



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON -
XGPON**

AUTOR:

Ing. Sánchez Ortega, John Kevin

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de
MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

9 de agosto del 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por el Magíster **Sánchez Ortega, John Kevin** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**.

TUTOR

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

M. Sc. Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 9 días del mes de agosto del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Sánchez Ortega, John Kevin**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON**”, previa a la obtención del grado Académico de **Magíster en Telecomunicaciones**, ha sido desarrollado, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del trabajo de titulación del Grado Académico en mención.

Guayaquil, a los 9 días del mes de agosto del año 2018

EL AUTOR

Sánchez Ortega, John Kevin



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Sánchez Ortega, John Kevin**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación titulada: “**Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON**”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 9 días del mes de agosto del año 2018

EL AUTOR

Sánchez Ortega, John Kevin

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento	Sanchez Kevin FinalMET.docx (D40510956)
Presentado	2018-07-05 11:56 (-05:00)
Presentado por	fermandopm23@hotmail.com
Recibido	edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
Mensaje	Revisión de Kevin Sánchez Ortega Mostrar el mensaje completo 1% de estas 21 páginas, se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes		Bloques
Categoría	Enlace/nombre de archivo	
	ULTIMA TESIS FINAL TUTIVEN 24-05-2015...	
	https://martinmoreton.wordpress.com/2...	
	http://e.huawei.com/en/material/onLine...	
	http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom...	
	https://upcommons.upc.edu/handle/209...	
	https://ria.ua.pt/bitstream/10773/4393/1...	

Reiniciar Exportar Compartir

1 Advertencia

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
SISTEMA DE POSGRADO MAESTRÍA EN
TELECOMUNICACIONES

TEMA: Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra
óptica GPON - XGPON

AUTOR: Ing. Sánchez Ortega, John Kevin

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado
Académico de Magíster en Telecomunicaciones

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

Dedicatoria

Principalmente a Dios quien ha sido mi guía mi fortaleza que me ha permitido llegar donde estoy.

A mis padres Angel y Elda quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades porque Dios está conmigo siempre.

A mis hermanos David, Jordy y Leynder gracias por su cariño, nunca dejen de soñar luchen por sus sueños, no tengan prisa por crecer y madurar que cuando sean grandes solo querrán jugar los quiero mucho.

A mi novia por su infinito amor, entrega e incondicional apoyo en todo momento.

JOHN KEVIN SÁNCHEZ ORTEGA

Agradecimientos

A mi tutor M. Sc. Edwin Fernando Palacios Meléndez, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto, a los maestros de posgrado en Telecomunicaciones que son personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, a mis padres por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo a todos y cada uno de ellos les dedico cada una de estas páginas de mi trabajo final de maestría.

JOHN KEVIN SÁNCHEZ ORTEGA



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

M. Sc. PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO
TUTOR

f. _____

M. Sc. CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO
REVISOR

f. _____

M. Sc. ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO
REVISOR

f. _____

M. Sc. ROMERO PAZ, MANUEL DE JESÚS
DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XII
ÍNDICE DE TABLAS	XIV
Resumen	XV
Abstract.....	XVI
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	17
1.1. Introducción.....	17
1.2. Antecedentes.....	18
1.3. Definición del problema	18
1.4. Objetivos	19
1.5. Hipótesis.....	19
1.6. Metodología de investigación.	19
Capítulo 2: Conceptos básicos de las redes de fibra óptica.	21
2.1. Beneficios de la fibra óptica.....	21
2.1.1. Bajos costos de operación.....	21
2.1.2. Mayor velocidad de transmisión.	21
2.1.3. Compatibilidad electromagnética.....	21
2.1.4. Ventaja competitiva.	21
2.2. Desventajas de la fibra.....	22
2.3. Arquitecturas de FTTx.	22
2.3.1. Fibra hasta el nodo o bordillo – FTTN o FTTC.	22
2.3.2. Fibra hasta el edificio – FTTB.....	23
2.3.3. Fibra hasta el hogar – FTTH.	23
2.3.3.1. FTTH para IPTV	23
2.3.3.2. Consecuencias	23
2.3.4. Comparación entre FTTH vs. xDSL.....	24
2.3.5. Fibra hasta las instalaciones – FTTP.....	24
2.4. Niveles de red.....	25
2.4.1. Infraestructura pasiva.	25
2.4.2. Red activa.....	25

2.4.3. Servicios minoristas.....	26
2.5. Redes ópticas activas (AON)	26
2.5.1. Visión general de AON.	26
2.5.2. Ethernet punto a punto.	26
2.6. Redes ópticas pasivas (PON)	27
2.6.1. Señales ascendentes y descendentes.....	27
2.7. Arquitectura de una PON.	28
2.7.1. Terminal de línea óptica – OLT.....	28
2.7.2. Terminal de red óptica – ONT.....	29
2.7.3. Divisores ópticos.....	29
2.7.4. Infraestructura de una red óptica pasiva.....	30
2.8. PON de multiplexación por división de tiempo (TDM-PON).	31
Capítulo 3: Análisis de las redes de acceso de fibra óptica.	33
3.1. Visión general de la evolución de las redes ópticas pasivas – PON. ...	33
3.2. Red óptica pasiva de próxima generación (NG-PON).....	34
3.2.1. Tecnologías de NG-PON1.....	35
3.2.2. Tecnologías de NG-PON2.....	35
3.3. Red óptica pasiva 10G (10GPON).	36
3.3.1. Arquitectura XG-PON.	38
3.3.1.1. Escenario de migración PON brown field.	39
3.3.1.2. Escenario de migración PON green field.....	39
3.3.2. Coexistencia entre XG-PON/GPON.	40
3.3.3. Mecanismos de transmisión de 10GPON/GPON.	42
3.3.4. Asignación de longitud de onda 10GPON/GPON.....	43
3.3.5. Operación de modo dual 10GPON/GPON.....	44
3.3.6. Relación de divisores o splitters.	44
3.3.7. Aumento del alcance.	46
3.3.8. Comparación de las tecnologías GPON y XGPON.	47
3.4. Tecnología 10G-EPON.....	49
3.4.1. Coexistencia de 10G/1G-EPON	50
3.4.2. Mecanismos de transmisión de 10G/1G-EPON.....	50

3.4.3. Asignación de longitud de onda de 10G/1G-EPON.....	51
3.4.4. Operación en modo dual de 10G/1G-EPON.....	52
3.4.5. Comparativa en sistemas 1G-EPON y 10G-EPON.	52
3.5. PON de largo alcance (LR-PON).....	54
3.6. Tecnología WDM-PON.....	57
3.6.1. Multiplexación por división de longitud de onda ligeras – CWDM.	61
3.6.2. Multiplexación por división de longitud de onda densa – DWDM.	61
3.6.3. Comparativa entre las multiplexaciones CWDM vs DWDM.....	62
Conclusiones	64
Recomendaciones	65
Bibliografía	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Migración de una red de cobre a fibra mediante FTTC.....	23
Figura 2. 2: Trabajo de excavación para proyecto FTTH.....	24
Figura 2. 3: FTTH vs. xDSL.	24
Figura 2. 4: Capas de red para FTTH.	25
Figura 2. 5: Punto de presencia (PoP) interno.	27
Figura 2. 6: Equipo terminal de línea óptica (OLT) de la serie SmartAX MA5600T de Huawei.	28
Figura 2. 7: Equipo ONT EchoLife HG8245H de Huawei.	29
Figura 2. 8: Acoplador WDM.....	29
Figura 2. 9: Divisor óptico pasivo.	29
Figura 2. 10: Divisor óptico de 2:16 en redes ópticas pasivas.	30
Figura 2. 11: Divisor pasivo, óptico con una proporción de 1:32.....	30
Figura 2. 12: Diferentes componentes de una red óptica pasiva.	31
Figura 2. 13: Configuración de una red de malla inalámbrica.....	31
Figura 2. 14: Arquitectura de una red óptica pasiva de multiplexación por división de tiempo.	32

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Esquemático del escenario evolutivo de las PONs.....	33
Figura 3. 2: Representación de una estimación de la evolución para NG-PON1 y NG-PON2.....	35
Figura 3. 3: Arquitectura 10G GPON.	36
Figura 3. 4: Evolución de GPON.....	37
Figura 3. 5: Escenarios de aplicación de XG-PON1.	38
Figura 3. 6: Coexistencia entre GPON y XG-PON.....	40
Figura 3. 7: Configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON a través del WDM1r.	41
Figura 3. 8: Configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON a través de splitters.....	42

Figura 3. 9: Canales de Comunicación GPON/10G PON.....	43
Figura 3. 10: Asignación de longitud de onda 10G-PON/G-PON.....	44
Figura 3. 11: Arquitectura genérica de relación de splitter.....	45
Figura 3. 12: Configuración para una relación de división adicional para redes de acceso de alto nivel.	45
Figura 3. 13: Configuración para una relación de división adicional para redes de acceso de bajo nivel.	46
Figura 3. 14: Superposición de G-PON/XG-PON con único extensor XG-PON de tramo medio.....	47
Figura 3. 15: Superposición de G-PON/XG-PON con extensor de rango medio.	47
Figura 3. 16: Esquemático de la topología de red 10G-EPON.	49
Figura 3. 17: Coexistencia de la topología de red de 10G/1G-EPON.....	50
Figura 3. 18: Mecanismo de transmisión EPON y 10 GEAPON.	51
Figura 3. 19: Asignación de longitud de onda para 10G/1G-EPON.....	51
Figura 3. 20: Diagrama esquemático de la coexistencia de 10G EPON y 1G EPON.....	52
Figura 3. 21: Arquitectura PON de largo alcance.....	54
Figura 3. 22: Visión de arquitecturas de red.	55
Figura 3. 23: Plan de investigación para LR-PON.	57
Figura 3. 24: Esquemático de la tecnología WDM-PON.	58
Figura 3. 25: Transmisión por multiplexación por división de longitud de onda (WDM).	59
Figura 3. 26: Topología WDM-PON.	60
Figura 3. 27: Separación entre canales de longitudes de onda de 20 nm. ...	61
Figura 3. 28: Separación entre canales de longitudes de onda de 0.8 nm. .	61

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Comparativa de tasa de transmisión para los canales de comunicación de las NG-PON.	34
Tabla 3. 2: Comparativa a niveles de capa física y MAC de GPON vs XGPON.	48
Tabla 3. 3: GPON vs XGPON.	53
Tabla 3. 4: Comparativo de los protocolos 802.11 a/b/g/n/ac.	62

Resumen

El presente trabajo consistió en realizar un análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON y XGPON. El capítulo 1 se describen trabajos relacionados con el tema como antecedentes del problema de investigación, así como también, la definición y justificación del problema a investigar, después se plantean tanto el objetivo general como los objetivos específicos, en el que se incluye la hipótesis y metodología aplicada. Mientras, que en el capítulo 2 se realiza la descripción teórica fundamental de los beneficios de la fibra óptica, desventajas, arquitecturas de FTTx, redes ópticas activas y pasivas, así como la arquitectura e infraestructura de las redes ópticas pasivas. Finalmente, en el capítulo 3 se realiza el análisis de las redes de acceso mediante la evolución de las redes ópticas pasivas (PON), redes ópticas pasivas de próxima generación (NG-PON) y redes XG-PON. Se revisaron las tecnologías, arquitecturas, escenarios de migración, coexistencia, mecanismos de transmisión y sus comparativas tecnológicas.

Palabras claves: COMUNICACIONES, FIBRA, AON, PON, GPON, XGPON.

Abstract

The present work consisted in carrying out an evolutionary analysis of GPON and XGPON fiber optic access networks. Chapter 1 describes works related to the topic as background of the research problem, as well as the definition and justification of the problem to be investigated, then the general objective as well as the specific objectives are presented, in which the hypothesis and applied methodology. Meanwhile, in chapter 2, the fundamental theoretical description of the benefits of fiber optic, disadvantages, FTTx architectures, active and passive optical networks, as well as the architecture and infrastructure of passive optical networks is made. Finally, in Chapter 3 the analysis of the access networks is performed through the evolution of passive optical networks (PON), next generation passive optical networks (NG-PON) and XG-PON networks. The technologies, architectures, migration scenarios, coexistence, transmission mechanisms and their technological comparatives were reviewed.

Keywords: COMMUNICATIONS, FIBER, AON, PON, GPON, XGPON.

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Las tecnologías funcionales basadas en fibra óptica como fibra para el hogar, fibra para edificios, etc. tienen los beneficios reconocidos de baja pérdida, gran ancho de banda y largo alcance, y actualmente se están implementando de manera global. En las arquitecturas de redes ópticas pasivas (PON) multiplexadas en el tiempo punto a punto y punto a multipunto, se siguen instalando las redes de fibra hasta el hogar conocida como FTTH.

Con la llegada de la tecnología, los medios de comunicación también se modifican o mejoran. La fibra óptica es uno de los ejemplos de la lista. La fibra óptica se considera el medio más avanzado de comunicación a través de la red. Pero a medida que la tecnología avanza, los requisitos de los usuarios también aumentan. Después de tener una revisión del trabajo relacionado que se ha realizado en este campo, se deriva que gran parte del trabajo se ha realizado en este campo para lograr el rendimiento competente del sistema. Pero aún hay algunos retrasos.

Como el sistema tradicional usa el mecanismo de codificación de no retorno a cero (*Non Return to Zero, NRZ*) que no considera que el primer bit de datos sea un cambio de polaridad. Otro problema se relacionó con las técnicas de rejillas utilizadas, que la mayoría de las obras tradicionales implementan o enfocan la técnica de rejilla FBG mientras que las otras técnicas también pueden implementarse. Es decir, que el desarrollo del sistema o mecanismo eliminará los problemas que ocurren debido a la codificación FBG o NRZ.

Aunque se considera que los sistemas GPON pueden proporcionar suficiente capacidad para los próximos años, y que pronto llegará el momento en que las redes xPON actuales tendrán que migrar a soluciones con un ancho de banda mayor. Sin embargo, este desarrollo debe lograrse de tal manera que se asegure una transición gradual de los sistemas existentes a los nuevos.

1.2. Antecedentes.

Para realizar el presente trabajo, se realizó una búsqueda de información relacionada con la evolución de las redes de acceso de fibra óptica. A continuación, se describen algunos trabajos que fundamentan el presente documento:

- a. Mraković & Matavulj, (2011) presentan el modelo de simulación de sistemas coexistentes GPON y NG-PON1 (10G-PON), que se ha desarrollado para el análisis de los problemas de viabilidad e implementación de esta coexistencia. El objetivo fue analizar el impacto de los parámetros más importantes de los componentes que necesitaban los nuevos elementos de red, en el rendimiento de estas redes coexistentes. Sobre la base de los resultados obtenidos, definieron parámetros óptimos de nuevos componentes del sistema.
- b. Syambas & Farizi, (2017) presentan en su artículo el análisis de la aplicación híbrida compatible de la red óptica pasiva Gigabit (GPON) y la red óptica pasiva con capacidad para 10 Gigabits (XGPON) para una relación de 1:64. El rendimiento del sistema de red híbrido fue analizado mediante la herramienta de simulación OptiSystem.
- c. Sharma, Sharma, & Kaur, (2015) presentan en su investigación la transmisión descendente de la tecnología de red óptica pasiva de próxima generación coherente de 112 Gbps (NG-PON). El comportamiento analítico de la red óptica basada en arquitectura NG-PON se simula en múltiples usuarios finales mediante el despliegue de diferentes esquemas de desplazamiento de fase de doble polarización, basados en 2 y 4 puntos de constelación. Analizaron la red óptica en una configuración de fibra de 60 km y midieron numéricamente el rendimiento en términos de sensibilidad del receptor, tasa de error de bit (BER), relación de señal óptica a ruido (OSNR) y diagrama de constelación.

1.3. Definición del problema

Los trabajos de titulación realizados en la maestría en Telecomunicaciones hasta la presente se han encargado de evaluar y/o diseñar redes de acceso de fibra óptica, de acuerdo a este antecedente, surge

la necesidad de realizar el análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Realizar el análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON – XGPON.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar los fundamentos teóricos de las redes de fibra óptica en especial las redes de acceso.
- ✓ Analizar las diferentes evoluciones de las redes de acceso de fibra óptica, tales como GPON – XG-PON.
- ✓ Comparar las tecnologías evolutivas de las redes de acceso de fibra óptica, así como los tipos de multiplexaciones utilizadas en la actualidad.

1.5. Hipótesis

Justificar empíricamente el análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON – XGPON, para que se puedan desarrollar trabajos de investigación mediante la simulación de las redes evolutivas PON.

1.6. Metodología de investigación.

La investigación es un término muy general para una actividad que implica descubrir, de forma más o menos sistemática, cosas que no se conoce. Una interpretación más académica es que la investigación implica descubrir cosas que nadie más sabía tampoco. Se trata de avanzar en las fronteras del conocimiento. Los métodos de investigación son las técnicas que se utiliza para investigar. Representan las herramientas del oficio y le proporcionan formas de recopilar, ordenar y analizar información para que pueda llegar a algunas conclusiones. Si se utiliza el tipo correcto de métodos para un tipo particular de investigación, entonces debería poder convencer a otras personas de que sus conclusiones tienen cierta validez, y de que el nuevo conocimiento que ha creado tiene una base sólida.

Entonces, ¿qué se puede utilizar para hacer investigación con el fin de obtener este nuevo conocimiento? A continuación, algunas de las maneras en que se la puede utilizar:

- a. Categorizar: esto implica formar una tipología de objetos, eventos o conceptos, es decir, un conjunto de nombres o 'casillas' en las que se pueden clasificar. Esto puede ser útil para explicar qué 'cosas' pertenecen juntas y cómo.
- b. Describir: la investigación descriptiva se basa en la observación como un medio de recopilación de datos. Intenta examinar las situaciones para establecer cuál es la norma, es decir, qué puede predecirse que vuelva a ocurrir bajo las mismas circunstancias.

