tiempo puede permitir incluso que ciertos proveedores que han llevado a cabo previamente migraciones a 50G-PON desde otras redes XG(S)-PON, se planteen este método de migración en dos pasos en otras redes menos saturadas, reaprovechando la planta o equipamiento desinstalado, relativo a XG(S)-PON, en las primeras migraciones hacia 50G-PON, logrando un reaprovechamiento y minimizando costes de equipamiento.

MIGRACIÓN DIRECTA A HSP/50G-PON

Este caso parte de dos posibles escenarios de explotación. Sería el caso de una red donde coexisten XG(S)-PON y 50G-PON o el caso en el que coexistan GPON y 50G-PON. La migración es en un único paso y una vez finalizada, será conveniente retirar todos los elementos del estándar saliente para permitir la unificación de equipamiento y la reutilización de las longitudes de onda que quedan libres para ampliar la capacidad del nuevo estándar. Este será posiblemente el caso que más se reproduzca entre los principales proveedores que prefieran dar el salto a una nueva tecnología con la menor inversión posible ya que, frente al anterior caso, la migración es en un solo paso y no requiere un doble trabajo de adecuación de equipamiento.

MIGRACIÓN FLEXIBLE

Este es quizá el caso más complejo pues plantea una evolución al nuevo estándar en un escenario de coexistencia de hasta 3 generaciones PON. La principal complejidad reside en el espectro óptico limitado y la reducción en las bandas de guarda entre tecnologías. A nivel operacional, también existe un nivel de complejidad mayor al tener que administrar tres tecnologías en la misma red y por tanto un mayor número de equipos desplegados.

En este caso, el proveedor puede optar por mantener las tres tecnologías en uso y llevar a cabo migraciones de clientes de una u otra tecnología más veterana de forma indistinta, aunque en este caso es recomendable priorizar la migración de los clientes que emplean GPON, para posteriormente liberar esta banda de frecuencias y adecuar el escenario a una situación de coexistencia y migración entre XG(S)-PON y 50G-PON. Esta solución sería, por tanto, un caso híbrido de la primera propuesta en dos pasos. Este caso se dará en entornos donde los proveedores ya habían iniciado un proceso de migración de GPON a XG(S)-PON, pero no ha sido completado y por necesidades del servicio es razonable progresar hacia una tecnología superior como HSP.

En cualquier caso de migración, incluida la coexistencia, la ONT y la OLT heredadas deben permanecer sin cambios y no deben requerir filtros de longitud de onda adicionales para protegerlos contra las señales HSP. En el caso de que se requiera un filtrado adicional, este debería ser preferentemente en la OLT donde el acceso puede ser más fácil y no en la ONT para evitar el exceso de trabajo motivado por los desplazamientos y actuaciones en el extremo de cada cliente.

También la atenuación de cualquier elemento que permite la coexistencia (CEx) debe ser similar a la que introducen los dispositivos WDM1r, con el fin de no comprometer el presupuesto óptico heredado. Por último, cualquiera que sea el escenario de migración que se elija, debe ser posible migrar a un cliente de una red PON heredada hacia nueva generación únicamente mediante el reemplazo de la ONT en su ubicación. [29]

3.6. Conclusiones del estudio técnico

En primer lugar y a modo de sumario, se recopilan los aspectos y datos más relevantes obtenidos en el estudio técnico, para confirmar posteriormente la viabilidad técnica.

El estándar de nueva generación 50G-PON presenta un enfoque continuista respecto a los estándares legados GPON y XG(S)-PON, facilitando el entorno de coexistencia con ellos sin renunciar a ofrecer nuevas y/o mejores capacidades. Este estándar se encuentra contenido dentro del proyecto HSP que engloba además otras opciones basadas en tecnología TWDM y PtP WDM, pero que actualmente están bajo estudio.

Las especificaciones de 50G-PON se establecen en una línea similar a las de XG(S)-PON, que a su vez ya estaban alineadas con GPON, por lo que existirá una compatibilidad con las actuales ODN y su infraestructura basada en divisores ópticos.

Respecto al plan de longitudes de onda para el nuevo estándar, se están contemplando los entornos de coexistencia posibles con GPON y XG(S)-PON al disponer dos opciones para upstream que logran un buen aprovechamiento del espectro y permiten compatibilizar la explotación del nuevo estándar junto con al menos uno de los estándares legados. Respecto al downstream para este nuevo estándar, se reserva una parte del espectro disponible actualmente.

Gracias a este planteamiento del espectro óptico, así como al empleo de tecnología similar a estándares legados, la afectación de fenómenos atenuadores o dispersión de la fibra óptica es contenida y manejable sin requerir grandes cambios en la infraestructura óptica actual. La siguiente tabla sirve como recopilatorio para una rápida comparación de los principales parámetros que definen los tres estándares tratados anteriormente:

PARÁMETRO	ESTÁNDAR		
	GPON	XGPON	50G-PON
BITRATE U / D (Gb/s)	1,2 – 2,4 / 2,4	2,5 – 10 / 10	12,5 – 25 – 50 / 50
DISTANCIA/ DIFERENCIAL (km)	10 / 20	20 / 20	20 - 60 / 20
SPLIT RATIO	1:64	1:64 / 1:128	1:128 / 1:256
RETARDO (ms)	1,5	1,5	1,5
LONGITUD ONDA UPSTREAM (nm)	1260 -1360	1260 – 1280	1290 -1310 / 1260 - 1280
LONGITUD ONDA DOWNSTREAM (nm)	1480 -1500	1575 - 1580	1310 - 1314
POTENCIA OLT (dB)	1.5<P<5	2<P<6	5,5<P<11
SENSIBILIDAD OLT (dB)	-28	-29.5	-24,5
POTENCIA ONT (dB)	0.5<P<5	2<P<7	5<P<9
SENSIBILIDAD ONT (dB)	-27	-28	-24

Tabla 3.8. Comparativa principales parámetros Estándares PON

Respecto a los escenarios de coexistencia y migración, cabe destacar que 50G-PON si puede convivir con estándares legados, pero será necesaria la adecuación de la red, añadiendo elementos de coexistencia o multiplexación. Además, la migración de un estándar legado a 50G-PON podrá llevarse a cabo de forma suave y minimizando el impacto para el cliente final, si bien es cierto que no será totalmente transparente para él.

Respecto a los métodos de coexistencia propuestos, cabe destacar que el empleo de MPM puede ofrecer ciertas mejoras técnicas y de costes con respecto al uso de CEx a la hora de desplegar a gran escala. El uso de MPM en primer lugar puede facilitar el ahorro de espacio y consumo de energía además de simplificar los trabajos de despliegue e ingeniería, al basarse en módulos o tarjetas fácilmente reemplazables. Sería posible, por ejemplo, sustituir un módulo dedicado a GPON o XG(S)PON por uno para 50G-PON, empleando el mismo slot del bastidor y pudiendo. Estos reemplazos pueden significar cortos periodos de tiempo de corte para los clientes o incluso no generar afectación más a que a los clientes asociados al slot que se reemplaza.

En el caso de empleo de CEx preinstalados en un primer despliegue, es cierto que su sustitución por versiones actualizadas que admitan el uso de nuevos estándares puede ser relativamente sencillo, pero en caso de no existir en la red previo a la aparición de una necesidad de coexistencia, los trabajos de agregación pueden resultar más complejos que en el caso de MPM. Actualmente el empleo de MPM ha crecido en aceptación entre los operadores de todo el mundo y suele ser la vía más utilizada para actualizar redes GPON a redes XG(S)PON.

En conclusión, podemos afirmar que el trabajo es técnicamente viable y la infraestructura óptica actual puede ser reutilizada por el nuevo estándar, pero se requieren una serie de adaptaciones. En primera instancia la incorporación de elementos facilitadores de la coexistencia y posteriormente las modificaciones que permiten la migración definitiva al nuevo estándar, como son, en el extremo del cliente, la sustitución del equipo terminal ONT, o en el propio nodo del proveedor, la adaptación y/o sustitución de las OLTs.

4. ESTUDIO ECONÓMICO

En este capítulo se recoge el análisis desde el punto de vista económico, de la viabilidad del despliegue del nuevo estándar 50G-PON sobre la infraestructura óptica ya heredada. En el anterior capítulo y como condición previa para esta parte, hemos podido verificar la viabilidad técnica de la propuesta, conociendo que, aunque la migración es posible, se requieren una serie de modificaciones o adaptaciones en la red, que deberán ser tenidas en cuenta para esta parte.

