



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el
mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE**

AUTOR:

Robles Coronel, Ivette Lorena

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

20 de Febrero del 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por la Magíster **Ivette Lorena Robles Coronel** como requerimiento parcial para la obtención del Grado Académico de **MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES.**

TUTOR

Palacios Meléndez, Edwin Fernando

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Romero Paz, Manuel de Jesús

Guayaquil, a los 20 días del mes de Febrero del año 2017



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Robles Coronel, Ivette Lorena**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE**”, 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 20 días del mes de Febrero del año 2017

EL AUTOR

Robles Coronel, Ivette Lorena



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Robles Coronel, Ivette Lorena**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación de Maestría titulado: **“Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 20 días del mes de Febrero del año 2017

EL AUTOR

Robles Coronel, Ivette Lorena

REPORTE DE URKUND

URKUND

Documento [Robles Ivet Final.docx](#) (D24761025)

Presentado 2017-01-06 12:35 (-05:00)

Presentado por fernandopm23@hotmail.com

Recibido edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com

Mensaje Revisión Robles Ivette [Mostrar el mensaje completo](#)

1% de esta aprox. 21 páginas de documentos largos se componen de texto presente en 1 fuentes.

Lista de fuentes Bloques

+	Categoría	Enlace/nombre de archivo	▣
+		Tesis Teleco P.GORDILLOLOPEZ.docx	<input type="checkbox"/>
+		Trabajo de titulacion Santiago Ramos Oficial.docx	<input type="checkbox"/>
+	>	FINAL TESIS RL 05012017 v1.docx	<input type="checkbox"/>
+		Trabajo de titulacion Santiago Ramos Oficial.docx	<input type="checkbox"/>
+		1429200597 CAPITULO 1-1.doc	<input checked="" type="checkbox"/>

0 Advertencias. Reiniciar Exportar Compartir

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

TEMA: Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE

AUTOR: Robles Coronel, Ivette Lorena

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

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

3 de Enero del 2017

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a todas las personas que me han apoyado directa e indirectamente y en especial a mi madre, que con su ejemplo de amor, trabajo y perseverancia ha influido en mi personalidad para poner el entusiasmo, dedicación y esfuerzo, para llegar a la culminación de mis logros

profesionales.

Agradecimientos

Le agradezco a mi Padre Celestial por todas las bendiciones que me ha dado y guiarme en cada uno de los pasos emprendidos para culminar esta etapa de mi vida.

A mi madre, hija y familiares por su apoyo incondicional en todas las metas que me he propuesto, y por sus sabios consejos para superar cualquier adversidad que se nos ha presentado en este trayecto.

A mi Decano, el Ing. Manuel Romero Paz, por su valiosa ayuda y guía en el revisión de mi tesis.

A mi tutor, El Ing. Fernando Palacios, por su paciencia y dedicación en el desarrollo de mi tesis. Ha sido un privilegio poder contar con su guía y ayuda.

A todos mis profesores que en el transcurso de mi carrera supieron brindarme sus conocimientos para ponerlos en práctica en mi vida profesional.

A mis compañeros por compartirme su amistad, alegrías, tristezas, y apoyo brindado a lo largo de la maestría.

IVETTE ROBLES CORONEL



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

PALACIOS MELÉNDEZ, EDWIN FERNANDO

TUTOR

f. _____

CÓRDOVA RIVADENEIRA, LUIS SILVIO

REVISOR

f. _____

ZAMORA CEDEÑO, NESTOR ARMANDO

REVISOR

f. _____

ROMERO PAZ MANUEL DE JESÚS

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
Resumen	XIV
Abstract.....	XV
Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.....	17
1.3. Definición del problema	18
1.4. Objetivos.....	18
1.5. Hipótesis.....	18
1.6. Metodología de investigación.....	19
Capítulo 2: Especificación GPON.....	20
2.1. Las redes ópticas pasivas.....	20
2.1.1. Tecnología APON/BPON	21
2.1.2. Tecnología EPON.....	21
2.1.3. Tecnología GPON.....	23
2.2. Especificación de la arquitectura del sistema GPON.....	24
2.2.1. Terminal de línea óptica (OLT).....	25
2.2.2. Unidad de red óptica (ONU) y terminal de red óptica (ONT) ...	26
2.2.3. Red de distribución óptica (ODN).....	26
2.2.4. Redes de servicios y redes de usuarios.....	26
2.3. Protocolo de pila.....	27
2.3.1. Descripción de la arquitectura GTC.....	28
2.4. Topología de redes ópticas pasivas.....	29
2.4.1. Topología de bus.....	30
2.4.2. Topología de anillo.....	30
2.4.3. Topología de árbol.....	31

2.5.	Transmisión de tráfico en GPON.....	31
2.5.1.	Transmisión descendente.	32
2.5.2.	Transmisión ascendente.	33
2.6.	Formatos de transmisión.	35
2.6.1.	Trama descendente.....	36
2.6.2.	Trama ascendente.....	40
2.7.	Topología de redes FTTX.....	41
2.7.1.	Topología FTTA.....	41
2.7.2.	Topología FTTB.....	42
2.7.3.	Topología FTTC.	42
2.7.4.	Topología FTTH.	43
Capítulo 3: Desarrollo del trabajo.....		44
3.1.	Introducción.	44
3.2.	Propuesta de implementar tecnología de Radio sobre Fibra (RoF).45	
3.2.1.	Arquitecturas del sistema de RoF.....	46
3.2.2.	Aplicaciones del sistema de RoF.....	47
3.2.3.	Beneficios y limitaciones de utilizar la tecnología RoF.	48
3.2.4.	RoF en la arquitectura GPON.....	49
3.3.	Simulación del sistema.	51
3.4.	Análisis de los resultados obtenidos del sistema propuesto.....	54
Conclusiones		59
Recomendaciones		60
Bibliografía.....		61