Capítulo 2: Conceptos básicos de las redes de fibra óptica.

El presente capítulo se conceptualiza las redes de fibra ópticas para entender los beneficios del medio de transmisión.

2.1. Beneficios de la fibra óptica.

Las ventajas de fibra óptica o fibra óptica sobre el cable coaxial o trenzado de cobre convencional se describen a continuación.

2.1.1. Bajos costos de operación.

El ciclo de vida de una instalación de fibra óptica es mucho más largo que el de un sistema xDSL. Los costos de operación (costos de energía, mantenimiento, tiempo medio para reparar el MTTR, tasa de error) también son ventajosos.

2.1.2. Mayor velocidad de transmisión.

Las fibras de vidrio pueden transmitir datos en banda ancha ("casi ilimitada") en distancias muy largas. Por lo tanto, en comparación con los cables de cobre, una fibra tiene un producto BLP de longitud de banda mucho mayor (ancho de banda [MHz o Mbps] * longitud [m]).

2.1.3. Compatibilidad electromagnética.

Las ondas de luz son absolutamente insensibles a la radiación electromagnética externa. Por lo tanto, las fibras ópticas se pueden colocar en una bandeja para cables directamente al lado de cualquier otro cable (cobre o vidrio).

2.1.4. Ventaja competitiva.

Una central con una red de fibra óptica a gran escala tiene una mayor oportunidad de comercialización y, por lo tanto, puede atraer a nuevos residentes y negocios. También, que los procesos de fabricación e instalación de enlaces y cables de fibra óptica serán cada vez más asequibles en el futuro, mientras que las demandas de ancho de banda van en aumento. En unos

pocos años, el requisito mínimo podría ser de 100 a 1000 Mbps o más para el cliente final. Por lo tanto, en el futuro, se instalarán cada vez más fibras de vidrio en la red de acceso. Menos obvio es que incluso los nuevos estándares móviles de gran ancho de banda como LTE se benefician de la conectividad de fibra.

2.2. Desventajas de la fibra.

Los cables y equipos de fibra óptica son (aún) más caros de comprar e instalar que el cobre. Además, se necesitan acopladores electroópticos que convierten las ondas de luz en señales eléctricas para computadoras, componentes de red (por ejemplo, GBIC), etc., y viceversa. Con la fibra óptica de poder sobre el cable, por lo que la fuente de alimentación de un terminal a través del cable de datos no es factible.

2.3. Arquitecturas de FTTx.

Hay muchos términos FTTx que a veces se superponen. Para evitar confusiones, las más importantes se explican en las siguientes subsecciones.

2.3.1. Fibra hasta el nodo o bordillo – FTTN o FTTC.

La fibra al nodo (*Fiber to the Node, FTTN*) es sinónimo de la fibra al bordillo (*Fiber to the Curb, FTTC*). Con la tecnología de línea de abonado digital de muy alta tasa de transferencia 2 (*Very-high-bit-rate Digital Subscriber Line 2, VDSL2*), la primera FTTC se utilizó en Suiza. Aquí una fibra se enruta a un punto de transmisión primario (PTP) activo en una vecindad. En este PTP hay un DSLAM para VDSL2, en la dirección del cliente final, solo se usan cables de cobre con VDSL2. Un PTP está vinculado desde la oficina local con Ethernet óptica (por ejemplo, 10 Gbps).

La ventaja de FTTC es que no debe realizarse ningún trabajo grave o similar en la propiedad de un usuario. El operador de la red conmuta la línea de cobre existente del cliente a un PTP, lo que significa solo un breve descanso. La figura 2.1 muestra la migración del cobre puro (en negro) al sistema FTTC (en rojo).

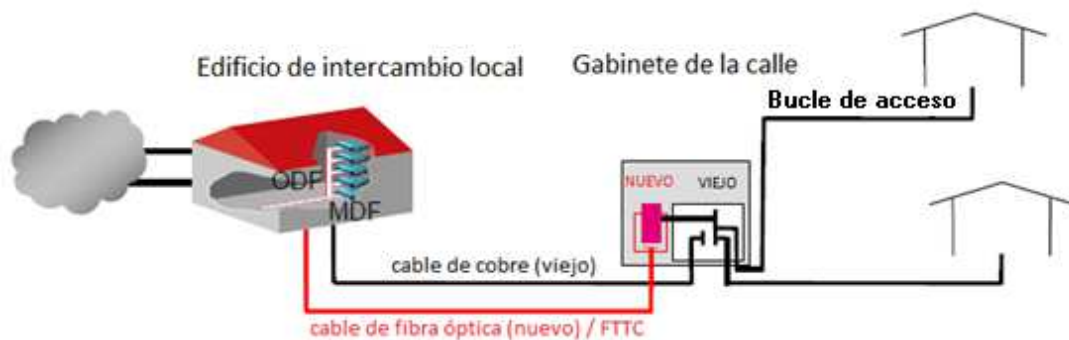


Figura 2. 1: Migración de una red de cobre a fibra mediante FTTC.
Fuente: (Trefor, 2010)

2.3.2. Fibra hasta el edificio – FTTB.

En la fibra hasta el edificio (*Fiber to the Building, FTTB*) una fibra se introduce en el sótano de una casa. A partir de entonces, un optoacoplador convierte las señales ópticas en eléctricas. Estos se distribuyen a los terminales con los equipos existentes y los cables de cobre, tal equipo se llama terminación de red óptica (*Optical Network Termination, ONT*).

2.3.3. Fibra hasta el hogar – FTTH.

En la fibra hasta el hogar (*Fiber to the Home, FTTH*), una fibra se enruta directamente a la casa de un cliente final. El hogar puede ser interpretado de varias maneras. En un edificio de apartamentos, FTTH se implementa más como FTTB, pero también se puede hacer en cada apartamento una fibra separada. Para una casa unifamiliar, una fibra óptica separada está disponible para un hogar. A continuación, algunas

2.3.3.1. FTTH para IPTV

Si varios clientes diferentes miran el mismo canal de IPTV en la misma fibra, es posible, gracias a la multidifusión, transmitir el canal solo una vez, lo que luego se replica solo recientemente. FTTH a través de PON es muy adecuado para IPTV. En el capítulo 3 se analiza la evolución de las redes de acceso PONs.

2.3.3.2. Consecuencias

Debido a que la instalación de FTTH implica un gran esfuerzo, algunos operadores de redes publican folletos informativos que describen las

consecuencias en el lugar (por ejemplo, cavar en sus propias propiedades, la instalación de equipos adicionales) y las circunstancias asociadas. La figura 2.2 muestra el trabajo de excavación para un proyecto FTTH en Madrid, España.



Figura 2. 2: Trabajo de excavación para proyecto FTTH.
Fuente: (Icadsa, 2017)

2.3.4. Comparación entre FTTH vs. xDSL

Para Moreton, (2011) la figura 2.3 muestra conceptualmente la diferencia entre las arquitecturas FTTH, VDSL con FTTC (VDSL) y DSL con cables de cobre puro.



Figura 2. 3: FTTH vs. xDSL.
Fuente: (Moreton, 2011)

2.3.5. Fibra hasta las instalaciones – FTTP.

Tanto FTTH como FTTB se pueden combinar en una fibra hasta las instalaciones (*Fiber to the Premises, FTTP*). Esto es porque con ambos, la fibra se dirige al menos hasta la misma propiedad.

2.4. Niveles de red.

La figura 2.4 muestra los diferentes niveles de red que se deben considerar para una red de fibra óptica. El término "capa" en este contexto no se refiere a las capas ISO/OSI o TCP/IP.

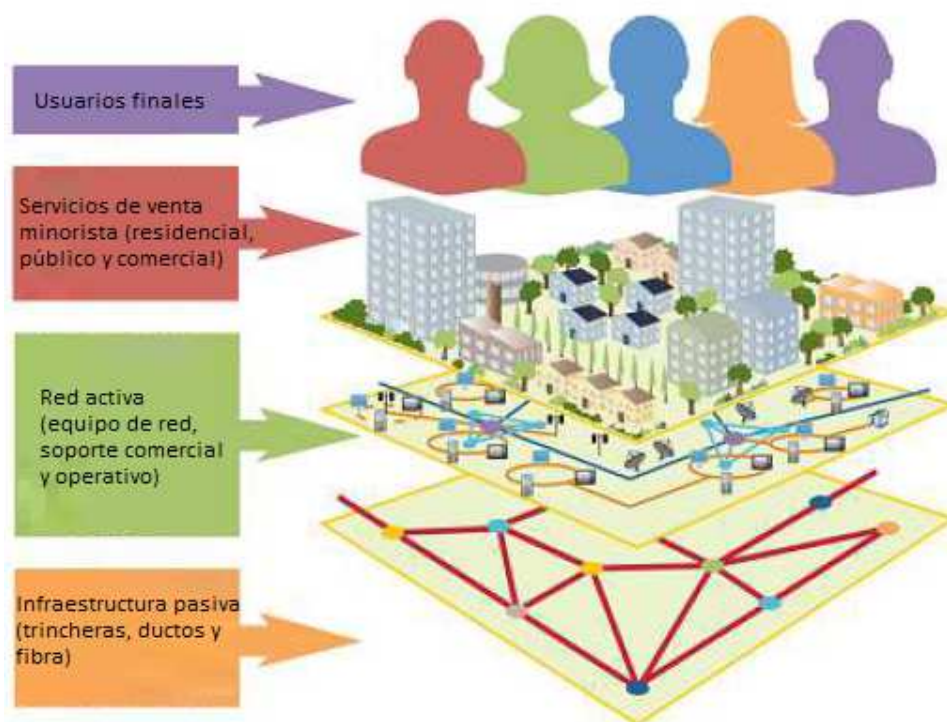


Figura 2. 4: Capas de red para FTTH.

Fuente: (Alcatel-Lucent, 2013)

2.4.1. Infraestructura pasiva.

La infraestructura pasiva incluye todos los elementos físicos necesarios para construir una red de fibra óptica. Esto incluye las propias fibras de vidrio, tuberías, zanjas, mástiles, elementos de distribución, paneles de conexión, casetes de empalme, etc. La infraestructura pasiva generalmente la construye y mantiene un operador de red o RU. El operador también es responsable de la planificación de la red, la toma de decisiones y la ingeniería civil.

2.4.2. Red activa

Por componentes activos se entienden todos los elementos electrónicos que transmiten los datos a través de las fibras de vidrio. Nuevamente, el operador de red generalmente es responsable del diseño, construcción y operación de los componentes activos.

2.4.3. Servicios minoristas.

Esta capa garantiza la conectividad a Internet. Aquí, el operador de red a menudo deja de ser responsable, pero en la mayoría de los casos se trata de un ISP (proveedor de servicios de Internet), que ofrece servicios de triple play. Esta capa también será responsable de la adquisición del cliente, las estrategias de lanzamiento al mercado y el servicio al cliente, incluido el soporte técnico.

2.5. Redes ópticas activas (AON)

2.5.1. Visión general de AON.

Cuando una parte de una red de distribución óptica (*Optical Distribution Network, ODN*) tiene uno o más componentes activos (con alimentación), como conmutadores o enrutadores, se denominan redes ópticas activas (*Active Optical Network, AON*). Por lo general, se utiliza para cada conexión desde el centro local a la propia fibra del cliente, que corresponde a una conexión punto a punto y, por lo tanto, considerada una topología en estrella. Una AON requiere de acopladores ópticos (convertidores O-E-O) para la conversión de señales ópticas en eléctricas que sean comprensibles para las computadoras. Cuando se habla de FTTC en el contexto de VDSL2, generalmente significa una AON.

2.5.2. Ethernet punto a punto.

La implementación más común de las dos capas de acceso a la red de AON es Ethernet (IEEE 802.3). Es por eso por lo que se habla de Ethernet activo. Esto proporciona una sola tecnología probada para el núcleo, la distribución, el acceso y el área local. La infraestructura anterior, incluidos los conmutadores y los enrutadores, se puede reutilizar y los fabricantes pueden lanzar nuevos productos más rápido porque Ethernet está estandarizado.

Aunque no es totalmente cierto, este informe usa sinónimos para Ethernet punto a punto (Point-to-Point Ethernet, PtPE) y Ethernet activo. PtP a veces se llama P2P, que no se debe confundir con redes Peer2Peer o protocolo punto a punto (PPP). El equipo en el centro local y el de los clientes crea una gran red de redes conmutadas. Un interruptor en la oficina central

puede conectar hasta 1000 clientes, pero generalmente hay de 400 a 500 clientes por interruptor.

Desde el punto de presencia (Point of Presence, POP) hasta el cliente, tiene una fibra dedicada. Un POP a menudo se conecta al ISP con Ethernet de 10 Gbps. La figura 7 muestra un POP instalado en un edificio (POP de interior). En conexión con FTTH, también se habla de E-FTTH (Ethernet FTTH). Sin embargo, el dominio de transmisión de Ethernet consiste solo de los dos puntos finales, por lo que un árbol de expansión ya no es necesario.

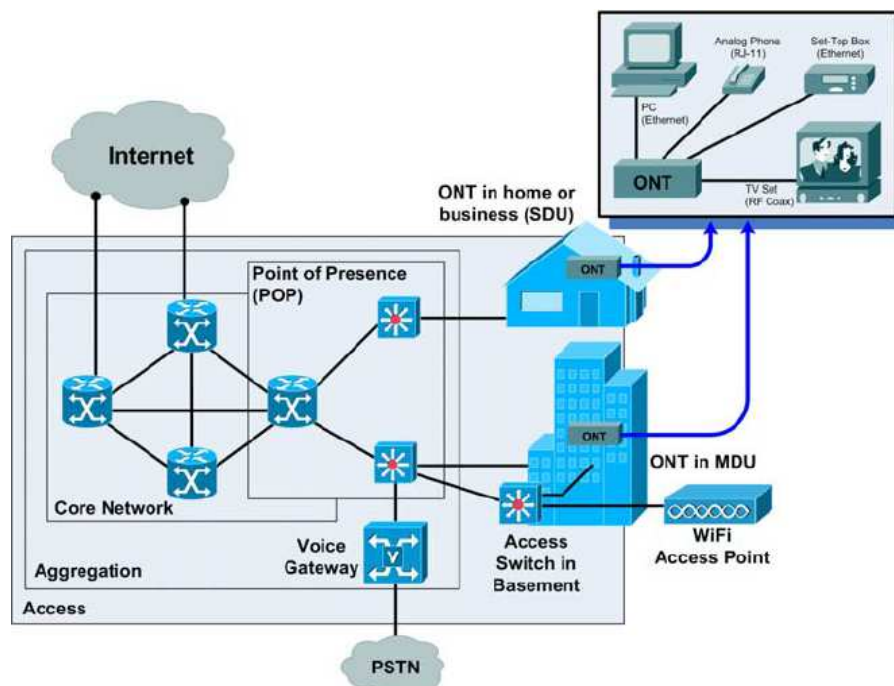


Figura 2. 5: Punto de presencia (PoP) interno.
Fuente: (Azodolmolky & Tomkos, 2008)

2.6. Redes ópticas pasivas (PON)

Las redes ópticas pasivas (*Passive Optical Network, PON*) utilizan divisores ópticos pasivos para permitir que múltiples usuarios finales se comuniquen simultáneamente sobre la misma fibra. Como regla, se elige una proporción del divisor (splitter) de 1:32.

2.6.1. Señales ascendentes y descendentes.

Las señales en sentido descendente se transmiten a todos los puertos, mientras que las señales en sentido ascendente deben utilizar un protocolo de acceso múltiple, ya sea la multiplexación por división de tiempo (Time

Division Multiplexing, TDM) o multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*). Para evitar la interceptación de datos de todos modos, los flujos descendentes se pueden cifrar. Las señales downstream y upstream se transmiten en dos longitudes de onda separadas. Al multiplexar el ancho de banda de un puerto se divide entre los usuarios.

- a) **Enlace ascendente:** la señal upstream, como lo ve el cliente, usa una longitud de onda de 1310 nm. Es un TDM de difusión única (llamado también, unicast), es decir, la corriente no puede ser recibida por otras ONUs.
- b) **Enlace descendente:** la señal downstream está a 1490 nm y se transmite como una emisión, es decir, todas las ONUs reciben la misma señal.

2.7. Arquitectura de una PON.

La arquitectura básica de una PON se explica a continuación:

2.7.1. Terminal de línea óptica – OLT.

El OLT es la terminación de línea principalmente en la oficina o local en una caja de distribución con alimentación. Corresponde al LT en el modelo de referencia ISDN. Sirve a varios usuarios y es, por ejemplo, conectado al núcleo del paquete con varias interfaces Ethernet de 10 Gbps. La figura 2.6 muestra una OLT.



Figura 2. 6: Equipo terminal de línea óptica (OLT) de la serie SmartAX MA5600T de Huawei.

Fuente: (Huawei, 2016)

2.7.2. Terminal de red óptica – ONT.

Una ONT u ONU (unidad de red óptica) es la terminación de la red por parte del cliente o usuario. Tiene una entrada óptica y una salida Ethernet. La figura 2.7 muestra una fotografía de un equipo ONT EchoLife HG8245H de Huawei.



Figura 2. 7: Equipo ONT EchoLife HG8245H de Huawei.
Elaborado por: Autor.

2.7.3. Divisores ópticos.

Para llevar las señales ascendentes y descendentes a una fibra, se utiliza un acoplador WDM pasivo, Las figuras 2.8 y 2.9 muestran la división de la "señal raíz" desde la central telefónica en las señales individuales (aquí 16).