Las tecnologías referidas en HSP son relativamente novedosas y por ello, actualmente no contamos con un catálogo de productos y costes por parte de los principales fabricantes. Es cierto que 50G-PON se presenta como una solución con muchos elementos en común con los anteriores estándares, lo que a priori facilitará el proceso de fabricación de los equipos asociados a este estándar y no deberían preverse unos costes mucho más elevados que los actuales para equipos de estándares legados, a diferencia de lo que ocurría por ejemplo con NG-PON2 donde, por las características específicas del estándar y la falta de competencia entre fabricantes, los precios podían llegar a ser el doble de los asociados a G-PON o XG-PON.

Además, respecto al escenario a tratar, el análisis pretende desarrollarse desde un punto de vista teórico. La opción de estudiar casos reales sería útil pero cada escenario real tiene unas características que lo hacen particular y estudiar uno solo de ellos podría no ser totalmente concluyente, mientras que intentar estudiar todos los posibles casos reales se escapa del propósito de este proyecto. Junto con ello, la mayoría de datos relevantes, así como el formato o equipamiento que componen la infraestructura suelen ser datos privados de cada proveedor, por tanto, la propuesta de estudio de casos reales se vuelve compleja.

Por tanto, se ha decidido plantear un escenario teórico, que pueda englobar una gran parte de los casos que se dan en localidades o emplazamientos urbanos y que sirva para validar si realmente es viable la reutilización de infraestructura óptica en términos de costes frente a un caso de despliegue partiendo de cero, sin infraestructura previa. Junto con ello, tal como indicábamos anteriormente, al no existir un catálogo disponible por parte de los principales fabricantes, se propone emplear un catálogo actual cuyos precios serán compensados al alza aplicando un factor multiplicador 1,2 para equilibrar la diferencia de costes que puede suponer la nueva tecnología, teniendo en cuenta que los diseños de los equipos asociados a este nuevo estándar podrían reaprovechar tecnología propia de los de estándares legados.

4.1. Escenario planteado

Hemos valorado diferentes opciones, apostando finalmente por una propuesta que pueda ser homogénea en cuanto a la infraestructura, capacidad y entorno pero que también valore la situación más comprometida para poder representar y comparar un “peor caso” brownfield frente a un escenario greenfield equivalente.

Se propone por tanto estudiar un entorno urbano y/o residencial donde se ofrece cobertura de banda ancha a unos 1000 clientes. Puesto que hoy en día es muy frecuente que los clientes contraten servicios basados en FTTH en sus viviendas y hay un número mucho menor de casos en los que se hace uso de redes basadas en par de cobre o incluso no existe ningún servicio contratado de esta índole, se propone una tasa de penetración de en torno al 90%. De esta forma, pese a que la arquitectura de la planta externa esté distribuida para llegar al total de clientes propuesto, se asumen que solo el 90% de ellos opten por FTTH como el medio de banda ancha contratado en su vivienda o negocio.

Puesto que 50G-PON es un estándar reciente para el que no se prevé, a priori, un despliegue hasta dentro de unos años, debemos valorar que el entorno en el que nos situaremos cuando llegue el caso en el que se desee empezar a desplegar este estándar de nueva generación no será exactamente el que podemos tener ahora. La demanda de los actuales y potenciales nuevos clientes habrá aumentado y será fácil encontrar entornos donde impere el uso del estándar XG(S)-PON o en todo caso se encuentren ya conviviendo G-PON y XG(S)-PON. Una vez valoradas todas las posibilidades de coexistencia en el capítulo de estudio técnico, parece relevante que el caso de estudio en este capítulo sea el más polivalente pero también el más complejo o que más cambios requiera, para cumplir con la idea de proponer una comparación con el peor caso posible, es decir, hablamos de plantear un escenario de coexistencia entre 50G-PON y los dos estándares legados, G-PON y XG(S)-PON juntos.

Partimos entonces de una situación en la que G-PON y XG(S)-PON ya están conviviendo en la misma infraestructura y, a efectos técnicos, 50G-PON puede emplear la parte de frecuencia de banda UW1 sin interferir en la banda empleada por G-PON (por ejemplo, por la adaptación de G-PON a banda “narrow”). En la planta ya existen elementos de coexistencia para facilitar la convivencia entre G-PON y XG(S)-PON tal como veíamos en la figura 3.13 pero será necesario hacer modificaciones para adaptarlas a la inclusión del nuevo estándar. El escenario final deberá ser muy similar al de la figura 3.20 donde se instalan bastidores para módulos multi-PON que llevarán lo correspondiente a XG(S)-PON y 50G-PON, manteniendo las OLT de G-PON y reemplazando los CEx (WDM1r) por los equivalentes que admitan la explotación del nuevo estándar.

Para poder validar, a efectos económicos, que la propuesta de reutilizar la infraestructura óptica es viable y más rentable que el caso de efectuar un despliegue desde cero, compararemos este caso de reutilización con uno basado en un escenario greenfield donde se desplegará desde cero empleando únicamente el estándar 50G-PON, al ser la tecnología con mayores especificaciones y lógicamente la propuesta por la que más proveedores se inclinarían si partieran desde cero, para que su planta desplegada cuente con capacidad y características suficientes para explotarla durante el tiempo suficiente para rentabilizar la inversión y disponer de un producto competente en el mercado.

Al margen de los equipos activos y elementos que posibilitan la coexistencia entre los 3 estándares, se asume que toda la infraestructura pasiva (fibras, conectores, splitters y demás elementos típicos desplegados en redes FTTH) se mantendrán igual y son plenamente compatibles tanto con el nuevo estándar como con los equipos propios de éste. En cuanto al diseño de la infraestructura legada, se dispondrá una red de acceso genérica donde cada ODN esté formada por dos niveles de división, ya que este formato ha sido bastante empleado en despliegues de fibra hasta la fecha y estamos reaprovechando esta infraestructura. Una primera etapa de división será 1:4 y la segunda etapa tendrá una división 1:16. De esta forma el ratio de división será de 1:64 por cada ODN.

Se considera que el total de clientes a cubrir estará ubicado en un entorno urbano de superficie inferior a 6km². Esto quiere decir que, aunque el nodo encargado de proveer los servicios se encuentre en uno de los extremos, estaremos dentro de los valores propuestos en cada estándar como máximos de distancia o distancia diferencial y no existirán problemas de alcance.

A continuación, se recopila, a modo de resumen, las características del escenario:

- Entorno urbano con cobertura para hasta 1000 potenciales clientes
- Previsto un 90 % de penetración → **900 clientes**
- ODN con **Split-ratio 1:64** → $900 / 64 = 14,06$ → **15 ODNs planta total**
- **Coexistencia** entre G-PON, XG(S)-PON y 50G-PON
- Distancia y distancia diferencial de fibra dentro del rango máximo

4.2. Solución propuesta

El caso de estudio propone una migración completa de clientes a 50G-PON. Esta migración deberá ser progresiva y por tanto debe facilitarse la coexistencia entre este nuevo estándar y los legados. Partiendo de que la arquitectura prevista es similar a la contenida en la figura 3.20 y que ya existía una coexistencia previa entre G-PON y XG-PON en esta red, se requerirán los siguientes cambios en cada ODN:

- Reemplazo del elemento de coexistencia WDM1r por el equivalente compatible con los 3 estándares. Al no existir en el mercado un modelo destinado a cubrir el estándar 50G-PON se propone un equivalente de la familia **Telnet WaveCEX** [Anexo 1].
- Inclusión de bastidor para módulos PON en el nodo del proveedor de servicio. Este bastidor será tipo **Huawei MA5800-X2**, que permite hasta 2 slots de 16 PON, lo que puede ofrecer servicio hasta 2048 clientes si se emplea Split ratio de 1:64. [Anexo 2]
- Tarjeta **Huawei H902CSHF Combo XGS-PON y GPON** con 16 puertos válida para bastidor MA5800, capaz de ofrecer servicio a 1024 clientes. Será representativa de una tarjeta tipo Combo para 50G-PON al no disponer de modelos en el mercado. Se incluyen los módulos SFPs [Anexo 3].
- En el extremo cliente se reemplazará la ONT del estándar anterior por la equivalente para 50G-PON. Se propone el uso del modelo **Huawei EN8145X6** para XG-PON con Wi-Fi 6 como elemento representativo de una ONT equivalente para 50G-PON al no disponer de modelos en mercado. Cada ODN dará servicio hasta 64 clientes, por tanto se preverán un total de 64 elementos de este tipo [Anexo 4].
- Se mantiene la OLT que actualmente esté empleando GPON.