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Estructura de una OLT con GEM-GPON.	24
Figura 2. 2: Estructura del sistema GPON.	25
Figura 2. 3: Protocolo de pila GPON.	27
Figura 2. 4: Protocolo de pila de la capa GTC.	29
Figura 2. 5: Topología de bus.	30
Figura 2. 6: Topología de anillo.	30
Figura 2. 7: Topología de árbol.	31
Figura 2. 8: Explicación gráfica de transmisión descendente sobre GPON.	32
Figura 2. 9: Explicación gráfica de transmisión ascendente sobre GPON.	33
Figura 2. 10: Multiplexación en el servicio GEM.	36
Figura 2. 11: Explicación de las tramas descendentes de GPON.	37
Figura 2. 12: Mapa de la asignación del ancho de banda ascendente.	38
Figura 2. 13: Carga útil de transmisión descendente GPON.	39
Figura 2. 14: Unidad de trama ascendente de GPON.	40
Figura 2. 15: Esquemático de la topología FTTA.	41
Figura 2. 16: Esquemático de la topología FTTB.	42
Figura 2. 17: Esquemático de la topología FTTC.	43
Figura 2. 18: Esquemático de la topología FTTH.	43

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Modelo del sistema de RoF.	45
Figura 3. 2: Diagrama de bloques de la funcionalidad entre en la oficina central y unidad de antena remota.	47
Figura 3. 3: Integración de RoF en una arquitectura GPON.	50
Figura 3. 4: Esquemático del sistema a modelar en OptiSystem.	51
Figura 3. 5: Configuración para la simulación en el Tx.	52
Figura 3. 6: Configuración para la simulación en el Rx.	53
Figura 3. 7: Modulador Mach-Zehnder.	53
Figura 3. 8: Diagrama de ojo de pescado con resultados óptimos.	54
Figura 3. 9: Tasa de error de bits para fibra de longitud 0 a 20 km.	55

Figura 3. 10: Relación portadora a ruido (CNR) para fibra de longitud 0 a 20 km.	56
Figura 3. 11: Diagrama espectral óptico para detección Rx.	57
Figura 3. 12: Potencia óptica en el receptor.	58
Figura 3. 13: Potencia espectral RF regenerado para frecuencia de 5 GHz.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Características importantes de redes ópticas pasivas.....	22
Tabla 2. 2: Campos del bloque de control físico en sentido descendente (PCBd)...	37
Tabla 2. 3: Campos del mapa ascendente BW.	38
Tabla 2. 4: Campos de carga útil	39
Tabla 2. 5: Campos de carga.....	40

Capítulo 3:

Tabla 3. 1: Propiedades de la tecnología GPON.....	49
Tabla 3. 2: Propiedades de la tecnología GPON.....	53

Resumen

La evolución tecnológica de las telecomunicaciones y el crecimiento de usuarios que utilizan dispositivos electrónicos inteligentes para acceder a la nube. En este caso, el ancho de banda móvil que en Ecuador el servicio de internet móvil lo ofrecen CNT EP, Movistar y Claro a través de la tecnología LTE-4G. Esta tecnología solo permite acceso a datos para usuarios de banda ancha móvil. En base a esto se implementa la simulación de la tecnología RoF, que es una red mixta de fibra para comunicación inalámbrica desde una radio base hasta los usuarios. La tecnología RoF utiliza la red óptica pasiva de alta capacidad (GPON) para mejorar la calidad, rendimiento, latencia y QoS en la comunicación de datos. Para la simulación se utiliza la plataforma OptiSystem cuyos resultados obtenidos son los esperados y que permiten a futuro implementar esta tecnología para así, evitar los altos costos que implican el mejoramiento de una estación base o radio base (RBS).

Palabras claves: ROF, GPON, TOPOLOGÍAS, ARQUITECTURAS, LTE

Abstract

The technological evolution of telecommunications and the growth of users who use smart electronic devices to access the cloud. In this case, the mobile bandwidth in Ecuador the mobile internet service is offered by CNT EP, Movistar and Claro through the LTE-4G technology. This technology only allows access to data for mobile broadband users. Based on this is implemented the simulation of the RoF technology, which is a mixed fiber network for wireless communication from a base radio to the users. RoF technology utilizes the high-passive optical network (GPON) to improve quality, performance, latency and QoS in data communication. For the simulation, the OptiSystem platform is used whose results are expected and allow the future to implement this technology to avoid the high costs involved in upgrading a base station or base station (RBS).

Keywords: ROF, GPON, TOPOLOGIES, ARCHITECTURES, LTE

Capítulo 1: Generalidades del proyecto de grado.