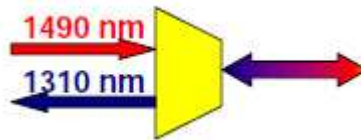


Figura 2. 8: Acoplador WDM.
Elaborado por: Autor.

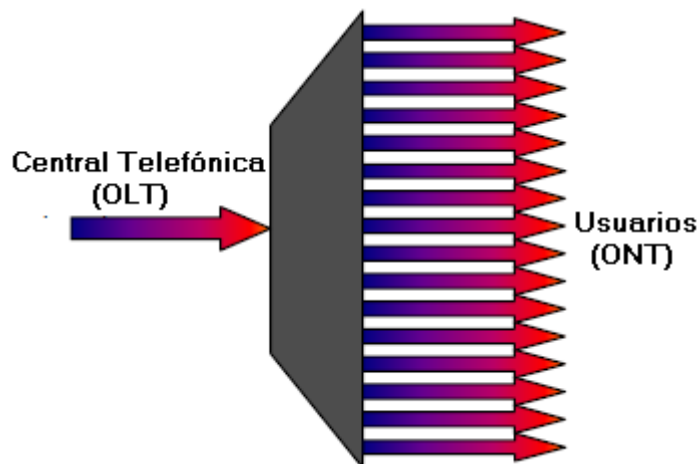


Figura 2. 9: Divisor óptico pasivo.
Elaborado por: Autor.

Un divisor pasivo, que divide la señal óptica en varias señales replicadas, generalmente se implementa como un prisma de vidrio. Para este propósito, se utilizan divisores de haces de luz (inglés: beam splitter). La figura 2.10 muestra un divisor 2:16, es decir, 2 fibras que se van a dividir en 16 fibras.

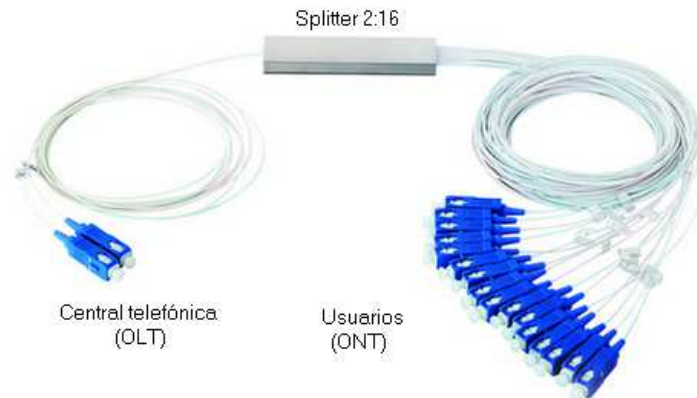


Figura 2. 10: Divisor óptico de 2:16 en redes ópticas pasivas.
Elaborado por: Autor.

La figura 2.11 muestra un armario de distribución óptica (ODF) con un divisor pasivo de relación 1:32.



Figura 2. 11: Divisor pasivo, óptico con una proporción de 1:32.
Fuente: (Jaya Riofrío, 2016)

2.7.4. Infraestructura de una red óptica pasiva.

Como se puede ver en la figura 2.12, no hay componentes activos entre un OLT y un ONT. Principalmente en una PON se usa una estructura de árbol, porque las diferencias de nivel con los diferentes clientes finales son menores. Mientras, que la figura 2.13 muestra los usuarios que están conectados a una

PON con los elementos de red correspondientes (OLT, divisores, ONT), incluida la conexión a un núcleo de paquete.

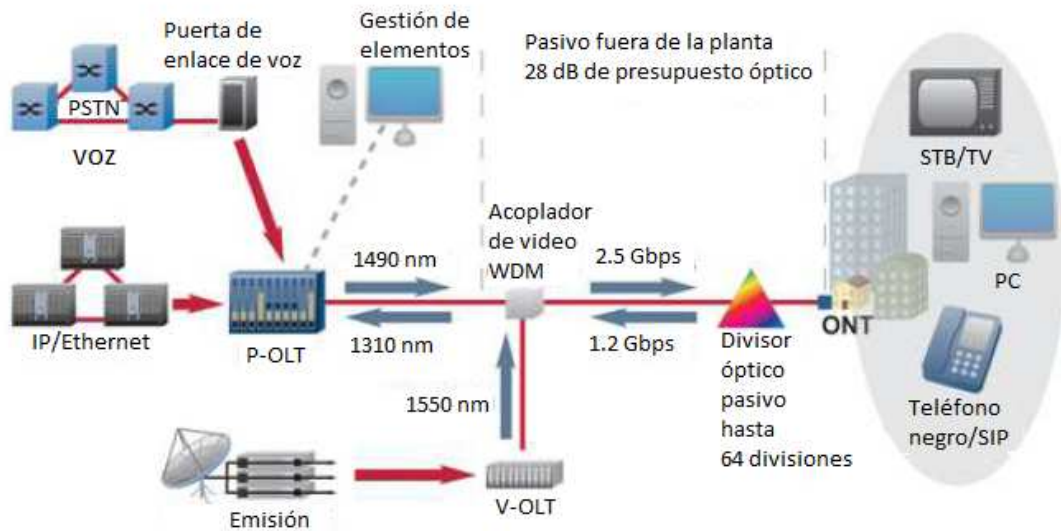


Figura 2. 12: Diferentes componentes de una red óptica pasiva.
Elaborador por: Autor.

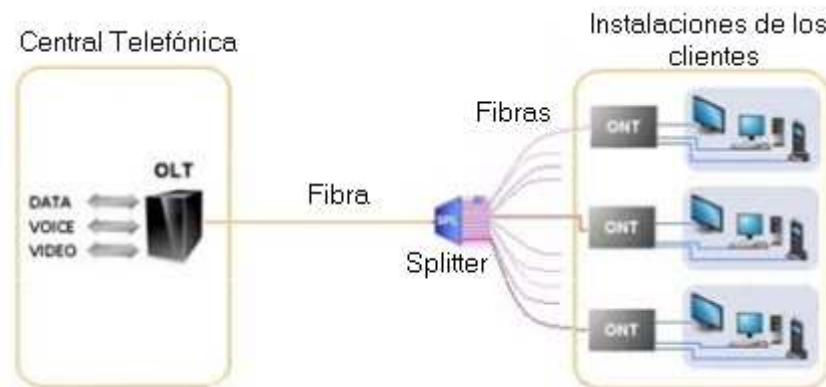


Figura 2. 13: Configuración de una red de malla inalámbrica.
Fuente: (Costa Da Mata, 2014)

2.8. PON de multiplexación por división de tiempo (TDM-PON).

Una red óptica pasiva de multiplexación por división de tiempo (TDM-PON) distingue a los usuarios individuales por intervalos de tiempo (ranuras de tiempo). Este es un sistema TDM similar al ISDN con una duración de 125 ms por ranura de tiempo. Cada señal de una ONT se multiplexa en el dominio del tiempo y se puede distinguir por una dirección integrada en la señal. Debido a que las señales downstream se transmiten, la señal del OLT alcanza a cada ONT. La figura 2.14 muestra la arquitectura de una TDM-PON siendo

el más comúnmente utilizado entre todos las PONs. A continuación, se discuten los estándares más importantes de TDM-PON.

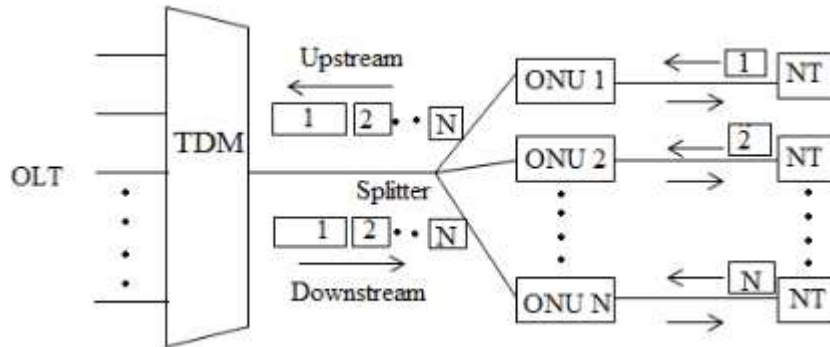


Figura 2. 14: Arquitectura de una red óptica pasiva de multiplexación por división de tiempo.

Fuente: (Surbhi & Brintha, 2014)

Capítulo 3: Análisis de las redes de acceso de fibra óptica.

3.1. Visión general de la evolución de las redes ópticas pasivas – PON.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama esquemático temporal que representa la evolución de las tecnologías PON a lo largo de los años, en función de la velocidad de transmisión de datos ofrecida por los diferentes sistemas, en bps.

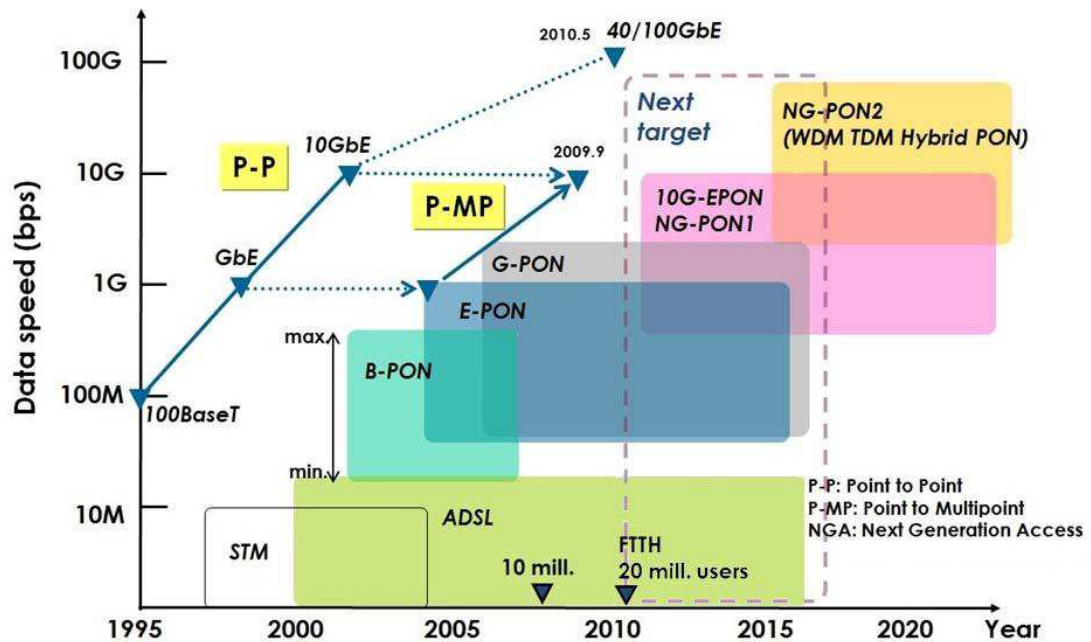


Figura 3. 1: Esquemático del escenario evolutivo de las PONs.

Fuente: (Tsubokawa, 2009)

En la figura 3.1 se identifican las diferentes tecnologías, su año de surgimiento y la duración de las mismas. Se observa que ADSL todavía está enraizada en nuestras redes de acceso. Las tecnologías PON, primero PON de banda ancha (*Broadband Passive Optical Network, B-PON*), después de Ethernet sobre PON (*Ethernet Passive Optical Network, E-PON*) y PON con capacidad de Gigabit (*Gigabit Passive Optical Network, G-PON*). Con la necesidad de cada vez disponer de un mayor ancho de banda por usuario, surgen las tecnologías de nueva generación (NG-PON1 y 10G E-PON). Aunque, se continúan los estudios e investigando soluciones y equipos que permitan la implementación de las tecnologías NG-PON2, es decir, que esta puede ser la solución híbrida de las multiplexaciones WDM y TDM.

3.2. Red óptica pasiva de próxima generación (NG-PON).

La discusión sobre los posibles escenarios de migración hacia PON de próxima generación (*Next Generation PON, NG-PON*) se muestra en esta sección. Por un lado, está la evolución de crecimiento, determinada por la tecnología NGPON1, por otro lado, se está proponiendo un cambio revolucionario, NG-PON2. Por lo tanto, la tecnología de próxima generación de PON (NG-PON) se clasifica en dos tipos, que son: NG-PON1 y NG-PON2.

La NG-PON1 resulta ser una evolución de GPON permitiendo que las dos tecnologías coexisten en la misma ODN, facilitando la transición gradual entre tecnologías. De esta forma, los clientes individuales se pueden actualizar a NG-PON en el mismo ODN y vivir en comunidad con los clientes de GPON, sin interrumpir los servicios de los demás clientes.

En el caso de la NG-PON2, se propone un cambio completamente disruptivo de NG-PON, por lo que no tiene ninguna posibilidad de convivencia con GPON en el mismo ODN. Se están realizando estudios e investigaciones y se están implementando nuevos equipos para definir esta nueva tecnología. En la tabla 3.1 se muestra la comparativa de la tasa de transmisión en los canales de comunicación ascendente y descendente.

Tabla 3. 1: Comparativa de tasa de transmisión para los canales de comunicación de las NG-PON.

Canal de comunicación	NG - PON1		NG - PON2
	XG-PON1	XG-PON2	
Ascendente	2.5G Bit/s	10G Bit/s	40G Bit/s
Descendente	10G Bit/s		40G Bit/s

Fuente: (Ragheb & Fathallah, 2011)

Mientras, que en la figura 3.2 se muestra la representación estimada de la evolución de NG-PON1 y NG-PON2.

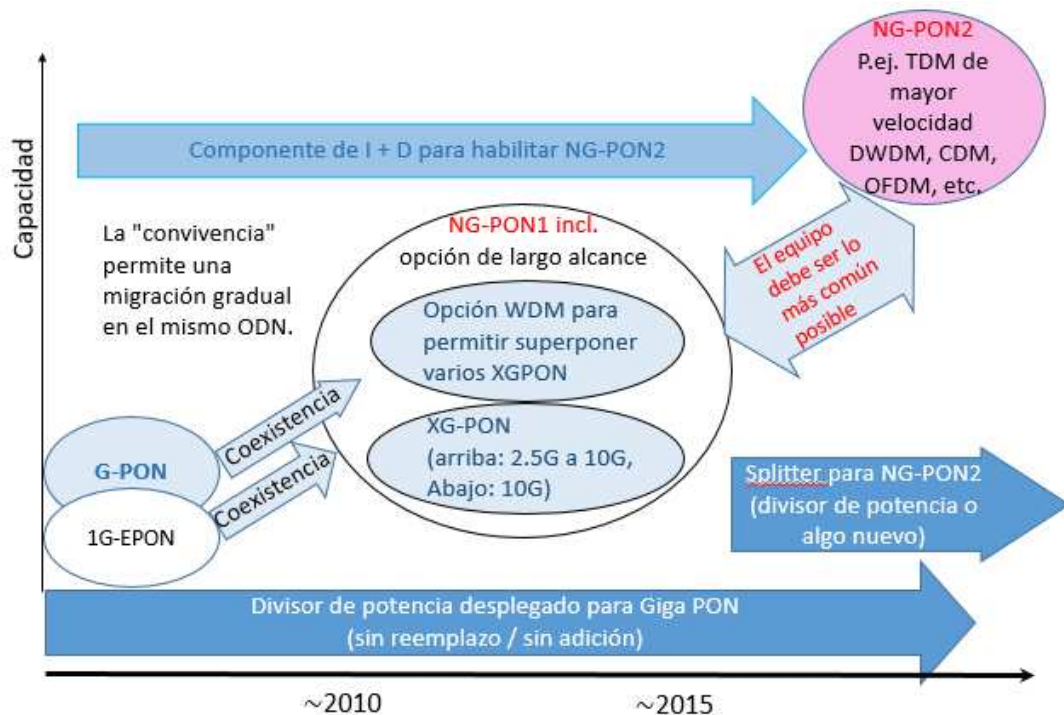


Figura 3. 2: Representación de una estimación de la evolución para NG-PON1 y NG-PON2.

Elaborado por: El Autor

3.2.1. Tecnologías de NG-PON1.

De la figura 3.2, NG-PON1 posee varias opciones de tecnologías, o sea, existe superposición de múltiples XG-PON a lo largo de una fibra alimentada con múltiples canales de longitud de onda. XG-PON representa un sistema PON, con capacidad de al menos 10 Gbps en el sentido downstream. Ya para upstream dependiendo de las aplicaciones objetivo, puede ser de 2.5 Gbps (XG-PON1) o velocidad de línea simétrica de 10Gbps (XG-PON2).

3.2.2. Tecnologías de NG-PON2.

De la figura 3.2, la tecnología NG-PON2 es una solución propuesta después de NG-PON1 y se presenta como una solución a largo plazo con un costo eficaz. NG-PON2 no está restringido por los requisitos de coexistencia. Existen varias tecnologías candidatas, ejemplo de esta tecnología es la multiplexación por división de longitud de onda densa (*Dense WDM, DWDM*). La primera generación de splitters y fibra puede ser compartida tanto por GPON, como por NG-PON1, dada la asignación del espectro óptico. En cuanto a NG-PON2, esta tecnología puede utilizar diferentes splitters y fibras

y en el futuro podrá utilizar diferentes dispositivos en lugar de los actuales splitters, como las rejillas de guías de ondas agrupadas (*Array Waveguide Grating, AWG*).

3.3. Red óptica pasiva 10G (10GPON).

El siguiente objetivo de los grupos que estudian las tecnologías en las redes de acceso es aumentar la velocidad de transmisión, siendo este el siguiente pasó en la evolución de las PONs. Sinergias de los grupos FSAN e ITU-T resultan en la especificación de una nueva tecnología NG-PON1, que pretende proteger las inversiones de los operadores en la tecnología GPON. Este nuevo sistema se implementa en dos fases, permitiendo una migración de la tecnología actual a XGPON1 y luego a XGPON2.