En la siguiente tabla se resume el total de unidades de componentes necesarias, así como el coste de cada una de ellas (impuestos no incluidos):

ELEMENTO	POR ODN	EN TOTAL 15 ODNs	COSTE UNITARIO	COSTE TOTAL
ONT	64	960	78,50€	75.360,00€
CHASIS OLTs	1*	1	2.850,00€	2.850,00€
TARJETA COMBO	1*	1	5.250,00€	5.250,00€
WDM1r	1	15	1.000,00€	15.000,00€

Tabla 4.1. Elementos a incluir y costes [33]

*Tanto el chasis para OLTs como la tarjeta combo son comunes para el total de las 15 ODN.

Teniendo en cuenta que en la mayoría de los casos hablamos de equipos representativos, al no existir catálogo actualmente para 50G-PON, aplicaremos un factor multiplicador de 1,2 para amortiguar la diferencia de costes que podría implicar la nueva tecnología, resultando entonces los siguientes costes:

ELEMENTO	COSTE TOTAL	COSTE TOTAL COMPENSADO
ONT	75.360,00€	90.432.00€
CHASIS OLTs	2.850,00€	2.850,00€**
TARJETA COMBO	5.250,00€	6.300,00€
WDM1r	15.000,00€	18.000,00€
COSTE TOTAL		117.582,00€

Tabla 4.2. Costes compensados

**El chasis para nuestro caso podría ser valido tanto para el nuevo estándar como para los anteriores, por lo que no se compensa en este caso el coste previsto.

El coste total asociado al despliegue de 50G-PON sobre una infraestructura ya desplegada, permitiendo la coexistencia y migrando al total de los clientes del escenario propuesto, asciende a **117.582,00€**. Este coste está referido al equipamiento que sería necesario reemplazar o instalar ya que partimos de una situación donde podemos reutilizar los elementos pasivos, así como parte de la planta desplegada, fundamentalmente la relativa a GPON en el extremo de la OLT. Este coste contempla una migración completa pero no tendría por qué llevarse a cabo de forma íntegra, podría efectuarse una migración de los clientes bajo demanda o de forma escalonada. De esta forma solo sería necesario efectuar la inversión correspondiente al equipamiento del extremo OLT, es decir chasis, tarjeta y reemplazo de elementos de coexistencia, mientras que los costes relativos a la ONT se podrían dividir en tramos, correspondientes a la adquisición de lotes más pequeños en lugar de adquirir el total de ONTs equivalente al número de clientes que está previsto cubrir.

No obstante, esta propuesta puede no ser tan rentable ya que muchos fabricantes o proveedores de este equipamiento podrán ajustar la oferta en función del número de unidades adquiridas, siendo quizá más rentable a largo plazo una compra del total de ONTs requeridas que fragmentar la compra en pequeños pedidos que pueden incrementar el coste unitario al solicitar al fabricante un menor número de unidades por pedido. Esta decisión podría tomarse con la ayuda de estudios que analicen las tendencias y previsiones de demanda por parte de los clientes.

Este coste total puede ser fácilmente amortizado si repercutimos al cliente la inversión. Suponiendo un actual cliente con servicios basados en GPON o XG(S)-PON al que se le ofrece un servicio de 600Mb/s de banda ancha a un coste de 30€ mensuales, es posible plantear una oferta de 1,25Gb/s simétricos para todos los clientes de este caso, tal como ya comentábamos en el capítulo 3.4 de este mismo documento, elevando el coste mensual para el cliente hasta 40€, lo que se traduce en un incremento de 10€ mensuales por cliente. El cambio de tarifa incluiría, sin sobrecoste, el reemplazo de la ONT por un modelo superior, con nuevas funcionalidades o Wifi 6, lo que aporta un valor añadido que puede hacer la oferta más atractiva para el cliente.

Si el total de los clientes eligiera este nuevo servicio, estaríamos hablando de un incremento anual de 10€ x 12 mensualidades x 900 clientes, es decir 108.000€ anuales. Teniendo en cuenta que el cambio de tarifa y servicio implica también el coste del personal para reemplazar la ONT en el extremo cliente más la parte proporcional de recursos profesionales para implantar y configurar el nuevo equipamiento en la planta, podríamos afirmar que la inversión sería amortizada en un plazo inferior a 2 años. Cabe destacar también que si la repercusión hacia el cliente la fijáramos en un incremento de solo 5€ por mensualidad, el plazo de amortización se ampliaría solamente hasta aproximadamente los 3 años en esta situación.

Si, por el contrario, solo la mitad de los clientes decidiera contratar esta modalidad, el incremento de ganancias sería de 10€ x 12 mensualidades x 450 clientes, es decir 54.000€ anuales. Este caso, aun suponiendo que hemos hecho la inversión para adquirir el total de ONTs necesarias, aunque empleemos actualmente la mitad de ellas, nos plantea un escenario de amortización posible en unos 3 años. Considerando la vida útil de la infraestructura y equipamiento a explotar, se consideran buenas cifras de amortización.

La nueva oferta puede permitir que el proveedor sea competitivo puesto que el incremento de costes para el cliente es asumible y en un plazo medio, tras amortizar la inversión, es posible ajustar las tarifas a la baja, en beneficio de éste, logrando así que el proveedor y los servicios que oferta sigan resultando atractivos para clientes actuales y potenciales.

4.3. Comparación escenario brownfield vs greenfield

Para poder confirmar la rentabilidad que supone a los proveedores reemplazar o no la infraestructura óptica existente, es necesario también analizar el coste total que supondría el despliegue de una red FTTH basada en 50G-PON en un escenario greenfield. Como una aproximación teórica, dado que no nos ha sido posible acceder a datos propios de los operadores, consideraremos que un 70% del presupuesto destinado a un despliegue FTTH suele dedicarse a la propia infraestructura de planta externa, entendiéndose ésta como la formada por toda la obra civil, canalizaciones, tiradas de fibra y cajas de empalme, así como los trabajos de conectorización, fusiones de fibra, medidas y certificaciones de la red.

Esta parte del presupuesto es una aproximación teórica, asociada generalmente a entornos urbanizados donde el esquema de despliegue no presenta grandes impedimentos. Evidentemente, se trata de un ejemplo de tipo teórico al no disponer de datos de costes reales de los operadores y la realidad puede llegar a diferir en mayor o menor medida a lo que aquí se recoge.

El 30% restante aproximadamente supone la electrónica de red, tal como los equipos de cabecera y la parte correspondiente de suministro energético, hosting y adecuación (climatización, racks, etc).

Los costes calculados en el punto 4.2 no tenían en cuenta estos últimos elementos ya que se consideraba reaprovechada, además de la parte de planta externa, la ubicación y elementos adicionales con los que ya contábamos anteriormente. Además, puesto que se trata de un escenario nuevo, donde no hay un entorno de coexistencia, podremos ahorrar los costes destinados a los elementos de coexistencia, esto es 15.000€ en nuestro caso propuesto. Partiendo de esto último y nuevamente destacando que estamos tratando con una propuesta teórica, añadiremos una partida adicional para los elementos auxiliares necesarios, tales como SAI o rectificadores, baterías, climatización y elementos de control y gestión de en torno a 50.000€, que redondeará el coste total de la electrónica hasta los **150.000,00 €**, entendiendo esta cifra como un 30% del coste total de despliegue en un escenario greenfield con las características supuestas en el punto 4.1.

ELEMENTO	PARTE DEL PPTO	COSTE TOTAL
OBRA CIVIL E INSTALACIÓN OPTICA	70%	350.000,00€
ELECTRÓNICA DE RED / CABECERA	30%	150.000,00€
COSTE TOTAL		500.000,00€

Tabla 4.3. Costes Escenario Greenfield

El coste total de un despliegue en un escenario greenfield en el supuesto teórico planteado con las características definidas en el punto 4.1 ascenderá a **500.000,00€**. La partida destinada a obra civil e instalación de la red óptica pasiva implica aproximadamente un 70% del total, lo que en nuestro caso se traduce en una cifra de en torno a **350.000 €**.