1.1. Introducción.

Las comunicaciones inalámbricas en estos días exigen para altas velocidades, soluciones prometedoras, flexibles y de bajo coste. La petición de altos ancho de banda (*BandWidth, BW*) es vital en muchas áreas debido al rápido crecimiento de los abonados, el avance tecnológico en informática y de toda la gama de aplicaciones que se ofrecen como en la comunicación vía satélite, alta definición (HD) de vídeo bajo demanda e internet móvil de banda ancha (como es el caso del presente trabajo de titulación), con alta calidad y entrega garantizada de los datos deseados.

Se necesita un nuevo método para cumplir estos requisitos, la primera opción que se podría pensar es la adopción del concepto de pico celdas para servir a más usuarios y también cambiar de banda de frecuencia ISM que ya está congestionada a alta frecuencia de operaciones. Sin embargo, las operaciones en células más pequeñas (micro/pico) conducen al aumento de los costos de desarrollo de hardware mientras que el trabajo en alta frecuencia sufre mayormente de alta atenuación de señal.

Alineada con la popularidad de las redes inalámbricas, por ejemplo, LTE, la tecnología óptica también ha jugado un papel importante en el mundo de las telecomunicaciones. La fibra óptica es ampliamente utilizada en la red troncal debido a su alto BW (hasta THz) y baja atenuación (0,1 dB/km). Por lo tanto, la fibra óptica promete ser el núcleo de las redes inalámbricas.

La integración inalámbrica y de fibra se conoce como Radio-sobre-Fibra (Radio-over-Fiber, RoF) que complementa la flexibilidad de la señal inalámbrica y las propiedades ventajosas de la fibra óptica. Técnicamente,

RoF es un sistema híbrido que integra el sistema inalámbrico y óptico en un sistema que conduce a soluciones de alta capacidad, alta velocidad de datos, transparentes y de movilidad. RoF permite la reducción de costes y un control y actualización más fácil mediante una arquitectura centralizada que conecta un número de estaciones bases remotas (*Remote Base Station, RBS*) a la estación central (*Central Station, CS*).

1.2. Antecedentes.

Con la incorporación de la tecnología inalámbrica y la fibra, una tecnología eficiente es necesaria para mejorar el desarrollo del sistema. La red óptica pasiva (*Passive Optical Network, PON*) ofrece más características avanzadas para el acceso a la red, como la radiodifusión y es capaz de explotar capacidades máximas con un coste de desarrollo adecuado y también una mayor seguridad. Además, dado que el desarrollo de la red de fibra implica un coste marginal elevado, la red PON existente proporciona la solución más barata sin utilizar cada señal de BW inalámbrica y cableada mediante la gestión adecuada de los planes de asignación de BW.

En la búsqueda de información se evidencia estudios casi nulos donde se proponga el uso de la tecnología híbrida RoF sobre redes ópticas pasivas de alta capacidad (*Gigabit Passive Optical Network, GPON*). Se encuentran investigaciones donde utilizan PONs, en nuestro país se emplea GPON como la mejor red de acceso. En otros países se encontraron investigaciones de la tecnología RoF, con excelente resultados y despliegues de este tipo de redes.

Por lo tanto, RoF sobre PON es un método atractivo y proporciona la arquitectura más rentable para la planta de red en la entrega de la señal de radio. Gigabit-PON (GPON) y Ethernet-PON (EPON) son los dos PONs más populares, de las cuales, GPON se despliega ampliamente en América mientras que EPON en Asia. Comparado con EPON, GPON es más

ventajoso, más robusto, ofrece más capacidad y tiene una mayor rentabilidad.

1.3. Definición del problema

Las redes inalámbricas LTE específicamente la de banda ancha móvil se encuentra saturada, aunque la solución sería implementar celdas pequeñas. De acuerdo a esto, surge la necesidad de modelar la tecnología RoF sobre GPON para mejorar el servicio de internet móvil en redes LTE utilizando OptiSystem.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General:

Desarrollar el modelo de simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE utilizando la plataforma OptiSystem.

1.4.2. Objetivos específicos:

- ✓ Caracterizar los fundamentos teóricos de las redes ópticas pasivas y de las topologías FTTx.
- ✓ Diseñar modelos de simulación de la tecnología RoF sobre GPON a través de la plataforma OptiSystem.
- ✓ Analizar los resultados obtenidos de la simulación de la tecnología RoF sobre GPON.

1.5. Hipótesis

Implementando la tecnología RoF sobre GPON permitirá que se mejore el rendimiento, capacidad y transmisión de datos para los usuarios de internet móvil o banda ancha móvil en redes LTE.

1.6. Metodología de investigación.

Para una clara percepción del término investigación, se debe conocer el significado del método científico. Los dos términos, la investigación y el método científico, están estrechamente relacionados. La investigación, se puede denominar "una investigación sobre la naturaleza de las razones y las consecuencias de cualquier circunstancia particular, si estas circunstancias son controladas experimentalmente o registradas tal como ocurren.

Además, la investigación implica que el investigador está interesado en más que resultados particulares; Está interesado en la repetibilidad de los resultados y en su extensión a situaciones más complejas y generales. Por lo tanto, el presente trabajo de titulación utiliza estas definiciones utilizando modelos de simulación a través del software OptiSystem.

Capítulo 2: Especificación GPON.

2.1. Las redes ópticas pasivas.

La tecnología PON se utiliza desde 1995, cuando los operadores y fabricantes comenzaron una discusión a una solución de acceso para voz, datos y video. En el momento surgieron dos opciones para el protocolo y la transmisión, fue la ATM (Asynchronous Transfer Mode) y PON (Passive Optical Network).