La XG-PON1, más conocida como 10GPON, es una tecnología definida por la norma ITU-T G.987. Ofrece nuevos servicios y se basa en la tecnología GPON ya desarrollada e implementada. Con el fin de facilitar su aplicación, evitando costos muy elevados, se pretende reutilizar estructuras y dispositivos. Se plantea la necesidad de aumentar la capacidad, alcance y relación de división existente, así como la corrección a la solución de problemas ópticos.

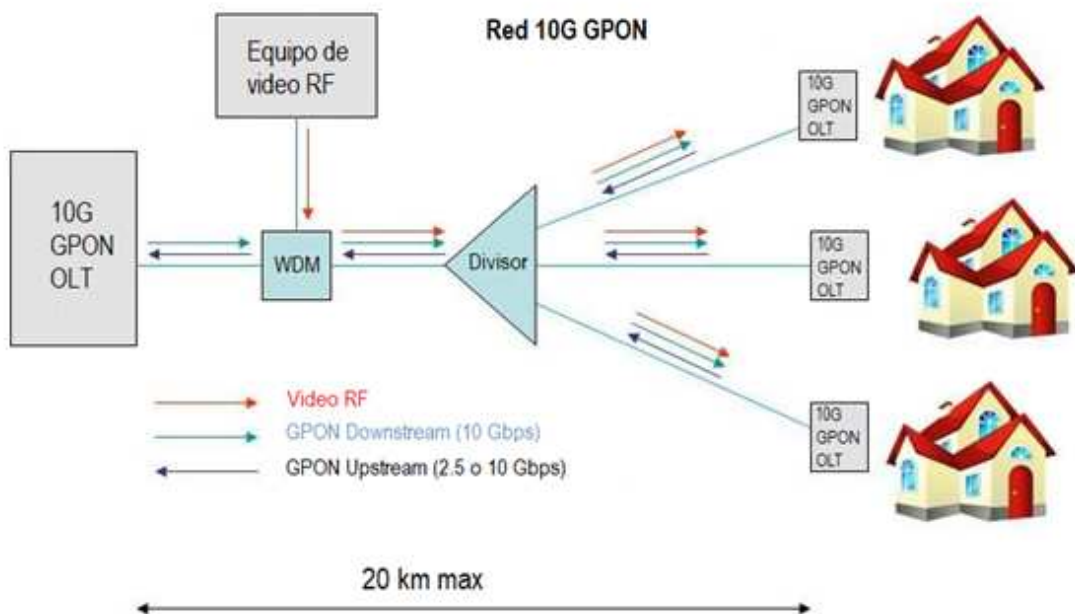


Figura 3. 3: Arquitectura 10G GPON.
Elaborado por: El Autor

Se definen dos modelos en la capa física de acuerdo con esta norma:

- **XG-PON1:** también conocida como 10G/2.5G PON de velocidad asimétrica, el canal de comunicación ascendente se basa en la normativa ITU-T G.984 (GPON) que cuando está implementada ofrecen velocidades de 2.5 Gbps. Mientras, que para la parte descendente ofrece hasta 10 Gbps de velocidad de transmisión.
- **XG-PON2:** también conocida como 10G/10G PON de velocidad simétrica que soporta recepción y transmisión de datos a 10 Gbps.

Las tasas de transmisión de 10 Gbps implican varios desafíos técnicos como el control de la dispersión, la sensibilidad de los receptores y las cuestiones relacionadas con la potencia necesaria para tasas (velocidades) tan elevadas.

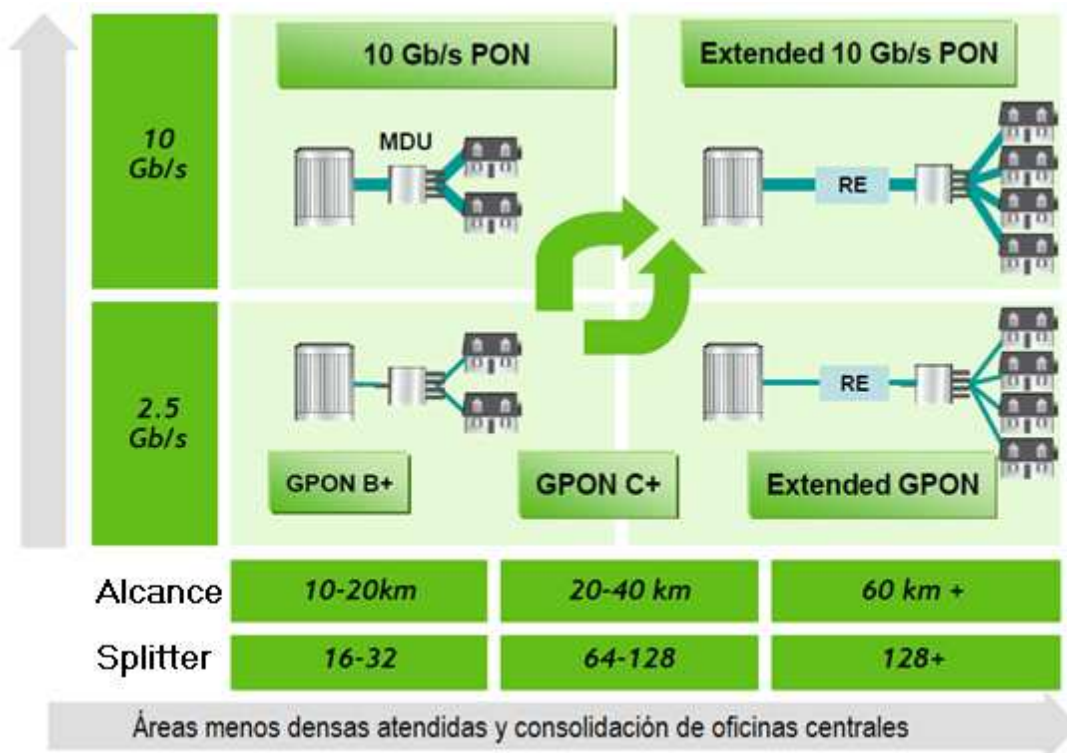


Figura 3. 4: Evolución de GPON.

Elaborado por: El Autor

En este escenario de evolución (ver figura 3.4) se ofrece, a largas distancias, un mayor ancho de banda y simetría por usuario, aumentando también la relación del divisor óptico. Hay dos escenarios de migración posibles, o evolucionar primero la capacidad de la red, manteniendo la

relación del divisor y el alcance, y sólo después evolucionar hacia una arquitectura de larga distancia y de relación de divisor superior; o evolucionar hacia una arquitectura de largo alcance y de relación de divisor elevada y sólo después aumentar la capacidad de la red.

3.3.1. Arquitectura XG-PON.

Las redes de acceso ópticas pueden ser activas o pasivas y sus arquitecturas pueden ser punto a punto o punto a multipunto. La tecnología XGPON1, es la evolución de la tecnología GPON, que soporta diferentes escenarios mostrados por la figura 3.5. Desde aplicaciones como FTTH, FTTCcell (Fibra hasta la ceda), FTTB, FTTC, y FTTO (Fibra hasta la oficina).

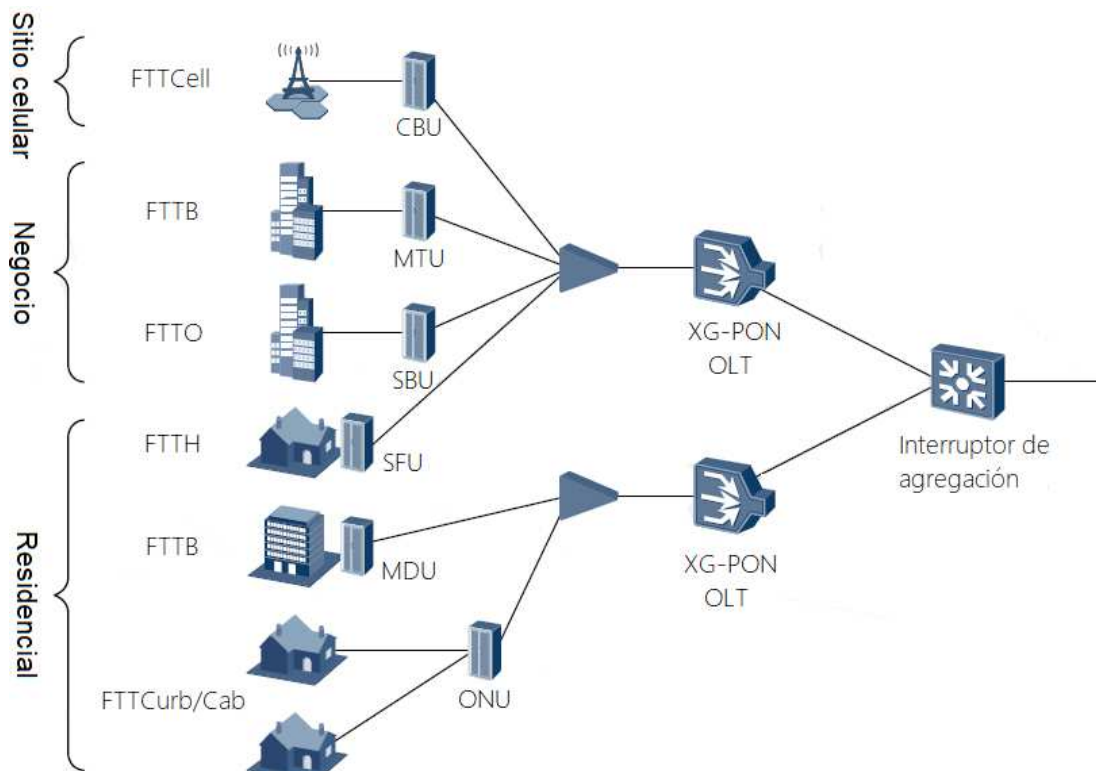


Figura 3. 5: Escenarios de aplicación de XG-PON1.
Elaborado por: El Autor

Actualmente se están implementando en todo el mundo las tecnologías GPON y EPON. Con la necesidad cada vez mayor de ancho de banda por parte de consumidores y aplicaciones de negocio, este es un requisito general para una próxima generación de redes de acceso. Además, debido a la gran inversión gastada en tiempo y dinero en la implementación de GPON, las NG-PON deben tener como requisito, en esta primera fase, la coexistencia de G-

PON con XG-PON y promover una migración suave de los clientes. Existen dos escenarios de migración posibles para satisfacer las necesidades de los operadores de servicios:

- Escenario de migración PON brown field;
- Escenario de migración PON green field.

3.3.1.1. Escenario de migración PON brown field.

El escenario de migración PON brown field se refiere a un escenario donde un sistema PON ya se ha implementado y los operadores de red deciden aprovechar todas las infraestructuras existentes para actualizar la tecnología actual para su evolución. En este caso concreto, la tecnología implementada es la GPON y su primera evolución es XGPON.

Algunos clientes de GPON pueden requerir una actualización de velocidad de transmisión, pasando así al sistema XG-PON, mientras que otros clientes permanecen en el sistema GPON. En determinados momentos, algunos operadores de red pueden realizar una migración "forzada" de GPON a XG-PON cuando se extingue. Los requisitos generales para este escenario son:

- La coexistencia entre GPON y XG-PON en la misma fibra y en el mismo ODN;
- La interrupción de servicios para los clientes que aún no han migrado debe minimizarse, y;
- XG-PON debe soportar/emular todos los servicios de GPON en el caso de una migración completa.

3.3.1.2. Escenario de migración PON green field.

Este escenario propone la renovación de la red de acceso a la infraestructura FTTx; es la mayor inversión de los operadores de redes de telecomunicaciones y puede tardar mucho tiempo hasta que se implemente. En este escenario, la exigencia de coexistencia con GPON no es necesaria, tal como sucedió en la PON brown field.

3.3.2. Coexistencia entre XG-PON/GPON.

La coexistencia de la tecnología GPON, actualmente en vigor, con su evolución 10GPON es necesaria para dar una migración sencilla y de bajo costo. La reutilización de infraestructuras, de equipos es imperativa para proteger las inversiones de los operadores de la tecnología GPON. En la figura 3.6 se muestra el diagrama esquemático de la coexistencia entre XG-PON y GPON.

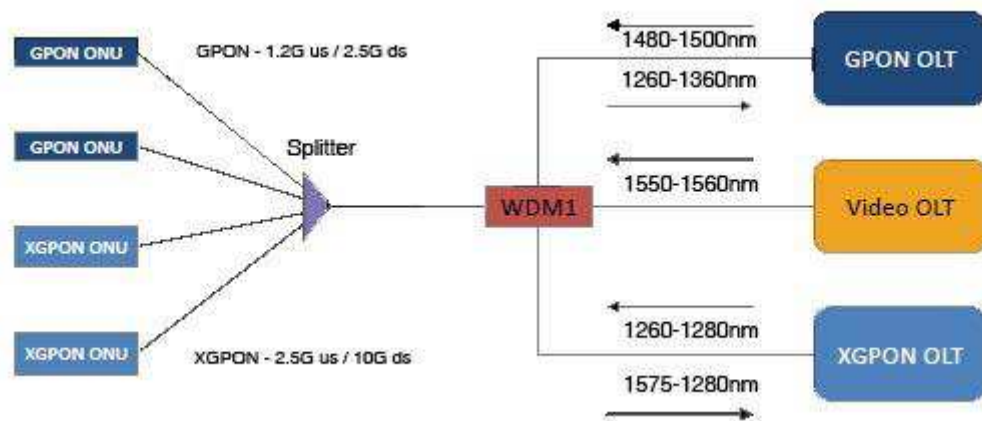


Figura 3. 6: Coexistencia entre GPON y XG-PON.

Elaborado por: El Autor

Pueden existir diferentes arquitecturas para que la coexistencia entre las tecnologías: GPON, XGPON (1 o 2) sea posible, incluso para que los servicios de vídeo continúen activos en una misma ODN. Las figuras 3.7 y 3.8 son diagramas de referencia de arquitecturas de una red óptica de acceso. Se utilizan los filtros de bloqueo de longitud de onda (*Wavelength Blocking Filters, WBF*) y multiplexación WDM, tanto para que GPON, XGPON1 o XGPON2 y vídeo compartan la misma ODN.

Los equipos WDM tienen la función de combinar/aislar las longitudes de onda de las diferentes tecnologías (GPON, XGPON1 o XGPON2), y también las longitudes de onda para difusión de vídeos tanto en upstream y downstream, los mismos que se encuentran situados en las OLT (por ejemplo, en la central telefónica) como en los equipos terminales de los usuarios (CPE), exactamente en las ONUs. Existen en las ONUs los WBFs que son filtros de

longitudes de onda que interfieren con las señales enviadas al receptor (Rx) que también pueden ser señales de vídeo (V-Rx).

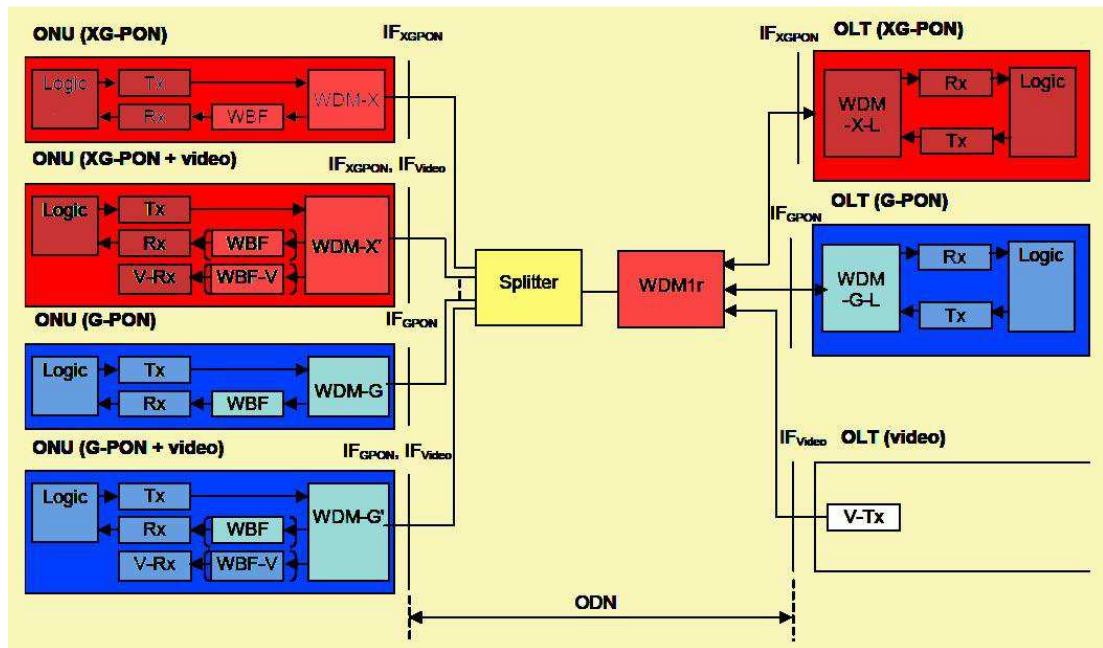


Figura 3. 7: Configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON a través del WDM1r.

Elaborado por: El Autor

En la figura 3.7 se muestra una configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON a través de la utilización de los equipos anteriormente mencionados (WBF y WDM), así como a un multiplexor de división por longitud de onda denominada WDM1r. El equipo WDM1r, con la misma función que los demás WDM, puede encontrarse en una central telefónica (*Central Office, CO*).

Mientras que en la figura 3.8 se muestra una configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON mediante el uso de los equipos anteriormente mencionados (WBF y WDM) y varios niveles de separación. El primer punto de agregación (equivalente al primer nivel de separación) va a ser de 3: N, donde las señales de las OLTs (GPON, XGPON y Video) se dividir para N. El segundo punto de agregación (equivalente al segundo nivel de separación) será de 1: M usuarios finales.