Si comparamos los escenarios propuestos, podemos destacar que es económicamente más rentable reutilizar la infraestructura óptica heredada que plantear un despliegue desde cero. Concretamente supone un ahorro del doble del coste que supone modificar la electrónica de red planteado en el punto 4.2

ESCENARIO	COSTE TOTAL
GREENFIELD	500.000,00€
BROWNFIELD	117.582,00€

Tabla 4.4. Comparativa costes

4.4. Conclusiones del estudio económico

A igual que planteábamos en el capítulo de estudio técnico, se recoge, a modo de sumario, los principales datos o ideas obtenidas en este capítulo.

- El escenario planteado es un entorno urbano en el que se concentran 1000 clientes, con una capacidad de penetración del 90% y donde ya existe un escenario de coexistencia entre GPON y XG(S)-PON.
- La solución propuesta para reaprovechar la infraestructura óptica heredada contempla sustituir las ONTs y reaprovechar parte de la electrónica de red del extremo del proveedor, manteniendo la OLT para GPON e incorporando módulos Multi-PON. Será necesario también reemplazar el elemento de coexistencia por el formato compatible con el nuevo estándar. El resto de la infraestructura pasiva quedara igual. El coste total podría amortizarse fácilmente repercutiéndoselo al cliente
- En un escenario greenfield, además de la electrónica de red, la partida más importante es la destinada a la obra civil e instalación de la infraestructura óptica pasiva. Esta partida puede suponer el 70% del coste total para un despliegue de FTTH con el estándar de nueva generación.
- Si comparamos los dos escenarios planteados, se destaca claramente que el caso de reutilización de la red PON heredada es mucho más rentable que tratar de desplegar toda la infraestructura desde cero.

Podemos concluir, desde el punto de vista económico, que reutilizar la infraestructura óptica heredada es la opción más viable. Optar por esta vía frente a un nuevo despliegue desde cero puede suponer un ahorro de hasta tres veces la inversión que se requeriría para reaprovechar la infraestructura óptica existente. Además, el coste que debemos asumir para optar a explotar el nuevo estándar en coexistencia con los otros estándares legados puede llegar a ser fácilmente amortizable si hacemos partícipes de dicho coste a los clientes, entendiéndose esto como una adecuación de la tarifa que abonarían a cambio de una oferta de servicios mejorada.

Cabe destacar nuevamente que el estudio económico llevado a cabo es de un perfil puramente teórico y su validez en campo vendrá condicionada por las particularidades del escenario de aplicación, por tanto, las cifras obtenidas son solo una estimación, teniendo en cuenta la inexistencia de catálogos comerciales de equipamiento asociado al estándar 50G-PON a la fecha de redacción del presente documento, así como la dificultad para obtener datos presupuestarios más acotados sobre los costes de despliegue de una red PON de similares características a la planteada en este documento, en lo que a obra civil e instalación óptica pasiva se refiere.

5. CONCLUSIONES

En primer lugar, destacar que el objetivo del trabajo se ha cumplido de forma satisfactoria. El fin principal era poder validar, desde un punto de vista tanto técnico como económico, la viabilidad de la puesta en servicio de un nuevo estándar PON partiendo de un entorno ya heredado y demostrar que es posible tanto la coexistencia con estándares legados como incluso una migración amortiguada de éstos hacia el nuevo estándar.

Desde el aspecto técnico, pese a que la tecnología objeto de estudio es bastante novedosa y aún no hay una gran base en torno a ella, creo que si ha sido posible analizar los aspectos más relevantes de este estándar de cara al objetivo que nos planteábamos. Aunque la ITU no prevé la explotación de 50G-PON hasta dentro de varios años, su enfoque está centrado en facilitar un entorno de coexistencia con estándares legados y una migración suave con una mínima afectación para los clientes y varias posibilidades de adecuación para los proveedores en función del escenario en el que se deba aplicar. El estándar 50G-PON es una evolución de los anteriores GPON y XG(S)-PON necesaria y capaz de hacer frente a las futuras demandas previstas, sin requerir una importante revolución en la forma en la que se explotan las redes FTTx como hasta ahora.

Sin embargo, en el ámbito económico ha resultado más complejo trabajar con escenarios reales o datos más ajustados al equipamiento que se asociaría a dicho nuevo estándar. No ha sido posible encontrar la suficiente documentación para plantear un escenario lo más real posible, los proveedores con los que se ha contactado aún no disponen de equipos adecuados para este estándar y la diversidad de entornos físicos donde encontramos despliegues FTTH hacen que un estudio económico pormenorizado, atendiendo a las diferencias entre cada escenario, se escape del objeto de este trabajo, debido a la magnitud del mismo.

Por todo ello se ha decidido optar por plantear un entorno tipo, que posiblemente sea común a muchas áreas residenciales a nivel estatal y puede servirnos para tomar conciencia de la diferencia de costes que supone reutilizar una red ya desplegada frente a partir de cero, que es el, en el fondo, el dato que realmente nos importa conocer en este caso. No obstante, vuelvo a destacar que se tratan de propuestas teóricas aproximadas y deberán ser revalidadas en campo, adecuándose a cada situación y variación de costes.

A nivel personal, me gustaría destacar que he logrado ampliar mis conocimientos en la materia y tecnologías asociadas al objeto de estudio de este trabajo. He logrado también analizar y comprender de una forma más ágil la información que aportan importantes instituciones en materia de telecomunicaciones, como es la ITU, a través de los estándares estudiados en este trabajo, además de lograr mejorar mis aptitudes en labores de investigación. Creo que resulta relevante adquirir ciertos conocimientos y capacidades gracias a la investigación. Esto permite mejorar nuestra faceta de

formación autodidacta y facilita que amplíemos conocimiento en otras áreas que, en ocasiones, porque no forman parte de nuestro día a día en el entorno profesional o porque nos resultan difíciles de abordar, solemos dejar de lado.

Además, el tema tratado, personalmente me ha resultado relevante y de interés. Se trata de una tecnología que forma parte intrínseca de la vida de muchas personas, pues hoy en día, fundamentalmente en grandes núcleos urbanos, es extraño no disponer de un servicio de internet o triple-play en el hogar, basado en FTTH, donde tarde o temprano aparecerán nuevas demandas, nuevas necesidades que requieren que la tecnología crezca y evolucione, punto en el que estándares de nueva generación como 50G-PON cobren fuerza, sean una realidad y propicien un entorno como el estudiado en este trabajo, basado en el reaprovechamiento de las infraestructuras actuales y la migración entre estándares para adaptarse a las nuevas necesidades, logrando minimizar el impacto económico que estoy conlleva.

Respecto a la planificación y metodología, en términos generales, se han llevado a cabo tal como se propusieron al inicio del trabajo. El tiempo dedicado para cada bloque de trabajo ha sido adecuado y no se han apreciado grandes contratiempos en la planificación ni ha sido necesario modificar el esquema de trabajo previsto. Si es cierto que la metodología ideada para el aspecto económico ha requerido ciertas adecuaciones motivadas por la falta de datos fiables para elaborar un estudio de mayor enjundia. No obstante, se han logrado obtener conclusiones positivas en base al planteamiento propuesto.

Es importante destacar también que, de acuerdo con la información consultada y los resultados obtenidos, se perciben líneas de trabajo futuro que actualmente no se han podido estudiar a fondo por la falta de madurez del estándar objeto de estudio. Se trata principalmente de las otras propuestas englobadas dentro de HSP, concretamente 50G TWDM y PtP para las que actualmente la ITU-T no ha presentado especificaciones concretas pues aún se encuentran bajo estudio, pero que tendrán una cierta relevancia en un corto plazo y será interesante analizar si para ellas aplicarán de la misma forma los casos de coexistencia y si las diferencias en la arquitectura de red particularizada para ellas requerirá efectuar modificaciones o inversiones en la infraestructura óptica de mayor envergadura que las propuestas para que 50G-PON coexista con otros estándares legados.