Mediante la creación de las tecnologías ATM y PON se produjeron otras, tales como, APON (Red Óptica Pasiva ATM) que se utiliza para la transmisión en redes ATM, BPON (Red Óptica Pasiva de Banda Ancha) que se utiliza para las transmisiones de vídeo, EPON (Red Óptica Pasiva Ethernet) que se utiliza para la transmisión de protocolos Ethernet para llegar a los modelos actuales que son GEPON (Red Óptica Pasiva Ethernet de alta capacidad) basados en redes Gigabit Ethernet y las redes GPON (Redes Ópticas Pasivas de Alta Capacidad) basada en ATM Gigabit.

Las redes ópticas pasivas (Passive Optical Network, PON) son redes de acceso que tienen una enorme ventaja sobre el otro, cada vez que su gestión y mantenimiento son más sencillas, ya que la transmisión es a través de fibra óptica que no tienen elementos activos a lo largo de la planta externa, es decir, los elementos de la red no requieren energía eléctrica para su funcionamiento.

Las dos tecnologías PON más utilizados son el GPON y EPON, en la actualidad las GPONs son muy rápidas y fueron adoptadas en nuestro país, ya que tiene importantes ventajas, variedad de servicios y una mayor eficiencia de ancho de banda.

2.1.1. Tecnología APON/BPON

La red APON fue desarrollado en los años 90, cuando había dos opciones lógicas: ATM y PON, el primero, porque ofrecía múltiples protocolos y el segundo es una solución óptica más económica. En la ITU-T G.983 se describen las especificaciones iniciales de la comisión PON definido por redes de acceso de servicio completo (Full Service Access Network, FSAN), que utiliza ATM como protocolo de señalización de capa 2 (UIT-T, 2004). La transmisión ATM en la dirección descendente es un flujo continuo a una velocidad de 155,52 Mbps o 622,08 Mbps.

El término APON hacía creer que sólo los servicios de ATM se podrían utilizar para los usuarios finales, debido a esto el FSAN decidió cambiar el nombre a la red PON de banda ancha o BPON. En 1998 se publicó el estándar para BPON, como una modificación a la tecnología APON, permitiendo que algunos servicios como, soporte de multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplex, WDM*), streaming de vídeo, asignación dinámica de ancho de banda y calidad de servicio y configuración, en el que todos garanticen la interoperabilidad de los diferentes equipos.

2.1.2. Tecnología EPON.

Después de expandir el uso de Ethernet, se ha convertido en atractivo el uso de la tecnología EPON en la red de acceso. Este concepto fue desarrollado por el grupo de estudios IEEE 802.3ah, iniciado en 2001 y terminado en 2004. Esta tecnología encapsula y transporta datos en tramas Ethernet, y transporta protocolos IP en enlaces Ethernet.

EPON explora la técnica de multiplexación por división de tiempo (*Time Division Multiplexing, TDM*) para transmisiones descendentes (downstream) y la técnica de acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple*

Access, TDMA) para transmisiones ascendentes con velocidad de transmisión simétrica de 1,25 Gbps.

De acuerdo con la tabla 2.1, la tecnología EPON los datos se transmiten en paquetes de longitud variable de hasta 1518 bytes, mientras que en APON los datos se transmiten en celdas de longitud fija de 53 bytes y 48 bytes de carga útil y 5 bytes cabecera según lo especificado por el protocolo ATM. La tecnología ATM proporciona un rango fijo de celdas en los paquetes IP de longitud variable debido al tamaño del encabezado, hay la necesidad de transmitir un mayor número de bytes que se traduce en pérdida de eficiencia.

Tabla 2. 1: Características importantes de redes ópticas pasivas.

Arquitecturas	APON/BPON	EPON	GPON
Norma	ITU G.983	IEEE 802.3ah	ITU G.984
Tamaño de celdas del paquete de datos	53 bytes	64 - 1518 bytes	53 - 1518 bytes
Ancho de banda máximo	622 Mbps	1 Gbps	2,5 Gbps
Protocolo	ATM	ETHERNET	GEM / ATM
Longitud de onda descendente	1480 nm o 1500 nm	1490 nm o 1510 nm	1480 nm a 1500 nm
Longitud de onda ascendente	1260 nm a 1360 nm	1310 nm	1260 nm a 1360 nm
Usuarios PON	32	16/32	64
Ancho de banda promedio por usuario	20 Mbps	60 Mbps / 30 Mbps	40 Mbps
Costes	Bajo	Más bajo	Medio
Eficiencia	72%	49%	92%

La arquitectura EPON es similar a la de punto a punto, pero todas las ONUs (Unidad de Red Óptica) pertenecen a un único dominio de colisión, puesto que todos los paquetes de datos de diferentes ONUs se transmiten simultáneamente con la posibilidad de colisionar. Por lo tanto, EPON tiene una menor eficiencia en comparación con las arquitecturas APON y GPON, para esto se necesita mecanismos de prevención de colisiones muy eficientes.