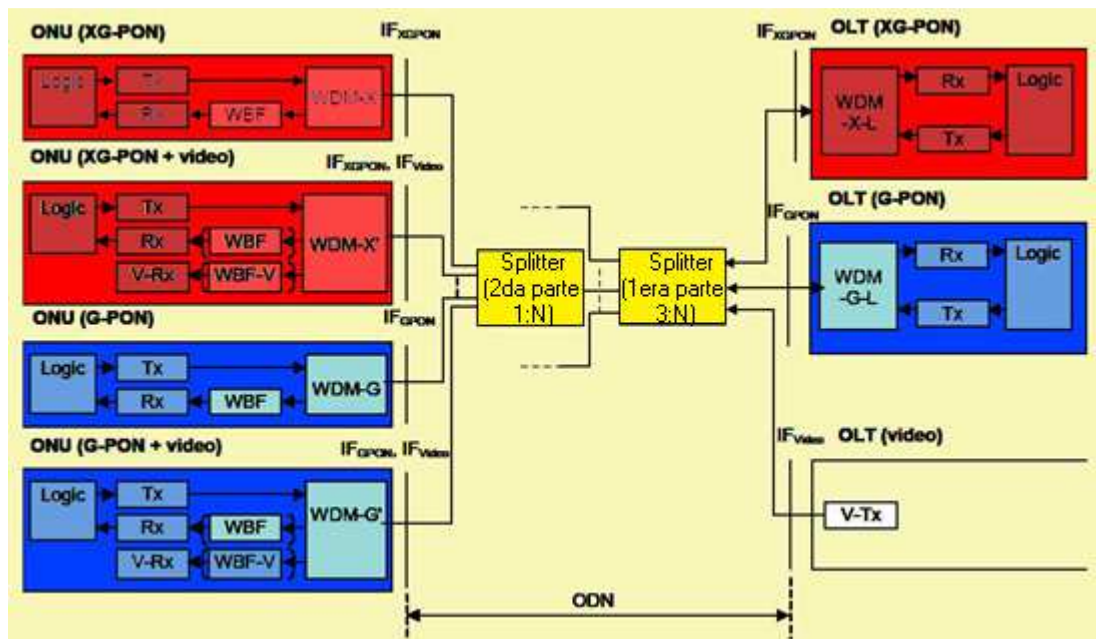


Figura 3. 8: Configuración óptica de referencia para la coexistencia de XGPON con GPON a través de splitters.
Elaborado por: El Autor

3.3.3. Mecanismos de transmisión de 10GPON/GPON.

Los mecanismos implementados se basan en el multiplexado en el tiempo, TDM en el sentido de downstream. Mientras, que en el sentido de upstream se implementan mecanismos de acceso múltiple (TDMA) al medio compartido por todos los usuarios, independientemente de la tecnología que está implementada, tal como se muestra en la figura 3.9. Las señales de color morado son las señales GPON y de color amarillo son las señales XGPON. En el caso de un cliente GPON, éste recibe y envía señales GPON (cliente de color azul). En el caso de un cliente XGPON1, recibe señales XGPON y envía señales GPON (cliente de color rojo). En el caso de un cliente XGPON2, éste recibe y envía señales XGPON (cliente de color verde).

Se trata entonces de la coexistencia de varias tecnologías en la misma red de distribución de acceso, que sólo es posible ya que las diferentes tecnologías operan a frecuencias diferentes. En el canal de comunicación en sentido descendente, se observa en la figura 3.9 la implementación del equipo WDM1r, el mismo que combina señales emitidas en diferentes frecuencias, procedentes de algunos OLTs que tiene incorporadas diferentes tecnologías.

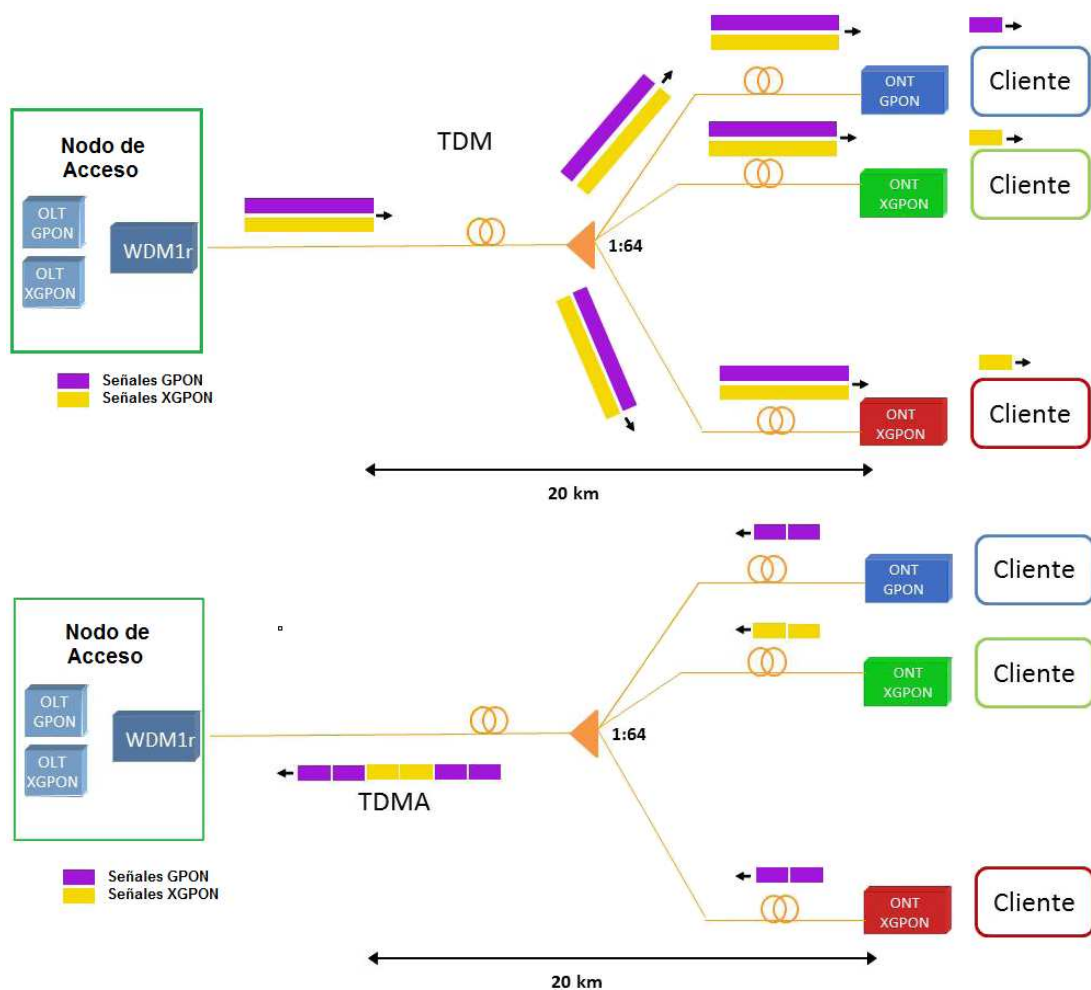


Figura 3. 9: Canales de Comunicación GPON/10G PON.
Elaborado por: Autor

3.3.4. Asignación de longitud de onda 10GPON/GPON.

En el caso de la tecnología GPON, la transmisión en sentido descendente de 2.5 Gbps se limita a la banda de 1480 nm – 1500 nm y la transmisión en sentido ascendente se limita a la banda de 1260 nm a 1360 nm, tal como se muestra en la figura 3.10. En el caso de la tecnología 10GPON, la transmisión en sentido descendente de 10 Gbps se limita a la banda de 1575 nm – 1580 nm y la transmisión en sentido ascendente se limita a la banda de 1260 nm a 1280 nm. En el sentido ascendente las bandas que delimitan las respectivas transmisiones se superponen permitiendo el reparto de esta región del espectro caracterizada por una baja dispersión cromática. Este recurso requiere una separación en el dominio de tiempo para los dos canales (TDMA). La gama de 1550 nm a 1560 nm se reserva para vídeo.

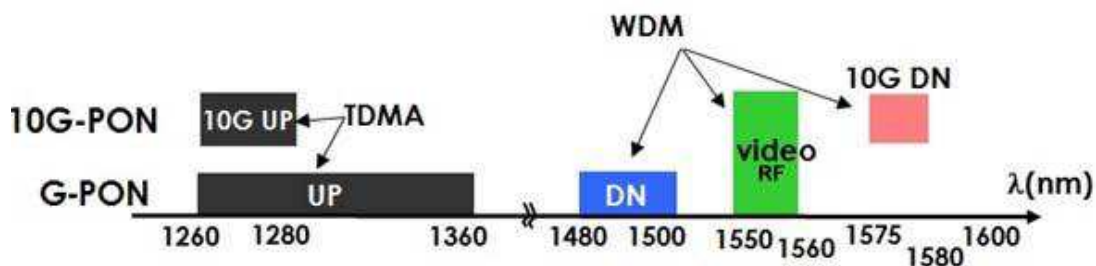


Figura 3. 10: Asignación de longitud de onda 10G-PON/G-PON.
Fuente: (Tsubokawa, 2009)

3.3.5. Operación de modo dual 10GPON/GPON.

En un escenario de evolución que permita la coexistencia entre la tecnología actual GPON y su evolución 10GPON existen ventajas significativas:

- Reduce los costos de gastos operativos (*Operational Expenditure, OpEx*) y gastos de capital (*Capital Expenditure, CapEx*) asociados, reutilizando infraestructuras y componentes;
- Proceso de migración gradual, actualización del OLT y sólo después la actualización de la ONU de acuerdo con lo solicitado, manteniendo el mismo ODN;
- Uso de las ONUs con relación costo/eficiencia requeridas para la tecnología deseada individualmente;
- Los servicios no se interrumpen durante el proceso de migración a la nueva tecnología;
- Uso del mismo OAM (operación, administración y mantenimiento) para una monitorización intensa de la red;
- Innovación de los servicios, aumento de la capacidad de red, aumento del número de clientes servidos y optimización de sinergias.

3.3.6. Relación de divisores o splitters.

Los ODN donde actualmente se implementa la tecnología GPON se han dimensionado con la relación de splitter entre 1:32 a 1:64, enlaces de presupuesto asociados a la tecnología. Este será un requisito mínimo para XGPON que permitirá la coexistencia de ambas en el mismo ODN. En la figura 3.11, se representa una arquitectura genérica de este tipo. En este modelo hay dos niveles de separación que acepta cualquier valor entero para m o n,

siempre que la condición de $m * n = 32$ hasta 64 se verifique. Se necesita especial atención para cuando $m = 64$ y $n = 1$, ya que no es necesario ningún splitter en el nodo de acceso.

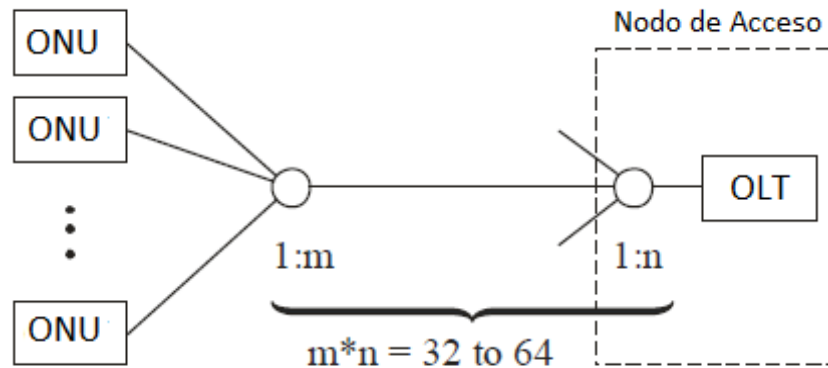


Figura 3. 11: Arquitectura genérica de relación de splitter.
Fuente: (ITU, 2018)

Los estudios que se están realizando tienen como objetivo aumentar la capacidad de división actual de GPON de 1:64 a 1:128 hasta 1:256 en XGPON. Un mayor nivel de separación permite aumentar la red óptica pasiva hasta el backhaul, como en la arquitectura adoptada en la figura 3.12, y/o alcanzar usuarios finales a mayores distancias, visible en la arquitectura de la figura 3.13.

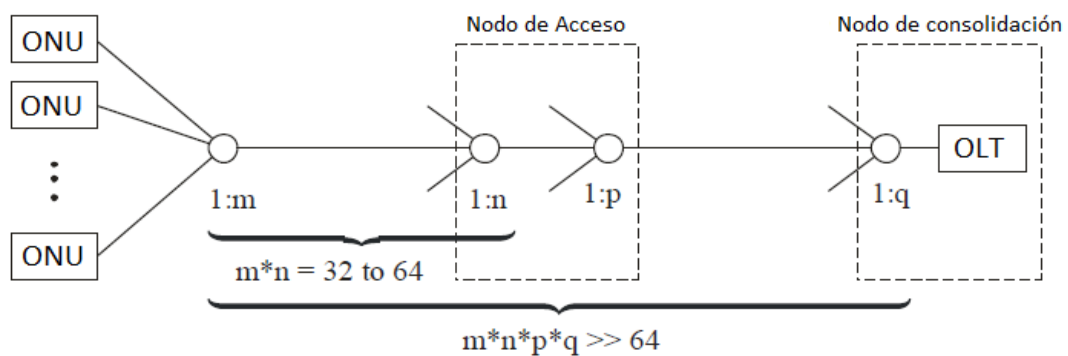


Figura 3. 12: Configuración para una relación de división adicional para redes de acceso de alto nivel.
Fuente: (ITU, 2018)

Considerando estas topologías, la función de control de la XGPON TDMA debe ser capaz de soportar 256 o posiblemente más usuarios a nivel de división lógica. El nivel de separación física debe elegirse de acuerdo con la madurez y la relación costo-eficiencia de los equipos ópticos. Para

aumentar el presupuesto de pérdidas, se pueden utilizar técnicas de aumento de alcance, especialmente cuando se pretende implementar las dos últimas arquitecturas.

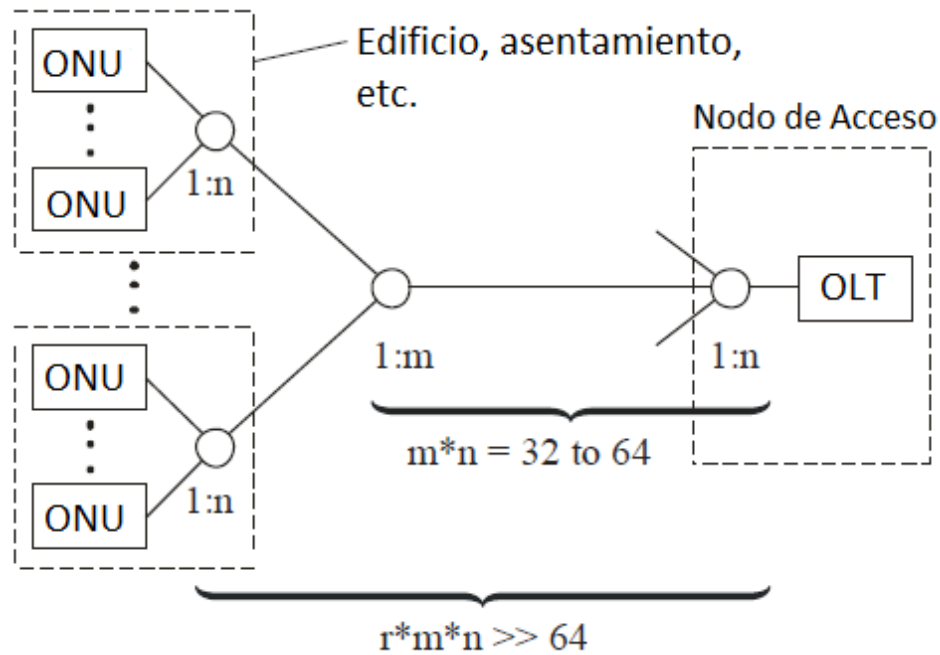


Figura 3. 13: Configuración para una relación de división adicional para redes de acceso de bajo nivel.

Fuente: (ITU, 2018)

3.3.7. Aumento del alcance.

El propósito de la utilización de equipos como el extendido de la mitad del tramo es proporcionar un enlace de presupuesto adicional para la optimización de las capacidades de la tecnología tanto en alcance como en relación de splitter. También permite la implementación de OLTs en áreas de baja densidad de población. El uso de estos equipos no requiere ningún cambio que en las OLTs o en las ONUs.

En las figuras siguientes 3.14 y 3.15 se representan las dos arquitecturas principales que involucran el alcance de extensores. La primera se adopta cuando se da la migración de la tecnología GPON a la tecnología XGPON. La segunda se adopta cuando el aumento del alcance ya se ha implementado en la tecnología GPON, donde dos situaciones pueden ocurrir: el equipo utilizado es compatible con las dos tecnologías o es necesario su sustitución por uno que lo sea.

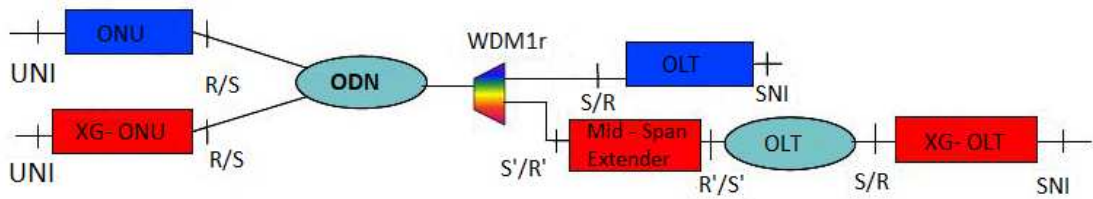


Figura 3. 14: Superposición de G-PON/XG-PON con único extensor XG-PON de tramo medio.