Otra línea de trabajo podrá estar enfocada en la aportación que 50G-PON puede dar a la explotación de redes de telefonía móvil de 5^o generación, que presentan mayores exigencias respecto a ancho de banda, latencia y calidad de servicio. El enfoque, respecto a esta idea, estaría basado en lograr desplegar servicios de banda ancha fija y móvil a través de la misma red, facilitando el despliegue de redes de acceso radio. Las redes móviles de nueva generación ofrecerán un ancho de banda significativamente mayor, pero requerirán más puntos de acceso para lograr una correcta cobertura. Este despliegue masivo de "small-cells" y su conectividad puede respaldarse aprovechando la red FTTH y la capacidad que ofrece 50G-PON, reduciendo la necesidad de redes de transporte móvil dedicada y permitiendo una reutilización de los activos de fibra disponibles.

6. GLOSARIO

2G	Segunda Generación de Telefonía Móvil
3G	Tercera Generación de Telefonía Móvil
4G	Cuarta Generación de Telefonía Móvil
5G	Quinta Generación de Telefonía Móvil
50G-PON	50 Gigabit Passive Optical Network
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AF	Adaptation Function
AON	Active Optical Network
CAPEX	Capital Expenditure
CEx	Coexistence Element
CG	Channel Group
CNMC	Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia
CT	Channel Terminal
DS3	Estándar de entramado basado en PCM que soporta 28 líneas T1
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
E1	Estándar de transmisión digital que consta de 32 canales 64Kb
E3	Estándar de transmisión digital que soporta 16 E1s
FCAPS	Fault, Configuration, Accounting, Performance and Security
FEC	Forward Error Correction
FSAN	Full Service Access Network
FTTH	Fiber to the Home
FTTx	Fiber to the "x" (any type of)
GPON	Gigabit Passive Optical Network
GSM	Global System for Mobile communications

HFC	Hybrid Fiber-Coaxial
HSP	Higher Speed PON
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
IPTV	Internet Protocol Televisión
ITU	International Telecommunication Union
MPM	Multi-PON Module
NE	Network Element
NGPON	Next Generation Passive Optical Network
NRZ	Non Return to Zero
ODN	Optical Distribution Network
OLT	Optical Line Terminal
ONT	Optical Network Termination
ONU	Optical Network Unit
OOK	Modulación On-Off Keying
OPEX	Operational Expenditure
OPL	Optical Path Length
OPP	Optical Path Penalty
PMD	Physical Medium Dependent
PON	Passive Optical Network
POTS	Plain Old Telephone Service, o Servicio Telefónico Convencional
PtM	Point to Multipoint
PtP	Point to Point
RF	Radio Frequency
RS	Reed-Solomon
SMF	Single-Mode Fiber

T1	Estándar de transmisión digital que consta de 24 canales 64Kb
TDEC	Transmitter and Dispersion Eye Closure
TDM	Time Division Multiplexing
TDMA	Time Division Multiple Access
TWDM	Time Wavelength Division Multiplexing
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VPN	Virtual Private Network
WBF	Wavelength Block Filter
WDM	Wavelength Division Multiplexing
XDSL	“X” (any type of) Digital Subscriber Line
XG-PON	10 Gigabit Passive Optical Network
XGS-PON	Symmetric 10 Gigabit Passive Optical Network

7. BIBLIOGRAFÍA

Para la redacción del presente documento se han consultado las siguientes fuentes:

[1] OTT Global Viewpoint – July 2017

URL: <https://www.thebroadcastbridge.com/home/category/ott/entry/9017/cisco-says-global-consumer-ip-traffic-to-reach-233-eb-per-month-by-2021>

Fecha Consulta: 02/2022

[2] FSAN Roadmap

URL: <https://www.fsan.org/roadmap/>

Fecha Consulta: 02/2022

[3] Fiber To The Home

URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_hasta_la_casa

Fecha Consulta: 02/2022

[4] Autor: Derek Nettet. Título: The Progress of Higher Speed Passive Optical Network Standardisation in ITU-T. 2021 European Conference on Optical Communication (ECOC)

[5] Recommendation ITU-T G.9804-3. 50-Gigabit-capable passive optical networks (50G-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. 09/2021

[6] El principio del fin de las redes de cobre

URL: <https://historiatelefonía.com/2017/04/29/el-principio-del-fin-de-las-redes-de-cobre/>

Fecha Consulta: 03/2022

[7] Penetración de accesos xDSL, HFC y FTTH por tipo de municipio. Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia

URL: <https://www.cnmc.es/prensa/informe-geografico-banda-ancha-cnmc-20211223>

Fecha Consulta: 03/2022

[8] Sobre la Unión Internacional de Telecomunicaciones

URL: <https://www.itu.int/es/about/Pages/default.aspx>

Fecha Consulta: 03/2022

[9] About Institute of Electrical and Electronics Engineers

URL: <https://www.ieee.org/about/index.html>

Fecha Consulta: 03/2022

[10] About FSAN

URL: <http://www.fsan.org/>

Fecha Consulta: 03/2022

[11] Autores: Josep Maria Fàbrega, Simó Graells. Título: Topologías de redes de fibra óptica y gestión de fallos. Universitat Oberta de Catalunya. 09/2014

[12] Monomodo vs Multimodo. Multiplay Telecomunicaciones
URL: <https://www.multiplay.com.pe/blog/posts/detalle.php?id=12>
Fecha Consulta: 03/2022

[13] FTTH Council Europe
URL: <https://www.ftthcouncil.eu/>
Fecha Consulta: 03/2022

[14] Diseño e Implementación de redes FTTx. Viavi Solutions
URL: <https://www.viavisolutions.com/es-es/disenio-e-implementacion-de-redes-fttx>
Fecha Consulta: 03/2022

[15] AON vs PON Networks. Which one to choose for FTTH systems
URL: <http://www.fibersplitter.com/info/aon-vs-pon-networks-which-one-to-choose-for-f-35911490.html#:~:text=AON%20vs%20PON%20Networks%3A%20Distancia,de%20la%20se%C3%B1al%20de%20origen>
Fecha Consulta: 03/2022

[16] FTTH Access Networks – AON vs. PON
URL: <https://www.fiber opticshare.com/ftth-access-networks-aon-vs-pon.html>
Fecha Consulta: 03/2022

[17] Red Óptica Pasiva PON. Viavi Solutions
URL: <https://www.viavisolutions.com/es-es/red-optica-pasiva-pon>
Fecha Consulta: 03/2022

[18] ¿Cómo medir potencias en una ONU y OLT?
URL: <https://forum.huawei.com/enterprise/es/%C2%BFc%C3%B3mo-medir-las-potencias-transmitidas-y-recibidas-en-una-onu-y-olt/thread/540285-100275>
Fecha Consulta: 03/2022

[19] Red Óptica Pasiva. Wikipedia
URL: https://es.wikipedia.org/wiki/Red_%C3%B3ptica_pasiva
Fecha Consulta: 03/2022

[20] Understanding the PON standar evolution with one picture. C-Data Technology
URL: <https://cdatatec.com/understanding-the-pon-standard-evolution-with-one-picture/>
Fecha Consulta: 03/2022

[21] Composición del sistema de fibra óptica. UnitekFiber
<https://es.unitekfiber.com/ftth.html>
Fecha Consulta: 04/2022

- [22] GPON y GPON Doctor. Introducción y Conceptos Generales. Adolfo García Yagüe. Telnnet Redes Inteligentes
URL: [GPON Introducción y Conceptos Generales \(ccapitalia.net\)](http://ccapitalia.net)
Fecha Consulta: 04/2022
- [23] Recommendation ITU-T G.984.1. Gigabit – capable passive optical networks (GPON): General characteristics. 03/2008
- [24] Recommendation ITU-T G.984.2. Gigabit – capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification. 08/2019
- [25] Recommendation ITU-T G.984.5. Gigabit – capable passive optical networks (GPON): enhancement band. 05/2014
- [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] Autores: Dezhi Zhang, Dekun Liu, Xuming Wu and Derek Nettet. Título: Progress of ITU-T higher speed passive optical network (50G-PON) standardization. Journal of Optical Communications and Networking Vol. 12, No 10. October 2020
- [29]. Recommendation ITU-T G.9804.1. Higher Speed Passive Optical Networks – Requirements. 11/2019
- [30]. 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: Optical Link Design. Journal of Optical Communications and Networking Vol. 8. 2016.
- [31] Recommendation ITU-T G.989.2. 40-Gigabit – capable passive optical networks 2 (NG-PON2): Physical media dependent (PMD) layer specification. 02/2019
- [32] Recommendation ITU-T G.9807.1. 10-Gigabit – capable symmetric passive optical network (XGS-PON). Amendment 2 10/2020
- [33] Anvimur Telecomunicaciones. Catálogo Online
URL: <https://www.anvimur.com/es/32-material-fibra-optica>
Fecha Consulta: 05/2022

8. ANEXOS

ANEXO 1. WAVECEX DATASHEET



WaveCEx: WDM module for PON coexistence

GPON, XGS-PON, NG-PON2, RF, OTDR



WaveCEx: WDM module for PON coexistence (CEx)*

Features

WDM module or coexistence element designed to enable the implementation of PON access network evolutions such as XGS-PON and NG-PON2. Designed for scenarios in which services are already offered using GPON and it is desired to deploy new FTTH access technologies, allowing not only the coexistence of all of them, but the OTDR and RF signals too.