2.1.3. Tecnología GPON.

La tecnología GPON es la evolución de APON sin ser directamente dependiente de la tecnología ATM, ya que inserta un nuevo protocolo intermedio para la encapsulación de celdas ATM, TDM y de paquetes de datos. El estándar GPON es regulado por la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones - Sector de Normalización de las Telecomunicaciones) en la serie de normas G.984.x que comenzó en el año 2001 por el grupo FSAN (ITU-T, 2003) .

Esta tecnología permite operar con tasas de 1,25 Gbps y 2,5 Gbps en la dirección descendente (downstream) y tasas de 155 Mbps, 622 Mbps, 1,5 Gbps y 2,5 Gbps en la dirección ascendente (upstream) con un par de fibra óptica o con sólo una fibra utilizando dos longitudes de onda diferentes, 1490nm para enlaces descendentes y 1310nm para enlaces ascendentes y con la posibilidad de una segunda longitud de onda de 1550 nm para la distribución descendente de la señal de TV (Takeuti, 2005).

Las dimensiones físicas de GPON son de hasta 20 km, pero tiene un rango lógico de 60 km, lo que permite el apoyo futuro de los sistemas de largo alcance con gran ancho de banda para todos los clientes. En redes GPON, permite el soporte de hasta 128 usuarios, se recomienda la utilización de sólo 32 ONTs (terminales de red) para cada puerto OLT (terminal de línea óptica). Esto se debe a la transmisión de vídeo mediante superposición de RF. Para alcanzar los 20 km y 32 usuarios en la red, la potencia máxima de la luz que la fibra acepta es de aproximadamente 20 dBm.

GPON soporta dos métodos de encapsulación: ATM y/o GEM (Método de encapsulación GPON). Con GEM es posible enviar tramas de Ethernet, así como el transporte de tráfico TDM (véase la figura 2.1), mientras que también trabaja con servicio ATM.

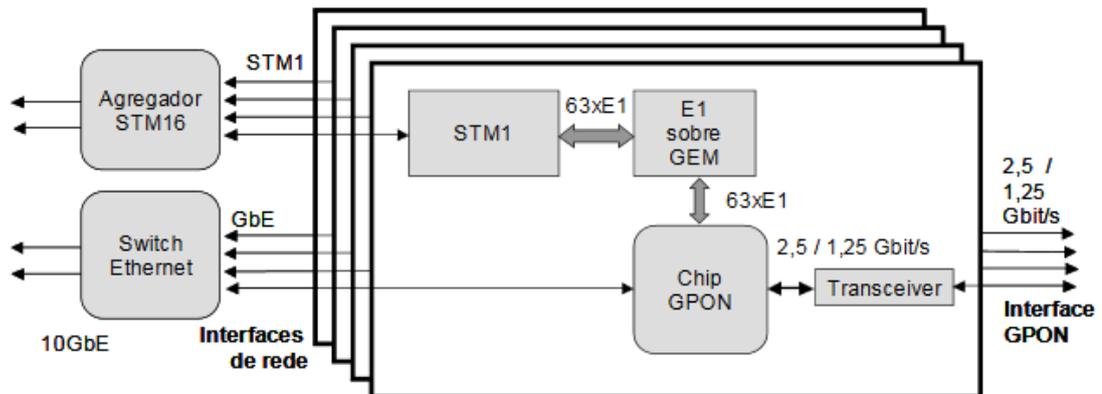


Figura 2. 1: Estructura de una OLT con GEM-GPON.

Fuente: (Xavier De Barros et al., 2007)

En comparación con otras tecnologías de redes PON, GPON tiene un nivel más alto de eficiencia (alrededor de 93%), pero tiene el concepto de encapsulación (carga útil) más flexible, el soporte de mantenimiento TDM original, que lo hace ideal para su uso en la infraestructura óptica también para los servicios dirigidos al mercado residencial y acceso corporativo y una solución de seguridad de red estándar incorporado.

La estructura de una red que utiliza el medio de transmisión por fibra óptica puede utilizar diversas tecnologías, desde la central de telecomunicaciones a la residencia del usuario final. Esto es debido a la amplia variedad de redes encontradas para la prestación de servicios en el hogar del usuario. Los beneficios del uso de la tecnología GPON son la solución para el servicio de triple play residencial, que permite que los servicios de entrega de velocidad a Internet, Video-on-Demand, VoIP e IPTV.

2.2. Especificación de la arquitectura del sistema GPON.

Esta sección indica los detalles de la especificación GPON 984.3. Como ya se mencionó anteriormente, los sistemas GPON están formados por una OLT y ONUs u ONT que se interconectan con una red de

distribución óptica (*Optical Distribution Network, ODN*). Por lo tanto, hay una relación de uno a muchos entre la OLT y la ONU/ONTs, respectivamente.

En la figura 2.2 se muestra la estructura general del sistema de comunicación óptico GPON, que incluye, OLT; ODN, divisores ópticos (splitter), ONU, ONT. Podemos observar la sección de GPON, que consiste en los elementos OLT, ODN, Splitter, ONU y ONT.