Fuente: (ITU, 2018)

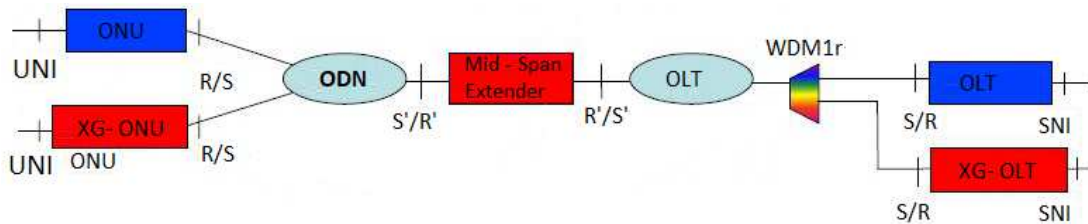


Figura 3. 15: Superposición de G-PON/XG-PON con extensor de rango medio.

Fuente: (ITU, 2018)

3.3.8. Comparación de las tecnologías GPON y XGPON.

Los sistemas GPON y XGPON comparten las siguientes características y mecanismos:

- Principios de transmisión: Acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) en la dirección upstream y TDM en la dirección downstream;
- Asignación dinámica de ancho de banda (DBA);
- Calidad de servicio y gestión de tráfico;
- Monitorización remota de la ONU por la interfaz de gestión y control de ONT (OMCI) cuya normativa está definida en la ITU-T G.988.
- Enlaces de hasta 20 km de fibra óptica (pero a nivel lógico es 60km);

Por otro lado, las tecnologías en estudio difieren en varios aspectos, como los siguientes:

- Asignación de bandas de longitudes de ondas diferentes en la dirección downstream y upstream;
- El sistema XGPON soporta tanto el modo de transmisión simétrico como asimétrico;
- Relación de división de 1:64 (pero a nivel lógico es 1:128 o 1:256);

- El recurso de corrección de errores hacia adelante (*Forward Error Correction, FEC*) es obligatorio para todos los canales de transmisión ascendentes y descendentes en la tecnología XGPON;
- El sistema XGPON utiliza mecanismos de seguridad superiores, con opciones de ahorro de energía mejoradas y una supervisión de la red de distribución más eficiente;
- El sistema XGPON utiliza opciones de sincronización que permiten aplicaciones de backhaul.

En la tabla 3.2 se muestran los niveles de capa física y MAC para las tecnologías G-PON contra XG-PON.

Tabla 3. 2: Comparativa a niveles de capa física y MAC de GPON vs XGPON.

		GPON	XG PON
Estándar		ITU-T G.984	ITU-T G.987
Capa MAC	Servicios	Ethernet, Gigabit Ethernet, TDM, POTS, VoIP, IPTV, TV Digital	Ethernet, Gigabit Ethernet, TDM, POTS, VoIP, IPTV, TV Digital
	Tramas	Trama del método de encapsulado GPON (<i>Gpon Encapsulation Method, GEM</i>)	Trama del método de encapsulado 10GPON (<i>10 Gpon Encapsulation Method, XGEM</i>)
Capa Física	Alcance	Máximo 20 km a nivel físico; Máximo 60km a nivel lógico	Mínimo 20 km a nivel físico; Mínimo 60 km a nivel lógico; (máximo 40 km diferenciales)
	Relación de splitter	1:64 (hasta 1:128 a nivel lógico)	1:64 (1:128 a 1:256 a nivel lógico)
	Velocidad de transmisión	Upstream: 1.2 Gbps	Upstream: 2.5 Gbps o 10 Gbps
		Downstream: 2.4 Gbps	Downstream: 10 Gbps
	Longitud de onda	Upstream: 1260 nm – 1360 nm	Upstream: 1260 nm – 1280 nm
		Downstream: 1480 nm -1500 nm	Downstream: 1575 nm – 1580 nm
FEC	Opcional	Obligatorio	
Coexistencia		Video RF	GPON, video RF

Elaborado por: Autor

3.4. Tecnología 10G-EPON.

En esta sección se está analizando la tecnología 10G-EPON de acuerdo con la norma IEEE 802.3av (10 Gbps Ethernet basado en PON) como solución a la necesidad de un mayor ancho de banda en las redes de acceso. Basada en la tecnología EPON, ya que comparten protocolos similares, y ofrece interfaces de 10 Gbps en los dos sentidos de comunicación. También, utiliza la longitud de onda de 1270 nm para upstream y 1577 nm para downstream. La evolución de la tecnología 10G-EPON no está permitida, debido a que permite la coexistencia de ambas tecnologías en el mismo ODN.

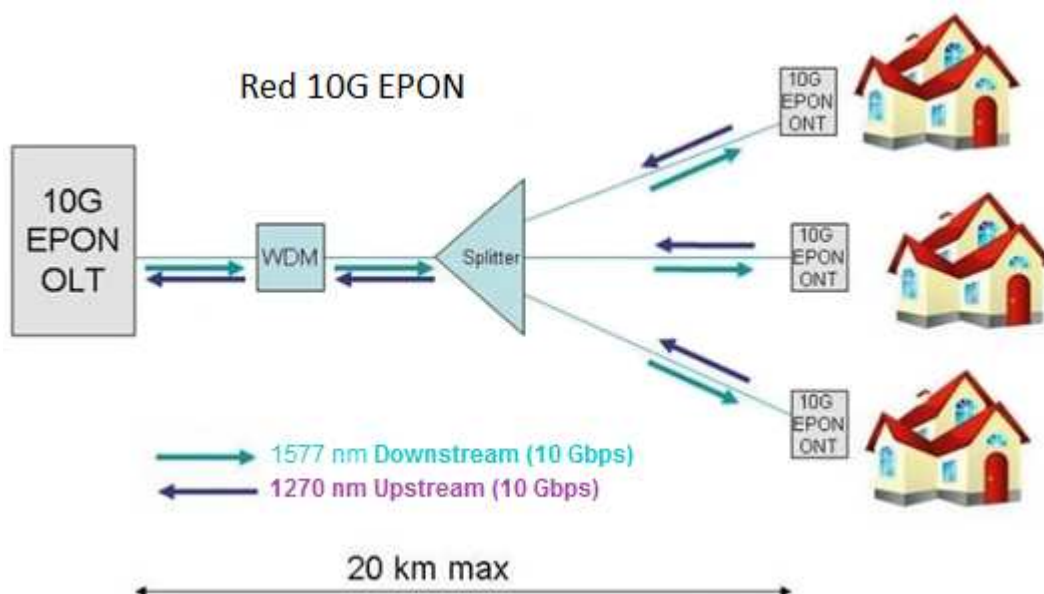


Figura 3. 16: Esquemático de la topología de red 10G-EPON.

Elaborado por: Autor

Se definen dos modelos en la capa física de acuerdo con esta norma:

- 10G/1G-EPON con velocidad asimétrica: el canal de comunicación ascendente se basa en la norma IEEE 802.3ah (Ethernet basada en PON) ya implementada que ofrece interfaces de 1Gbps. El canal de comunicación descendente ofrece hasta 10Gbps de transmisión basado en el grado de desarrollo de los dispositivos punto a punto de la tecnología Ethernet.
- 10G/10G-EPON con velocidad simétrica: soporta recepción y transmisión de datos a 10Gbps. Una vez desarrollada y definida la estrategia de configuración de MDU será posible que sólo un EPON ONU pueda conectar hasta mil usuarios.

3.4.1. Coexistencia de 10G/1G-EPON

De manera que sea posible una migración sencilla y de bajo costo de la solución 1G EPON a 10G EPON es necesario que estas dos tecnologías coexistan en una misma PON. Esto es posible si hay fusión de las tecnologías de multiplexación por división de onda gruesa (*Coarse Wave Division Multiplexing, CWDM*) y TDM. Al igual que EPON, también 10G-EPON se basa en Voz sobre IP (*Voice over IP, VoIP*) para transportar el tráfico de voz y en el servicio de emulación de circuitos (*Circuit Emulation Service, CES*) para transportar otras solicitudes de clientes TDM. La técnica utilizada para separar el tráfico en la dirección descendente es WDM (ver figura 3.17) mientras que en el sentido ascendente es necesaria una solución híbrida de WDM y TDM.

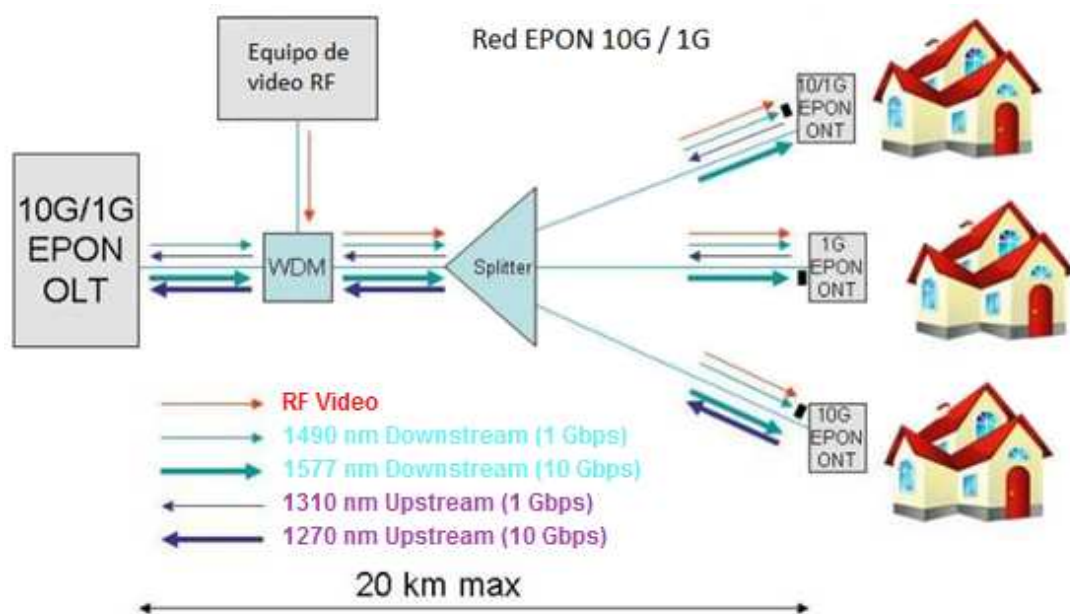


Figura 3. 17: Coexistencia de la topología de red de 10G/1G-EPON.
Elaborado por: El Autor

3.4.2. Mecanismos de transmisión de 10G/1G-EPON.

En la arquitectura del sistema 10G EPON, existen tres tipos de ONU (ver figura 3.18), dependiendo de la fase de evolución. A continuación, se muestran las posibles evoluciones del sistema:

- En la fase inicial, para sistemas EPON se tiene una ONU 1G/1G, logrando velocidades de 1 Gbps tanto upstream como downstream;
- En la fase intermedia, se tiene una ONU 1G/10G asimétrica, es decir que admite velocidades en upstream de 1 Gbps y downstream de 10 Gbps;

- Y en la fase final, una ONU 10G/10G simétrica, es decir que admite velocidades de 10 Gbps tanto en upstream como downstream.

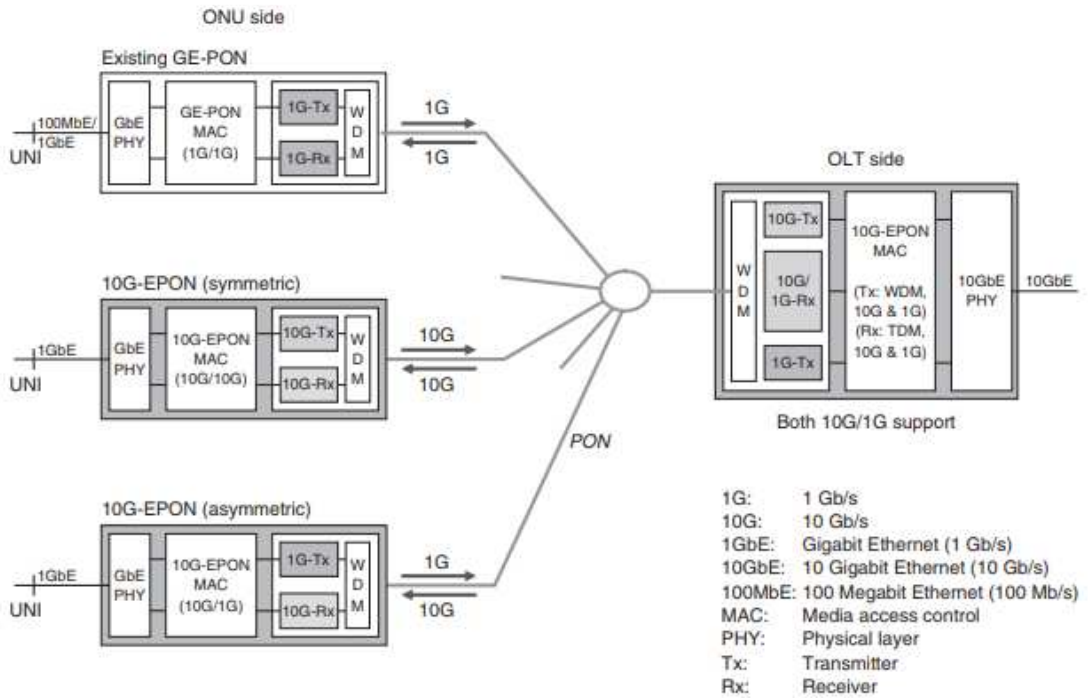


Figura 3. 18: Mecanismo de transmisión EPON y 10 GEAPON.
 Fuente: (Ishii & Yamashita, 2009)

3.4.3. Asignación de longitud de onda de 10G/1G-EPON.

En el sentido descendente los canales de 1 Gbps y 10 Gbps presentan un dominio de longitudes de onda distintas. La transmisión de 1 Gbps se limita a la banda de 1480 nm – 1500 nm, mientras que en el caso de la transmisión de 10 Gbps se limita la transmisión a la banda de 1575 nm – 1580 nm. En el sentido ascendente las bandas que delimitan las respectivas transmisiones se superponen permitiendo el reparto de esta región del espectro caracterizada por una baja dispersión cromática.

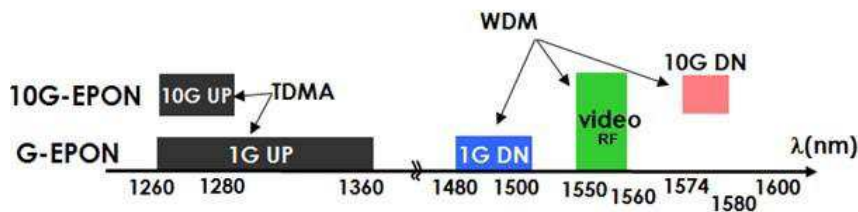


Figura 3. 19: Asignación de longitud de onda para 10G/1G-EPON.
 Fuente: (Tsubokawa, 2009)

Este recurso requiere una separación en el dominio de tiempo para los dos canales. La banda de transmisión de 1 Gbps, la longitud de onda está en

el intervalo de 1260 nm a 1360 nm; mientras que la banda de transmisión de 10 Gbps, la longitud de onda está dentro del rango de 1260 nm a 1280 nm. Y finalmente, en el rango de 1550 nm a 1560 nm es utilizada únicamente para emisión de vídeo, tal como se muestra en la figura 3.19.

3.4.4. Operación en modo dual de 10G/1G-EPON

Existen ventajas significativas en este escenario de operación común entre las dos tecnologías:

- Uso de ONUs con relación costo/eficiencia requerida para el servicio deseado;
- Los servicios y las operaciones de red no se interrumpen durante el proceso de migración a la nueva tecnología;
- Proceso de migración gradual, actualización del OLT y sólo después la actualización de la ONU de acuerdo con lo solicitado;
- Reduce los costos de OpEx y CapEx asociados, reutilizando infraestructuras y componentes;
- Uso del mismo OAM para una monitorización intensa de la red;
- Innovación de los servicios, aumento de la capacidad de red y optimización.

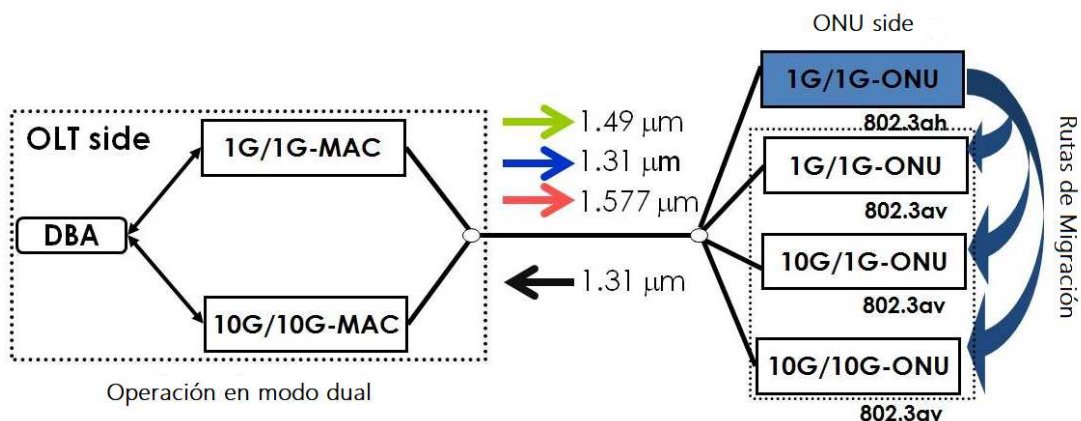


Figura 3. 20: Diagrama esquemático de la coexistencia de 10G EPON y 1G EPON.
Fuente: (Tsubokawa, 2009)

3.4.5. Comparativa en sistemas 1G-EPON y 10G-EPON.

A continuación, se muestran las características y diferentes mecanismos empleados en los sistemas 1G-EPON y 10G-EPON:

- Transporte de entramado de datos mediante Ethernet;

- Comunicación bidireccional a través una fibra óptica cuya transmisión se la realiza mediante WDM;
- TDMA en la dirección upstream y señal continua en la dirección downstream;
- Alcance de la fibra de 20 km o más;
- A partir de 16 ramos.