GPON and NG-PON wavelengths:

- GPON: 1290-1330nm & 1480nm-1500nm
- XGS-PON: 1260-1280nm & 1575nm-1580nm
- NG-PON2: 1524-1544nm & 1596-1603nm
- NG-PON2+PiP: NG-PON2 + 1603-1625 nm

OTDR and RF wavelengths:

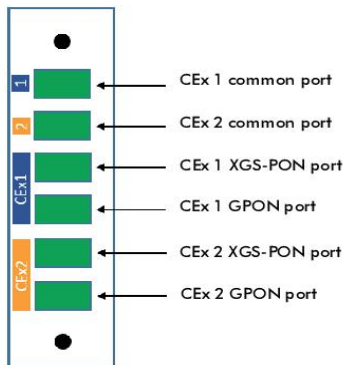
- OTDR: 1625-1675nm
- RF: 1550-1560nm

KEY FEATURE

Coexistence of new PON technologies:
Variety of WaveCEx modules for different coexistence scenarios between GPON and new PON generation (NG-PON), specifically XGS-PON and NG-PON2

WaveCEx

The device contains one or two WDM elements depending on the scenario. It allows the coexistence between xPON technologies such as GPON, XGS-PON and NG-PON2, including OTDR and RF video signals. Others wavelengths are not allowed through the WaveCEx.



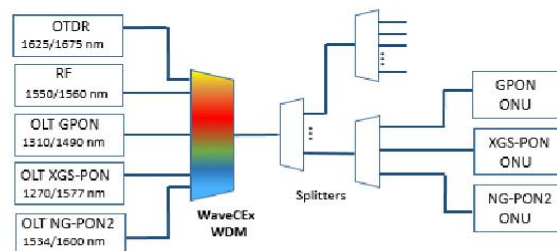
WaveCEx Scenario 1a

TELNET WaveCEx family

TELNET WaveCEx family is a variety of WDM modules for different coexistence scenarios between GPON, XGS-PON and NG-PON2 technologies, allowing the deployment of new generation technologies where it already is being offered services through GPON networks.

The WaveCEx device, in a LGX cassette, is installed between each OLT PON output port and the FTTH fiber. Depending on the coexistence scenario, some WaveCEx contain two coexistence modules per device, increasing the density and decreasing the number of devices and space required in the CPD.

This set of 12 WaveCEx offers a variety of models in order to meet the needs of different scenarios:



Coexistence architecture for GPON, XGS-PON, NG-PON2, OTDR and RF technologies

- **WaveCEx 1a:** it allows the coexistence of GPON and XGS-PON technologies.
- **WaveCEx 1b:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON and OTDR systems.
- **WaveCEx 1c:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON and RF.
- **WaveCEx 1d:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON, OTDR and RF.
- **WaveCEx 2a:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON and NG-PON2 technologies.
- **WaveCEx 2b:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON, NG-PON2 and OTDR systems.
- **WaveCEx 2c:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON, NG-PON2 and RF.

Technical Specifications

- **WaveCEX 2d:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON, NG-PON2, OTDR and RF.
- **WaveCEX 2e:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON NG-PON2 + PtP and OTDR.
- **WaveCEX 2f:** it allows the coexistence of GPON, XGS-PON and NG-PON2 +PtP technologies.
- **WaveCEX 2g:** it allows the coexistence of GPON and RF and NG-PON2 technologies.
- **WaveCEX 2h:** it allows the coexistence of GPON, RF and NG-PON2 technologies.

WaveCEX Scenario 1a	GPON and XGS-PON	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON wavelengths)	≤ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON wavelengths)	≤ 30 dB
Directivity	P GPON <-> P XGS-PON (GPON and XGS-PON wavelengths)	≤ 50 dB
Return Loss	All ports	≤ 55 dB
Polarization Sensitivity	Combination of all ports	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 1b	GPON, XGS-PON and OTDR	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P OTDR (OTDR wavelength)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P OTDR (GPON and XGS-PON wavelengths)	≥ 15 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 1c	GPON, XGS-PON and RF	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P RF (RF wavelength)	≤ 1 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON and RF wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON and RF wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P RF (GPON and XGS-PON wavelengths)	NA
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 1d	GPON, XGS-PON, OTDR and RF	1 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P OTDR (OTDR wavelength)	≤ 1.6 dB
	P Common <-> P RF (RF wavelength)	≤ 1.1 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON and RF wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON and RF wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P RF (GPON and XGS-PON wavelengths)	NA
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

Technical Specifications

WaveCEX Scenario 2a	GPON, XGS-PON, and NG-PON2	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P GPON (XGS-PON & NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON and XGS-PON wavelengths)	≥ 30 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All port combinations	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 2b	GPON, XGS-PON, NG-PON2 and OTDR	1 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelengths)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P OTDR (OTDR wavelengths)	≤ 1.6 dB
	P Common <-> P GPON (XGS-PON, NG-PON2, and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON, NG-PON2 and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P OTDR (GPON, XGS-PON and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P OTDR (GPON, XGS-PON and NG-PON2 wavelengths)	≥ 15 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max. variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 2c	GPON, XGS-PON, NG-PON2 and RF	1 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelengths)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P RF (RF wavelengths)	≤ 1.1 dB
	P Common <-> P GPON (XGS-PON and NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON, NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON, XGS-PON wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P RF (GPON, XGS-PON and NG-PON2 wavelengths)	NA
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Dependent Loss	All ports combinations	≤ 0.2 dB
Maximum Optical power		200 mW
Connector type		SC/APC

Technical Specifications

WaveCEX Scenario 2d	GPON, XGS-PON, NG-PON2, OTDR and RF	1 CEx per LGX	
Parameters	Conditions	Value and unit	
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB	
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB	
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelength)	≤ 1.2 dB	
	P Common <-> P OTDR (OTDR wavelength)	≤ 1.6 dB	
	P Common <-> P RF (RF wavelength)	≤ 1.1 dB	
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON, NG-PON2 and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB	
	P Common <-> P XGS-PON (GPON, NG-PON2 and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB	
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON and XGS-PON and OTDR wavelengths)	≥ 30 dB	
	P Common <-> P OTDR (GPON, XGS-PON, NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB	
	P Common <-> P RF (GPON, XGS-PON, NG-PON2 and OTDR wavelengths)	NA	
	Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
	Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max variation: 0.2 dB	
Maximum Optical power		+23 dBm	
Connector type		SC/APC	

WaveCEX Scenario 2e	GPON, XGS-PON, NG-PON2+PiP and OTDR	1 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 + PiP wavelength)	≤ 1.2 dB
	P Common <-> P OTDR (OTDR from 1640nm- wavelength)	≤ 1.6 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON, NG-PON2 + PiP and OTDR from 1640nm- wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P XGS-PON (GPON, NG-PON2 + PiP and OTDR from 1640nm- wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON, XGS-PON and OTDR from 1640nm- wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P OTDR (GPON, XGS-PON and NG-PON2 + PiP wavelengths)	≥ 15 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Sensitivity	All ports combinations	Max variation: 0.2 dB
Maximum Optical power		+23 dBm
Connector type		SC/APC