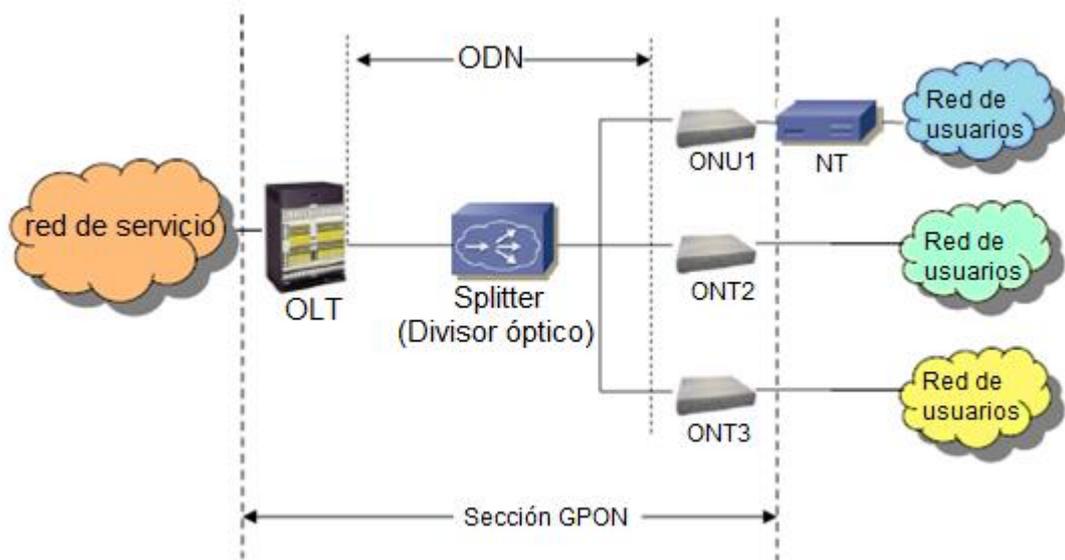


Figura 2. 2: Estructura del sistema GPON.

Fuente: (Jasim Kadhim & Abdul-Rahman Hussain, 2013)

2.2.1. Terminal de línea óptica (OLT).

La OLT es necesaria para conectar la red de servicio y la sección PON. Utiliza interfaces estandarizadas para el lado de la red de servicios y las interfaces de acceso óptico para el lado de la red óptica. Las principales funciones de una OLT son:

- Traducción de formato de mensaje desde la interfaz de red de servicio a la interfaz de trama interna GPON;
- Gestión de la ONU incluyendo el registro ONU, ajustes de nivel de potencia y otras modificaciones de parámetros;
- Control de acceso a medios incluyendo el cálculo de retardo de tiempo de transmisión, asignación de ancho de banda, etc.;

- Control de tramas descendente y ascendente.

2.2.2. Unidad de red óptica (ONU) y terminal de red óptica (ONT)

La ONU se coloca en el sector del abonado para terminar la transmisión de fibra óptica y convertir las señales sobre la línea metálica a los suscriptores. También, se puede considerar que las señales se adaptarán al tráfico de usuarios a través del Terminal de Red (NT).

Las principales funciones de la ONU son:

- Traducción de formato de mensaje desde la interfaz de red del servicio a la interfaz de trama interna GPON;
- Control de tramas descendentes y ascendentes en la sección GPON.

Un terminal de red óptica (ONT) combina las funciones de la ONU y NT en una sola unidad. En este caso, no hay conexión externa entre las funciones de la ONU y NT. Este es el tipo de terminal más común para casas unifamiliares y pequeñas empresas.

2.2.3. Red de distribución óptica (ODN).

La ODN es el componente que conecta un OLT a muchos ONUs/ONTs por dispositivo óptico pasivo. Uno o más divisores ópticos se encuentran en el ODN para que las señales ópticas se distribuyan o sean agregadas.

2.2.4. Redes de servicios y redes de usuarios.

Las redes de servicio son de varios tipos: red IP, red ATM, red Frame Relay, etc., para diferentes servicios o con diversos medios de transmisión. Dado que las diferentes redes tienen varias interfaces, una OLT las asigna a tramas GTC que se pueden transferir a través de la sección GPON a ONUs. Desde el punto de vista de servicios y redes de usuarios, el sistema GPON es transparente porque no se ha cambiado nada en los datos de tráfico de usuario en la sección GPON.

Durante la transmisión de datos en la sección GPON, el tráfico se encapsulará en la trama GTC. Sin embargo, el encabezado relacionado con GTC se eliminará tan pronto como los datos de tráfico abandonen la sección GPON para realizar un transporte transparente.

2.3. Protocolo de pila.

En comparación con el modelo OSI, el protocolo de pila (Stack) de GPON también se puede definir como de 7 capas. Correspondiente a la capa física y la capa de enlace de datos en el modelo OSI, el protocolo de pila GPON tiene una capa de medios físicos dependientes (capa PMD) y una capa de convergencia de transmisión GPON (capa GTC), que tienen funciones similares a las capas correspondientes en el modelo OSI. En la figura 2.3 se muestra el diagrama comparativo del protocolo de pila.