Por otro lado, difieren en varios aspectos, como los siguientes:

- Asignación de bandas de longitudes de ondas diferentes en la dirección downstream y upstream;
- El sistema 10G-EPON soporta tanto el modo de transmisión simétrico como el asimétrico
- La función de FEC es obligatoria para todos los canales que operan a un ritmo de 10Gbps, mientras que en la EPON es facultativo.

Tabla 3. 3: GPON vs XGPON.

		EPON	10G EPON
Estándar		IEEE 802.3ah	IEEE 802.3av
Clases		PX10 / PX20	PX10/PX20/PX30 (simétrico) PRX10 / PRX20 / PRX30 (asimétrico)
Capa MAC	Servicio	Datos Ethernet	Datos Ethernet
	Tramas	Ethernet	Ethernet
	Alcance	10 km o 20 km	10 km o 20 km
	Relación de divisor	1:16 o más	1:16 o 1:32 o más
	Velocidad de transmisión	Upstream: 1.25 Gbps Downstream: 1.25 Gbps	Upstream: 1.25 Gbps o 10 Gbps Downstream: 10 Gbps
Capa Física	Longitud de onda	Upstream: 1260 nm – 1360 nm	Upstream: 1260 nm – 1280 nm (10 Gbps) / soporta PR Upstream: 1260 nm-1360 nm (10Gbps) / soporta PRX
		Downstream: 1480 nm – 1500 nm	Downstream: 1575nm-1580nm (10Gbps) / soporta PR/PRX
FEC		Opcional	Obligatorio
coexistencia		--	EPON, transmisión de video

Elaborado por: Autor

3.5. PON de largo alcance (LR-PON).

Las redes ópticas pasiva de largo alcance (*Long Reach PON, LR-PON*) representan el siguiente paso en la evolución de las redes de acceso óptico, que son capaces de proporcionar servicios con altos requisitos de ancho de banda. Las redes PON son una solución eficiente para el problema de ancho de banda, que aún no es muy alto en las redes de acceso actuales. En la arquitectura PON hay una sola fibra que conecta a la central telefónica al nodo de acceso cerca de las residencias de los usuarios. La fibra se divide pasivamente en varias fibras individuales que se van a conectar directamente a las residencias de los usuarios.

Las primeras generaciones de PON ya están siendo comercializadas. Las tecnologías más avanzadas (GPON y EPON) ofrecen 2.5 Gbps o 1 Gbps para downstream y 1 Gbps para upstream, compartidos entre 64 usuarios a través de un divisor óptico pasivo, utilizando el acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access, TDMA*) y con un alcance máximo de 20 km. Estas tecnologías ofrecen un ancho de banda superior a la disponible en las redes de cobre tradicionales. Sin embargo, estas soluciones ya no son suficientes para satisfacer las necesidades actuales.

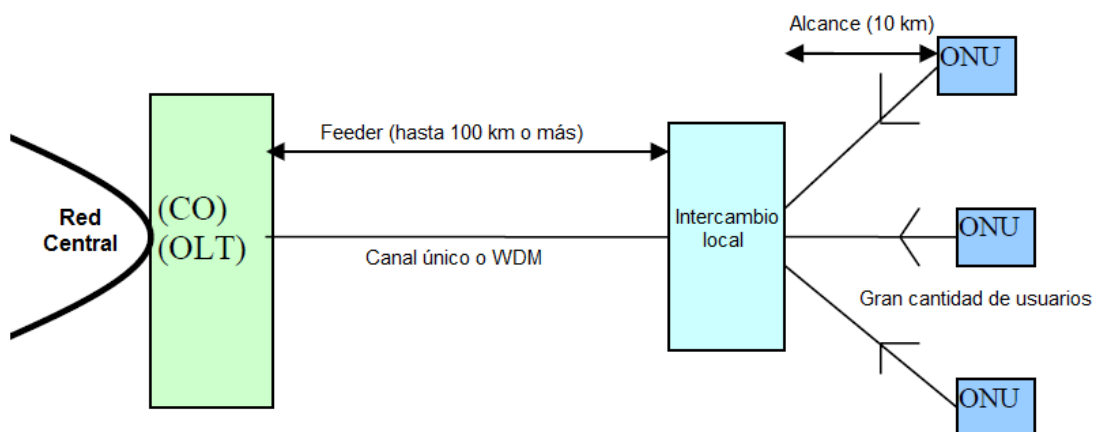


Figura 3. 21: Arquitectura PON de largo alcance.

Fuente: (Song, Kim, & Mukherjee, 2010)

Nuevas investigaciones se han hecho para encontrar soluciones de redes más radicales. Estas soluciones utilizan amplificación óptica, tienen un elevado factor de división (aproximadamente 1000) y gran alcance (aproximadamente 100 km), es decir, la LR-PON, que se destinan a usuarios

individuales, permitiendo anchos de banda de hasta 10 Gbps tanto para upstream y downstream. Las LR-PON reemplazarán los segmentos de acceso y metro de las redes actuales, constituyendo una única red integrada de comunicaciones ópticas. De acuerdo con (Song et al., 2010) en la figura 3.21 se muestra la arquitectura de LR-PON.

Con base en los principios de funcionamiento de la PON, las redes LR-PON permiten grandes ahorros, llevando el alcance físico de la red a la red central. Este hecho elimina la necesidad de equipamiento adicional para conectar la red de acceso a la red central (*Core Network, CN*), eliminado así el uso de nodos metropolitanos (*Metro Node*). En la figura 3.22 se esquematiza la visión de la arquitectura de red que se pretende para el futuro.

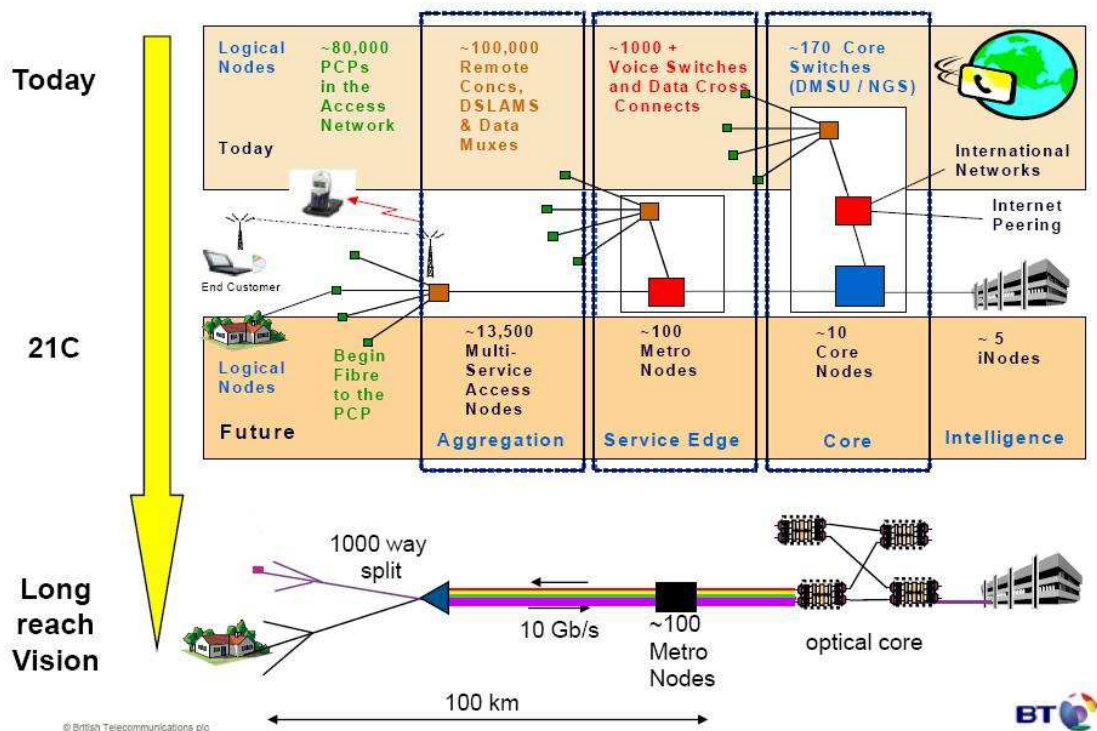


Figura 3. 22: Visión de arquitecturas de red.
Fuente: (Csaba, 2014; Prat, 2008)

Aumentar el alcance de la red puede traer aún mayores beneficios a los operadores. Las redes de telecomunicaciones son muy complejas, sin embargo, aumentando el alcance de la red de acceso a 100 km, conectándola directamente a la red central, puede simplificarse la red. Los costes totales de la red se reducen porque no hay necesidad de equipamiento adicional, como anillos SDH para conectar la red de acceso a la red core o central.

Actualmente la tecnología que ofrece mayor capacidad es GPON, permitiendo que las velocidades de 2.5 Gbps se dividan entre 64 usuarios (como máximo) a lo largo de 20 km. En las redes punto a multipunto, la capacidad de la red se comparte entre todos los usuarios. Aumentar el número de usuarios sin aumentar la velocidad de transmisión resultaría en una disminución de ancho de banda que cada usuario recibe.

Aumentar la tasa de transmisión a 10 Gbps resuelve este problema, pero sería necesario utilizar transmisores de alta velocidad en cada ONU, aumentando el costo de cada ONU. Para poder implementar una red de largo alcance, con las características deseadas será necesario utilizar equipos complejos y sofisticados (y consecuentemente caros) como amplificadores ópticos, transmisores de alta velocidad, técnicas de compensación de dispersión, etc.

La utilización de estos equipos aumentará considerablemente los costos de implementación de la red. El costo adicional, asociado a estos equipos, puede reducirse colocando estos equipos en la sección compartida de la red, mejorando su rendimiento. Así, los equipos compartidos pueden, ser más caros, sin que haya un aumento drástico en los costes totales por usuario.

También será posible aumentar la capacidad de la red mediante el uso de multiplexación estadística, aumentando el número de usuarios a 1024. La capacidad disponible para cada usuario dependerá del uso de la red. Como no todos los usuarios se encuentran activos al mismo tiempo, la capacidad de la red se puede compartir dinámicamente entre los usuarios activos.

Una de las ventajas de las redes LR-PON es la posibilidad de realizar ahorros significativos en las implementaciones rurales, a través de la disminución del número de CO necesarios y aumentando el área de cobertura de cada CO.

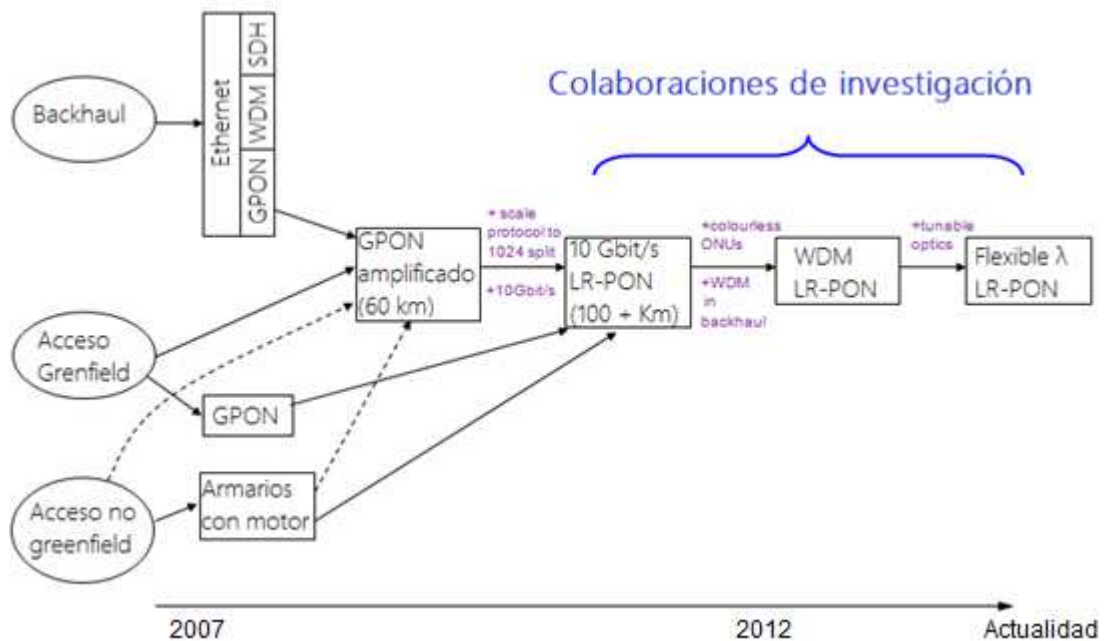


Figura 3. 23: Plan de investigación para LR-PON.
Fuente: (Davey et al., 2009)

3.6. Tecnología WDM-PON.

Otra solución para las PON de próxima generación fue basada en la tecnología WDM. Las tecnologías BPON, EPON y GPON tienen los mismos principios en la asignación del ancho de banda, y utilizan longitudes de onda de 1490 nm y 1310 nm para downstream y upstream, respectivamente. Aunque, para una longitud de onda de 1550 nm se utilizan para diferentes servicios que son opcionales, por ejemplo, señales RF analógicas. De manera general, la tecnología WDM-PON es una PON utilizando varias longitudes de onda logrando incrementar el ancho de banda favorable para los usuarios finales, tal como se muestra en la figura 3.24.

Mientras que en las tecnologías EPON y GPON utilizan el concepto de múltiples accesos por división temporal (a cada ONU se le asigna un intervalo de tiempo denominado timeslot), en la WDM-PON la división se hace asignando diferentes longitudes de onda a diferentes usuarios finales. En la configuración WDM-PON cada ONU tiene una longitud de onda reservada para comunicarse con la OLT, permitiendo redes punto a punto en una infraestructura PON. Las redes WDM-PON pueden ofrecer mayor ancho de banda a través de distancias mayores.

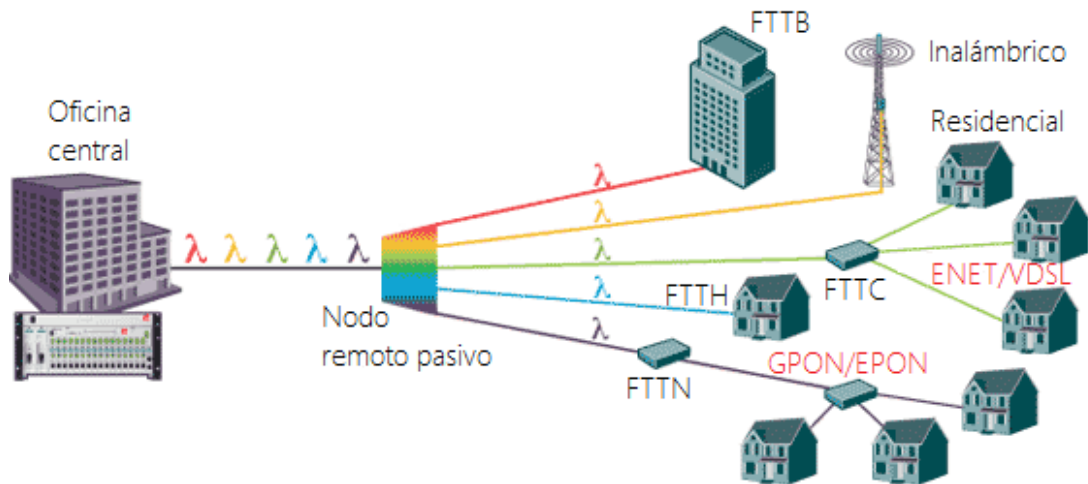


Figura 3. 24: Esquemático de la tecnología WDM-PON.
Elaborado por: Autor.

El recurso a múltiples longitudes de onda puede ser utilizado para separar varias ONUs en diferentes PON virtuales que coexisten en la misma infraestructura. Alternativamente, las longitudes de onda se pueden utilizar en multiplexación estadística, proporcionando un uso más eficiente de las longitudes de onda y retrasos más pequeños en las ONUs. Aprovechando las ventajas de la WDM, en este tipo de multiplexado se utiliza una longitud de onda para tráfico en sentido descendente y otro para tráfico en sentido ascendente, en una sola fibra.

Para enviar señales del OLT, se utilizan el láser con frecuencias fijas o un láser con varias frecuencias. Todas las ONUS reciben todas las longitudes de onda a través de un divisor pasivo, y para seleccionar la frecuencia que se le destina, utilizan un filtro. El splitter también combina los flujos ascendentes (upstream) de las ONUs. En el caso de una AWG, en lugar de un splitter, éste reenvía la señal óptica que recibe en la puerta de entrada para un determinado puerto de salida, de acuerdo con la longitud de onda de la señal. Varias longitudes de onda se pueden separar en diferentes puertos de salida por el AWG, que puede combinar varias canales de diferentes entradas para una misma salida. La gran ventaja de este dispositivo es que puede ser utilizado en las dos direcciones simultáneamente, ejerciendo funciones de MUX/DEMUX.

En la figura 3.25 se muestra el esquematizado el sistema de transmisión de la tecnología WDM.