WaveCEX Scenario 2f	GPON, XGS-PON, NG-PON2+PiP	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (incl. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P XGS-PON (XGS-PON wavelengths)	≤ 1.0 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 + PiP wavelength)	≤ 1.0 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (XGS-PON & NG-PON2+PiP wavelengths)	≥ 30 dB
	Common <-> P XGS-PON (GPON wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON and XGS-PON wavelengths)	≥ 30 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 50 dB
Polarization Dependent Loss	All ports combinations	≤ 0.1 dB
Polarization Mode Dispersion		≤ 0.1 ps
Maximum Optical power		200 mW
Connector type		SC/APC

Technical Specifications

WaveCEx Scenario 2g	GPON & RF and NG-PON2	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (ind. connectors)	P Common <-> P GPON & RF (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P GPON & RF (RF wavelengths)	≤ 1.1 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelengths)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P GPON & RF (NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (RF wavelengths)	≥ 30 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Dependent Loss	All ports combinations	≤ 0.2 dB
Maximum Optical power		200 mW
Connector type		SC/APC

Installation
Dimensions: Cassette format: 195mm×130mm×29mm Weight: <300g 1 or 2 CEx (CEx1 and CEx 2 per cassette regardless of the type of scenario) Available in 1U rack format
Operating range: Operating Temperature: -5 ~ 60°C Storage Temperature: -40 ~ 85°C Humidity: 10 ~ 93% relative

Ordering Information
Name: WaveCEx 1a, 1b, 1c, 1d, 2a, 2b, 2c, 2d, 2e, 2f, 2g, 2h
Reference: -

* LGX encapsulation and labelling might be changed. 1U rack format available.

WaveCEx Scenario 2h	GPON, RF and NG-PON2	2 CEx per LGX
Parameters	Conditions	Value and unit
Attenuation (ind. connectors)	P Common <-> P GPON (GPON wavelengths)	≤ 0.8 dB
	P Common <-> P RF (RF wavelengths)	≤ 1.1 dB
	P Common <-> P NG-PON2 (NG-PON2 wavelengths)	≤ 1.2 dB
Isolation	P Common <-> P GPON (NG-PON2 wavelengths)	≥ 30 dB
	P Common <-> P RF (GPON and NG-PON2 wavelengths)	NA
	P Common <-> P NG-PON2 (GPON wavelengths)	≥ 30 dB
Directivity	All port combinations	≥ 50 dB
Return Loss	All ports	≥ 55 dB
Polarization Dependent Loss	All ports combinations	≤ 0.1 dB
Polarization Mode Dispersion		≤ 0.2 ps
Maximum Optical power		200 mW
Connector type		SC/APC

Contact Information

TELNET Redes Inteligentes Headquarters
 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

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

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

www.telnet-ri.es

ANEXO 2. BASTIDOR HUAWEI MA5800 X2 DATASHEET

HUAWEI MA5800 X2

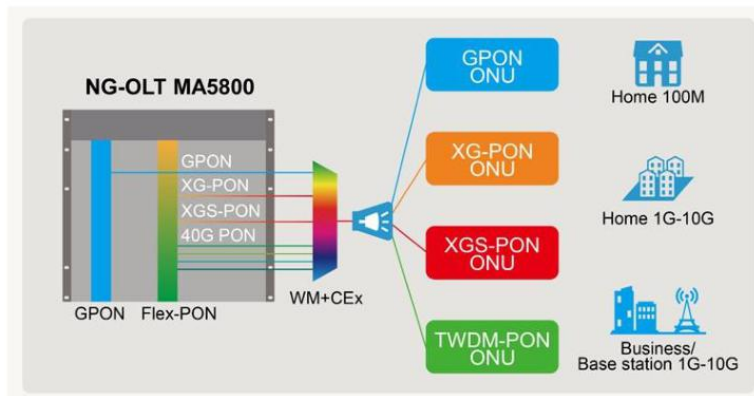
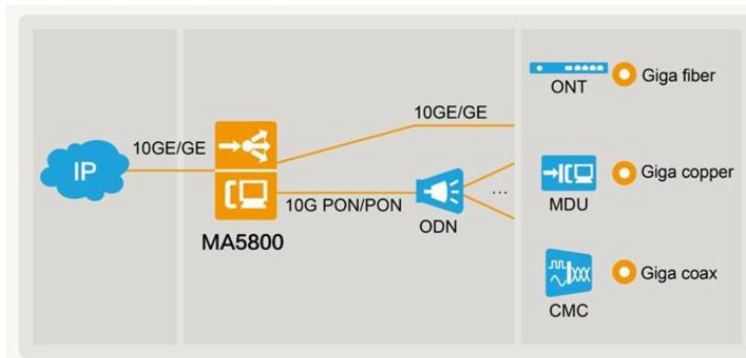


OPTICAL LINE TERMINAL

The industry's first 40 Gbit/s-capacity Next-Generation Optical Line Terminal (NG-OLT). Huawei's SmartAX MA5800 multiple-service access module employs a distributed architecture to support ultra-broadband, Fixed Mobile Convergence (FMC) services, and smart capabilities, such as SDN-based virtualization.

MA5800's programmable Network Processor (NP) chip set accelerates the roll-out of new services, catering to the demand for differentiated services, including partitioning of wholesale and retail service providers.

- Each service slot offers 200 Gbit/s throughput capability, guaranteeing non-blocking access for high-density XG-PON and 40G-PON
- Each sub-rack supports up to 32K users with 100 Mbit/s of non-blocking bandwidth, allowing seamless 4K video viewing
- Full-service PON/P2P access for home, enterprise, and mobile backhaul creates a single optical network with FMC services



SPECIFICATIONS

MA5800-X2	
Supported cabinet	N63E-22
Board configuration	<ul style="list-style-type: none"> Control board slot: 3,4 Service board or upstream interface board slot: 1-2 Do not support universal interface board Power board slot: 0
Dimensions (W x D x H) (mm)	<ul style="list-style-type: none"> Excluding mounting ears: 442x268.7x88.1 Including mounting ears of IEC standard: 482.6x268.7x88.1 Including mounting ears of ETSI standard: 535x268.7x88.1
Maximum weight (including mounting brackets)	9.4 kg
Maximum input current	DC power supply: 20 A AC power supply: 8 A
Power supply mode	DC power support (dual for backup) AC power supply + battery for backup
Working voltage range	DC power supply: -38.4 V to -72 V AC power supply: 100 V to 240 V
Rated voltage	DC power supply: -48 V / -60 V AC power supply: 110 V / 220 V
Ambient temperature	-40°C to +65°C The MA5800 can start up at a lowest temperature of -25°C. NOTE: The +65°C temperature refers to the highest temperature measured at the air intake vent of service subrack.
Ambient humidity	5% RH to 95% RH
Atmospheric pressure	70 kPa to 106 kPa
Altitude	< 4000 m, The air density varies with the altitude and will affect the heat dissipation of a device. Therefore, the working environment temperature of the MA5800 varies with the altitude.
Switching capacity of the control board (load sharing mode)	480 Gbit/s
Maximum bandwidth per service slot (load sharing mode)	80 Gbit/s
System Layer 2 packet forwarding rate (load sharing mode)	714 Mpps
Maximum number of concurrent 4K video users	2000
Maximum number of MAC address	262143
Maximum number of IPv4 routing tables	65536
Maximum number of IPv6 routing tables	16384
Maximum number of ARP tables	32768
Switching/Forwarding delay	Short forwarding delay: The 100 Mbit/s Ethernet port sends the 64-byte Ethernet packets at a delay shorter than 20 μ s.
Bit error rate (BER) in full load	A BER smaller than 10 e-7 for a port that transmits data in full load
System reliability specifications	System availability for the typical configuration: > 99.999% Mean time between failures (MTBF): about 45 years. NOTE: Due to different network environments and different boards used by devices, the preceding MTBF (45 years) of the MA5800 is only for reference. The average repair time for field replaceable units (FRUs) is about 2 hours. The preceding values are only for reference. For details, contact the related Huawei engineers.
GPON ports	32
XG-PON ports	32
XGS-PON ports	16
GE/FE ports	96
10GE ports	16
E1 ports	64

ANEXO 3. TARJETA HUAWEI COMBO H902CSHF DATASHEET

Huawei CSHF Board H902CSHF

Huawei 16-port Symmetric 10G GPON and GPON combo OLT Interface Board with XGSPON & GPON C+ Optical Module

Apply to Huawei MA5800 X2, X7, X15, X17 NG OLT system

Support XGS-PON, XG-PON and GPON

Max split ratio: 1:256

GPON channel: Tx: 2.488 Gbit/s Rx: 1.244 Gbit/s

XGS-PON channel: Tx: 9.953Gbit/s, Rx: 9.953/2.488Gbit/s

Interface Type: SC

H902CSHF is a 16-port XGS-PON and GPON Combo OLT interface board. It works together with the optical network unit (ONU) to provide XGS-PON XG-PON and GPON access services.