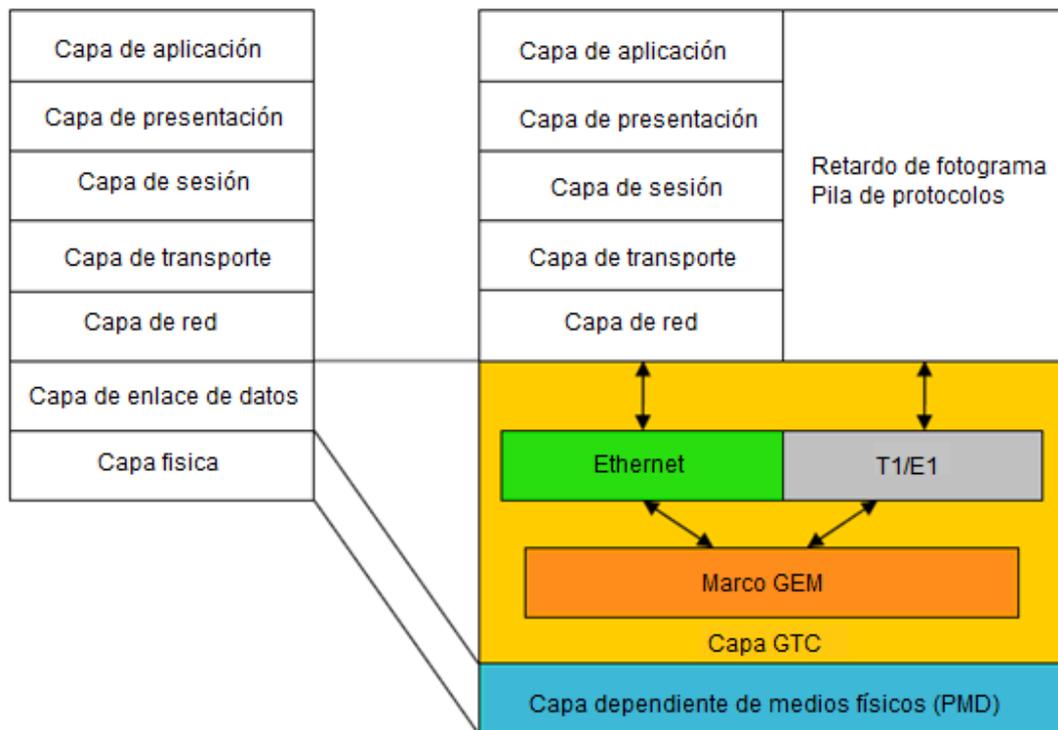


Figura 2. 3: Protocolo de pila GPON.

Fuente: (Lam, 2007)

La capa PMD es responsable de las funciones relacionadas con la transmisión física para controlar la señal, el medio, la dirección, el nivel de

potencia, el rendimiento de fluctuación, el alcance físico máximo y así sucesivamente. La capa GTC realiza el control de acceso a medios y el registro ONU. No sólo contiene las funciones similares a la capa de enlace en el modelo OSI, sino que también puede manejar el registro de la ONU de acuerdo con la configuración del usuario. En la capa GTC, se utiliza el método de encapsulamiento GPON (*GPON Encapsulate Method, GEM*) para transportar los datos de tráfico Ethernet del usuario a través de la sección GPON.

En entornos experimentales sólo se puede transmitir el tráfico Ethernet. La información de dirección relacionada se agregará en el encabezado durante la transmisión de tráfico en la sección GPON para asegurarse de que cada paquete de tráfico del usuario llegue al destino correcto. Sobre la capa GTC, el resto de capas son iguales que el modelo OSI que incluye capa de red, capa de transporte, capa de sesión, capa de presentación y capa de aplicación. Estas capas también se encapsularán en la trama GEM sin modificación.

2.3.1. Descripción de la arquitectura GTC.

La arquitectura de la capa de convergencia de transmisión GPON (*GPON Transmission Convergence, GTC*), implementa el plano de control/gestión de GPON y el plano de tráfico de usuario. Desde el punto de vista del protocolo, se puede dividir en subcapa de tramas de TC y subcapa de adaptación de TC, tal como se muestra en la figura 2.4.

En la subcapa de tramas TC, la partición ATM, la partición GEM, las particiones incorporadas OAM y PLOAM se reconocen de acuerdo con estas ubicaciones en una trama GTC. Solamente la partición incorporada OAM se termina en esta capa que maneja la concesión de ancho de banda, cambio de clave y asignación dinámica de ancho de banda porque la información de OAM está contenida en el encabezado de trama GTC directamente y fácil de

alcanzar al descomprimir una trama. La información PLOAM se procesa en un bloque PLOAM especial que funciona como un cliente de esta subcapa para que el envío de mensajes PLOAM sea fácil de controlar mediante un proceso específico.

En la subcapa de adaptación de TC, la unidad de datos de servicio (SDU) en las particiones ATM y GEM se convertirá convencionalmente desde/para la unidad de datos de protocolo (PDU). La información de OMCI se puede reconocer a partir de estas particiones y enviando la entidad OMCI a través del canal OMCI.

Las particiones OAM, PLOAM y OMCI se clasifican en el plano de tráfico de control/gestión, mientras que las PDUs en ATM y partición GEM excepto para OMCI se consideran como un plano de usuario.