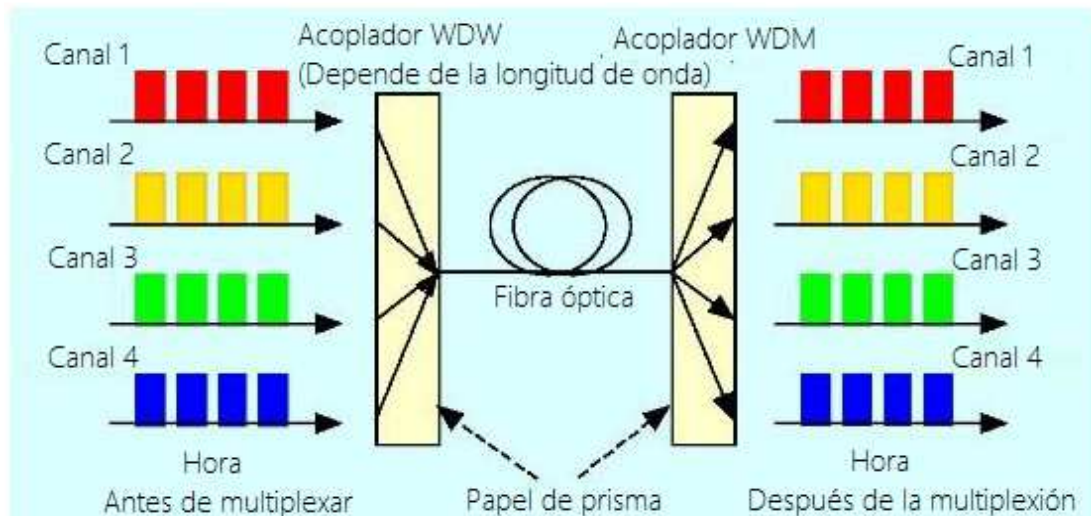


Figura 3. 25: Transmisión por multiplexación por división de longitud de onda (WDM).

Elaborado por: Autor.

En una red WDM-PON, el splitter óptico (que divide la potencia de la señal) utilizado en las PON tradicionales, es sustituido por un splitter de longitudes de onda. Esto permite que la potencia de la señal recibida en cada ONU sea mucho más elevada que en las redes PON. Una de las mayores desventajas de las WDM-PON es que es necesario un transmisor individual para cada ONU, mientras que en las PON tradicionales sólo es necesario un transmisor por cada 32 o 64 ONTs.

Las ONUs pueden utilizar varias tecnologías para enviar la señal:

- Láseres sintonizables;
- Transmisión (Broadcast), la OLT emite una señal con las longitudes de onda. Las ONUs al recibir la señal lo filtran, y acceden sólo a la longitud de onda que les es destinada;
- Utilizan un AWG.

En la figura 3.26 se muestran las dos diferentes topologías que se pueden adoptar en la configuración de una red WDM-PON. En el caso de la figura 3.26 (a) se utiliza un splitter, mientras que en el caso de la figura 3.26 (b) se utiliza un AWG. Otra ventaja de utilizar un AWG, es tener una pérdida

de 5 dB, mientras que un divisor de 1:32 tiene pérdidas de más 12 dB en comparación, reduciendo así el enlace de presupuesto del sistema. La desventaja de esta elección de material será el costo necesario, ya que es un equipo de estructura muy compleja, donde están múltiples guías de onda. Además de actuar con un multiplexor/demultiplexor, el AWG puede aún ejercer funciones de un multiplexor óptico de adición y extracción (*Optical Add-Drop Multiplexer, OADM*), interruptor óptico de conexión cruzada (*Optical Cross Connect, OXC*) y de compensador de dispersión.

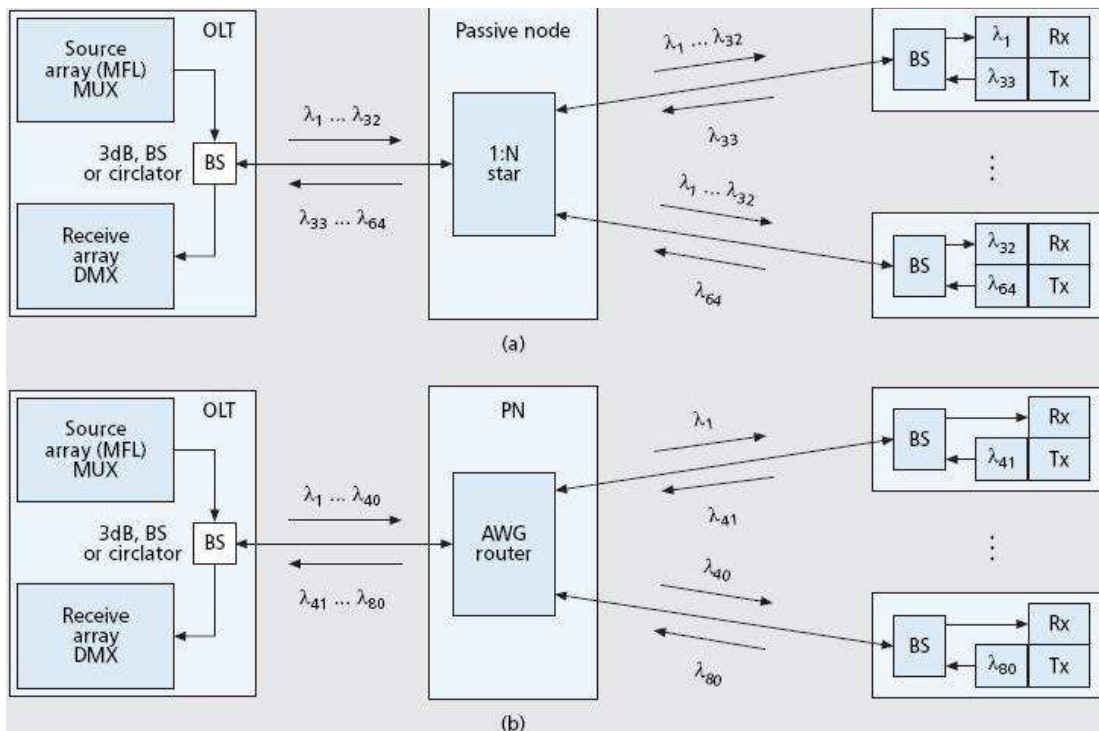


Figura 3. 26: Topología WDM-PON.
Elaborado por: Autor.

Las redes WDM-PON, son topologías y arquitecturas que todavía se siguen investigando, y lo que se sabe realmente, es que esta tecnología ofrece un gran aumento de capacidad ofrecida por el usuario en comparación con cualquier arquitectura ya implementada. La capacidad, tanto de la red como del usuario, sólo se limitará a las restricciones físicas del equipo que la constituye. El número de usuarios que puede ser servido por una red WDM-PON está limitado por el número de puertos de AWG en uso. Las redes WDM-PON se clasifican en dos redes de transporte, que son CWDM y DWDM. Se espera que hasta 40 o más clientes sean atendidos por una única fibra de acceso en la variante DWDM y 8 en el CWDM.

3.6.1. Multiplexación por división de longitud de onda ligeras – CWDM.

La multiplexación por división de longitud de onda ligeras (*Coarse WDM, CWDM*) es un sistema WDM de baja densidad en términos de longitud de onda, definido por la norma ITU-T Rec. G.9694.2 cuyo rango o gama está entre 1271 nm y 1611 nm, y una separación entre canales de 20 nm.



Figura 3. 27: Separación entre canales de longitudes de onda de 20 nm.
Elaborado por: Autor.

La amplificación óptica está disponible en las siguientes bandas:

- Banda Original, también llamada Banda O: cuya banda opera en el rango de 1260 nm y 1360 nm.
- Banda extendida, también llamada Banda E: cuya banda opera en el rango de 1360 nm y 1460 nm.
- Banda convencional, también llamada Banda C: cuya banda opera en el rango de 1530 nm y 1570 nm.

3.6.2. Multiplexación por división de longitud de onda densa – DWDM.

En el caso de que se trate de un sistema WDM de alta densidad, donde la separación entre canales puede ser 1.6 nm para frecuencia de 200 GHz, o 0.8 nm para frecuencia de 100 GHz, o hasta 0.4 nm para frecuencia de 50 GHz, cuyo intervalo de longitud de onda está entre 1530.04 nm y 1624.89 nm. También, se tiene una transmisión por canal de alta capacidad, y que a futuro esto puede incrementarse. Similar a la funcionalidad de CWDM, éstas son integradas en la misma plataforma. Adicionalmente, éstas pueden implementarse en redes: de larga distancia, metropolitanas y especializadas.

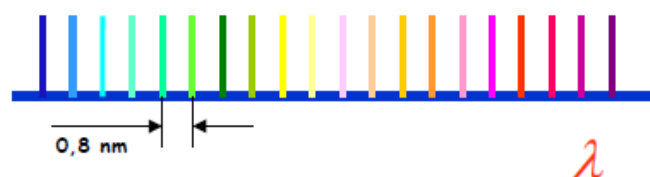


Figura 3. 28: Separación entre canales de longitudes de onda de 0.8 nm.
Elaborado por: Autor.

La amplificación óptica está disponible en las bandas C y L, con excelente potencial en la banda S:

- Banda corta, también llamada Banda MS: cuya banda opera en el rango de 1450 nm y 1500 nm;
- Banda C: cuya banda opera en el rango de 1530 nm a 1570 nm;
- Banda larga, también llamada Banda L: cuya banda opera en el rango de 1570 nm a 1625 nm.

3.6.3. Comparativa entre las multiplexaciones CWDM vs DWDM.

Una vez que se sabe que CWDM y DWDM son tecnologías de WDM, el mismo principio de funcionamiento de combinar varias longitudes de onda en una sola fibra, para aumentar su capacidad. Sin embargo, hay algunas diferencias básicas que se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3. 4: Comparativo de los protocolos 802.11 a/b/g/n/ac.

	ventajas	desventajas
CWDM	<ul style="list-style-type: none"> • Consumo reducido de potencia (-20%). • Necesita menos espacio (-30%). • Puede utilizar cables SMF o MMF. • Puede utilizar LED o Láser • Gran capacidad de datos por canal. 	<ul style="list-style-type: none"> • Menor capacidad que DWDM. • Menor alcance. • Regeneración de la señal.
DWDM	<ul style="list-style-type: none"> • Filtros pequeños y económicos. • Ahorro de costes al inicio y expansión de la red. • Disponible máxima capacidad. • Mayor distancia con EDFA. • Fácil integración de amplificación óptica. • Más de 80 canales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Los costos iniciales son más altos que en CWDM. <p>Tecnología compleja que requiere:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Más espacio y potencia; • Láseres y filtros muy precisos; • Amplificadores EDFA costosos;

Elaborado por: Autor.

Los sistemas DWDM requieren que los láseres utilizados tengan temperaturas estables, además de necesitar filtros de banda estrecha. La implementación de sistemas DWDM es más compleja, en comparación con el CWDM.

Conclusiones

1. El propósito del presente trabajo en su mayor parte estaba predeterminado a ser más descriptiva. El área de acceso fue un poco nueva para mí, al trabajar de forma independiente y compilar información teórica, pude obtener un muy buen conocimiento de las redes de acceso por fibra óptica PON y a su vez de FTTx.
2. La fuente principal de la información necesaria fue Internet. A veces es difícil encontrar la información correcta. En el sitio web oficial de un proyecto o una red no siempre se encuentra toda la información requerida. Sin embargo, algunos trabajos fueron considerados para el análisis evolutivo de las redes GPON/XG-PON, para facilitar una investigación cuidadosa.
3. Todos estos factores y la evidencia de que el desarrollo e implementación de una nueva red de telecomunicaciones requiere una amplia inversión de capital y una gestión de recursos, nos llevan al estudio de escenarios de migración que posibiliten la coexistencia de las tecnologías actuales con sus respectivos desarrollos.

Recomendaciones

1. Diseñar modelos de redes evolutivas NG-PON utilizando multiplexación DWDM.
2. Realizar el análisis comparativo de multiplexaciones DWDM y CWDM sobre redes ópticas pasivas de próxima generación.

Bibliografía

- Alcatel-Lucent. (2013). FTTH Network layers. Recuperado el 2 de mayo de 2018, de <https://www.fiberoptictel.com/crazy-imagination-on-ftth-2014/ftth-network-layers/>
- Azodolmolky, S., & Tomkos, I. (2008). A techno-economic study for active Ethernet FTTH deployments. *Journal of Telecommunications Management*, 1(3). Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/242563090_A_techno-economic_study_for_active_Ethernet_FTTH_deployments
- Costa Da Mata, E. (2014). *Design of a network access based on FTTH for Sao Tome and Principe*. (Tesis de Maestría). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España. Recuperado de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/21845>
- Csaba A. S. (2014). Service delivery architectures and platforms. Recuperado el 4 de junio de 2018, de http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2011-0050_10_service_delivery_architectures/ar01.html
- Davey, R. P., Grossman, D. B., Rasztoivits-Wiech, M., Payne, D. B., Nettet, D., Kelly, A. E., ... Yang, S.-H. (2009). Long-Reach Passive Optical Networks. *Journal of Lightwave Technology*, 27(3), 273–291.
- Huawei. (2016). Huawei SmartAX MA5600T MA5603T Brief Product Brochure(2016). Recuperado el 2 de mayo de 2018, de <http://e.huawei.com/en/material/onLineView?materialid=5152ca4d14ca4aa09a0e7d92ad1ef2cb>
- Icadsa. (2017). Excavaciones como obra civil para proyectos de FTTH. Recuperado el 1 de mayo de 2018, de <http://icadsa.com/telecomunicaciones-obra-civil/>

- Ishii, Y., & Yamashita, H. (2009). Optical Access Transport System - GE-PON Platform -. *Fujitsu Sci. Tech. J.*, 45(4), 346–354.
- ITU. (2018). Transmission systems and media, digital systems and networks: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON) - General requirements. Recuperado el 3 de julio de 2018, de <http://www.itu.int/rec/T-REC-G/e>
- Jaya Riofrío, I. V. (2016). *Diseño de una red pasiva GPON de planta externa para el barrio Capelo en la provincia de Pichincha* (Trabajo de Titulación de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec:80/xmlui/handle/22000/13129>
- Moreton, M. A. (2011). FTTC la mejor solución a todos nuestros problemas. Recuperado el 1 de mayo de 2018, de <https://martinmoreton.wordpress.com/2011/11/26/fttc-la-mejor-solucion-a-todos-nuestros-problemas/>
- Mraković, M. D., & Matavulj, P. S. (2011). Analysis of Coexisting GPON and NG-PON1 (10G-PON) Systems. *Telfor Journal*, 3(1), 43–48.
- Prat, J. (Ed.). (2008). *Next-generation FTTH passive optical networks: research towards unlimited bandwidth access*. Dordrecht: Springer.
- Ragheb, A. M., & Fathallah, H. (2011). Performance analysis of next generation-PON (NG-PON) architectures (pp. 339–345). IEEE. <https://doi.org/10.1109/HONET.2011.6149766>
- Sharma, S., Sharma, V., & Kaur, D. (2015). DWDM Technology. *European Scientific Journal*, 2, 102–108.
- Song, H., Kim, B.-W., & Mukherjee, B. (2010). Long-reach optical access networks: A survey of research challenges, demonstrations, and

bandwidth assignment mechanisms. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 12(1), 112–123.
<https://doi.org/10.1109/SURV.2010.020110.00040>

Surbhi, J., & Brintha, T. A. (2014). Design and Performance Evaluation of Hybrid WDM/TDM Passive Optical Networks Using Star Topology. *International Journal of Emerging Trends in Science and Technology*, 1(5), 793–801.

Syambas, N. R., & Farizi, R. (2017). Hybrid of GPON and XGPON for Splitting Ratio of 1:64. *International Journal on Electrical Engineering and Informatics*, 9(1), 58–70. <https://doi.org/10.15676/ijeei.2017.9.1.4>

Trefor, D. (2010). FTTC Broadband - What Exactly Is It? Recuperado el 6 de mayo de 2018, de <http://www.trefor.net/2010/03/18/fttc-what-exactly-is-it/>

Tsubokawa, M. (2009). FTTH technologies in the NTT Network. *NTT As-Labs*.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sánchez Ortega, John Kevin** con C.C: # 210009377-8 autor del trabajo de titulación: Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON, previo a la obtención del título de **Magister en Telecomunicaciones** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 9 de agosto del 2018

f. _____

Nombre: **Sánchez Ortega, John Kevin**

C.C: 210009377-8

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON		
AUTOR(ES)	Ing. Sánchez Ortega, John Kevin.		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Córdova Rivadeneira, Luis Silvio; MSc. Zamora Cedeño, Néstor / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	9 de agosto del 2018	No. DE PÁGINAS:	68
ÁREAS TEMÁTICAS:	Sistemas de transmisiones ópticas, Teoría de la comunicación		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Comunicaciones, Fibra, AON, PON, GPON, XG-PON.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>El presente trabajo consistió en realizar un análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON y XGPON. El capítulo 1 se describen trabajos relacionados con el tema como antecedentes del problema de investigación, así como también, la definición y justificación del problema a investigar, después se plantean tanto el objetivo general como los objetivos específicos, en el que se incluye la hipótesis y metodología aplicada. Mientras, que en el capítulo 2 se realiza la descripción teórica fundamental de los beneficios de la fibra óptica, desventajas, arquitecturas de FTTx, redes ópticas activas y pasivas, así como la arquitectura e infraestructura de las redes ópticas pasivas. Finalmente, en el capítulo 3 se realiza el análisis de las redes de acceso mediante la evolución de las redes ópticas pasivas (PON), redes ópticas pasivas de próxima generación (NG-PON) y redes XG-PON. Se revisaron las tecnologías, arquitecturas, escenarios de migración, coexistencia, mecanismos de transmisión y sus comparativas tecnológicas.</p>			
Palabras claves: COMUNICACIONES, FIBRA, AON, PON, GPON, XGPON.			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0994368453	E-mail: kevin45_5@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mrromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			