Specification	
Service ports	
GPON Port	16 XGS-PON & GPON ports
XGS-PON&GPON Combo PON Class C+ Module	
Type	One-fiber bi-directional optical module
Operating Wavelength	GPON channel: Tx: 1490 nm Rx: 1310 nm XG-PON & XGS-PONchannel: Tx: 1577 nm Rx: 1270 nm
Encapsulation Type	SFP+
Port Rate	GPON channel: Tx: 2.488 Gbit/s

	Rx: 1.244 Gbit/s XGS-PON channel: Tx: 9.953 Gbit/s Rx: 9.953/2.488Gbit/s
Minimum Output Optical Power	GPON channel: 3 dBm XGS-PON channel: 5 dBm
Maximum Output Optical Power	GPON channel: 7 dBm XGS-PON channel: 8 dBm
Maximum Receiver Sensitivity	GPON channel: -32 dBm XG-PON channel: -30.5 dBm XGS-PON channel: -29 dBm
Optical Connector Type	SC
Optical Fiber Type	Single-mode
Overload Optical Power	GPON channel: -12 dBm XG-PON channel: -10 dBm XGS-PON channel: -8 dBm
Extinction Ratio	8.2 dB
Function	
Forwarding capability	200 Gbit/s
Rate mode	Symmetric rate
T-CONTs per PON port	GPON: 1024 XG(S)-PON: 2048
Service flows per PON board	16352
Maximum frame size	2052 bytes 9216 bytes (jumbo frame enabled)
Maximum number of MAC addresses	131072
Maximum distance difference between two ONUs under the same PON port	40 km
Device Specifications	

Dimensions (W x D x H)	23.30 mm * 257.90 mm * 399.20 mm
Power Consumption and Maximum Frame Size	
Power Consumption	Static: 48 W Maximum: 98 W
Operating temperature	-40°C to +65°C



EN8145X6 Datasheet 01

Huawei intelligent XG-PON and Wi-Fi 6 routing-type ONT

Overview

The Huawei OptiXstar EN8145X6 is an XG-PON and Wi-Fi 6 routing-type ONT. It uses the XG-PON and Wi-Fi 6 technologies to implement ultra-broadband access, high performance and wide coverage for users. The high forwarding performance ensures the user experience of voice and data services, and provides customers with an ideal all-optical access solution and future-oriented service support capability.

It provides 4 GE ports, 1 POTS port, 1 USB port and 1 2.4G&5G Wi-Fi 6 port.

- Next generation Wi-Fi 6 technology
- Smart service
- Smart interconnection
- Smart O&M



Device Parameters

Operating temperature	0°C to 40°C	NNI	XG-PON
Operating humidity	5% RH to 95% RH (non-condensing)	UNI	4*GE+1*POTS+2.4G/5G Wi-Fi 6+1USB
Power adapter input	100–240 V AC, 50/60 Hz	Optical connector	SC/UPC
System power supply	11–14 V DC, 1.5 A	Indicators	Power/PON/LOS/LAN/TEL/US B/WLAN/WPS
Static power consumption	8 W	Weight	About 400 g
Maximum power consumption	18 W	Dimensions (H x W x D) (without external antenna and pads)	40 mm x 185 mm x 120 mm
Memory	128M Flash, 256M RAM		

Interface Parameters

XG-PON port	POTS port
<ul style="list-style-type: none"> Class N1/N2a/E1 Receiver sensitivity: -28 dBm Wavelengths: US 1260-1280 nm, DS 1575-1580 nm Wavelength blocking filter (WBF) Flexible mapping between GEM Port and TCONT SN/Password/SN+Password/Bi-directional authentication based on OMCI Upstream and downstream FEC SR-DBA and NSR-DBA 2.5 Gbit/s upstream, 10 Gbit/s downstream 	<ul style="list-style-type: none"> Maximum REN: 4 G.711 A/μ, G.729a/b and G.722 encoding/decoding T.30/T.38/G.711 fax mode DTMF Emergency calls (with the SIP protocol)
	USB port
	<ul style="list-style-type: none"> USB2.0 FTP-based network storage File/Print sharing based on SAMBA DLNA function
WLAN	Ethernet port
<ul style="list-style-type: none"> IEEE 802.11 b/g/n/ax (2.4G) IEEE 802.11 a/n/ac/ax (5G) 2 × 2 MIMO (2.4G) 2 × 2 MIMO (5G) Antenna gain: 5 dBi WMM/Multiple SSIDs/WPS 2.4G&5G concurrent Air interface rate: 574 Mbit/s (2.4G), 2402 Mbit/s (5G) Beamforming Band steering DL OFDMA DL MU-MIMO 1024QAM 160MHz frequency bandwidth 	<ul style="list-style-type: none"> Ethernet port-based VLAN tags and tag removal 1:1 VLAN, N:1 VLAN, or VLAN transparent transmission QinQ VLAN Limit on the number of learned MAC addresses MAC address learning Auto-adaptive 10 Mbit/s, 100 Mbit/s or 1000 Mbit/s

<ul style="list-style-type: none"> WPA3 	
--	--


Product Function

Smart interconnection	Smart service	Smart O&M	Common O&M
<ul style="list-style-type: none"> Smart Wi-Fi coverage SIP/H.248 auto-negotiation Any port any service Parental control 	<ul style="list-style-type: none"> Scheduled Wi-Fi shutdown Smart Wi-Fi sharing: Portal/802.1x authentication; SoftGRE-based sharing 	<ul style="list-style-type: none"> IPTV video quality diagnosis eMDI Rogue ONT detection and isolation from the OLT Call emulation, and circuit test and loop-line test PPPoE/DHCP simulation testing WLAN emulation 	<ul style="list-style-type: none"> OMCI/Web UI/TR069 Variable-length OMCI messages Dual-system software backup and rollback
Multicast	Security	Layer 3 features	Home network feature
<ul style="list-style-type: none"> IGMP v2/v3 proxy/snooping MLD v1/v2 snooping 	<ul style="list-style-type: none"> SPI firewall Filtering based on MAC/IP/URL addresses 	<ul style="list-style-type: none"> PPPoE/Static IP/DHCP NAT/NAPT Port forwarding ALG, UPnP DDNS/DNS server/DNS client IPv6/IPv4 dual stack, DS-Lite and IPv6 SPI Static/Default routes Multiple services on one WAN port 	<ul style="list-style-type: none"> Visualized home network management User-defined bandwidth allocation Wi-Fi optimization & Wi-Fi roaming Wi-Fi O&M intelligent identification and anti-interference
Power saving	QoS		
<ul style="list-style-type: none"> Indicator power saving COC V7 	<ul style="list-style-type: none"> Ethernet port rate limitation 802.1p priority SP/WRR/SP+WRR Broadcast packet rate limitation 		

Copyright © Huawei Technologies Co., Ltd. 2020. All rights reserved.

No part of this document may be reproduced or transmitted in any form or by any means without prior written consent of Huawei Technologies Co., Ltd.

Trademarks and Permissions

 HUAWEI and other Huawei trademarks are trademarks of Huawei Technologies Co., Ltd.

All other trademarks and trade names mentioned in this document are the property of their respective holders.

Notice

The purchased products, services and features are stipulated by the contract made between Huawei and the customer. All or part of the products, services and features described in this document may not be within the purchase scope or the usage scope. Unless otherwise specified in the contract, all statements, information, and recommendations in this document are provided "AS IS" without warranties, guarantees or representations of any kind, either express or implied.

The information in this document is subject to change without notice. Every effort has been made in the preparation of this document to ensure accuracy of the contents, but all statements, information, and recommendations in this document do not constitute a warranty of any kind, express or implied.

Huawei Technologies Co., Ltd.

Address: Huawei Industrial Base Bantian, Longgang Shenzhen 518129 People's Republic of China

Website: <http://www.huawei.com>