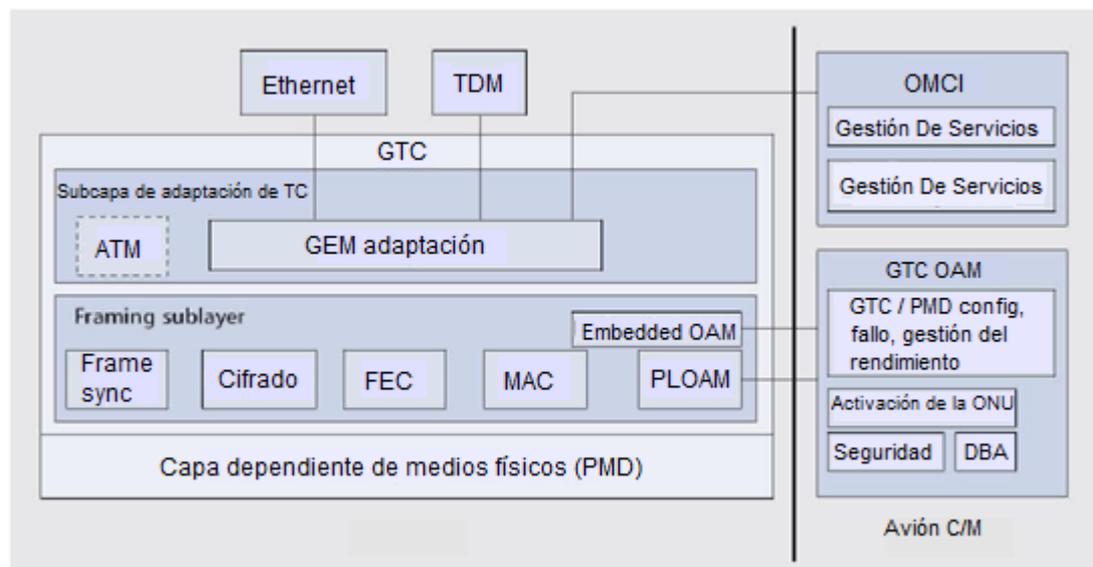


Figura 2. 4: Protocolo de pila de la capa GTC.

Fuente: (Lam, 2007)

2.4. Topología de redes ópticas pasivas.

En esta sección se describen las tres topologías más comunes que se utilizan en redes ópticas pasivas (PON), tales como: (a) bus, (b) anillo, y (c) árbol.

2.4.1. Topología de bus.

La topología de bus utiliza sólo una fibra óptica para conectar la OLT y ONUs, donde cada ONU recibe un sub-segmento de fibra a través de un divisor (splitter). Cada sub-segmento sirve como un camino para otro ONU u otro splitter en cascada, tal como se muestra en la figura 2.5. Esta topología es adecuada para distancias cortas, y su enfoque es utilizar en las calles, pequeñas oficinas de distribución a través de la conectividad de fibra óptica.

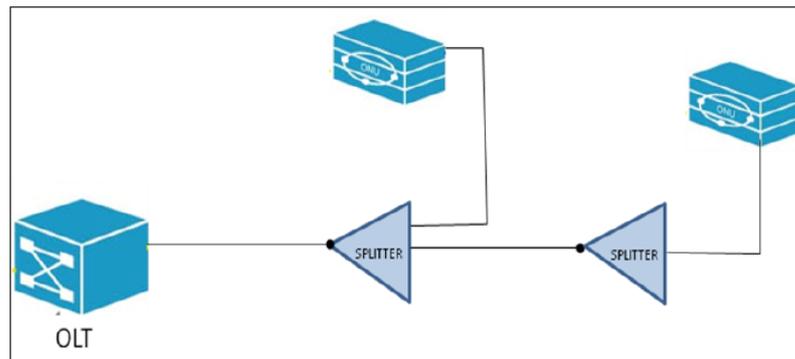


Figura 2. 5: Topología de bus.
Fuente: (Lafata & Vodrazka, 2012)

2.4.2. Topología de anillo.

La topología de anillo es utilizada en redes metropolitanas, proporciona un número mínimo de conexiones con alta capacidad de transmisión. En ella hay dos vías de transmisión diferentes OLT, que mantienen la señal si se interrumpe uno de los lados de la fibra, tal como se muestra en la figura 2.6.

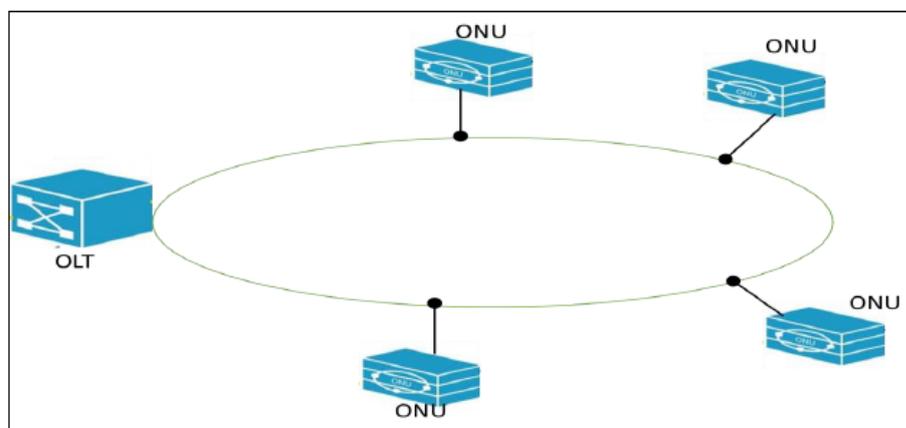


Figura 2. 6: Topología de anillo.
Fuente: (Pinto García & Cabezas, 2014)

En este tipo de topología se puede enviar y recibir señales en ambas direcciones del anillo por más de una fibra óptica, que permite indicar la dirección más rápida para el tráfico.

2.4.3. Topología de árbol

La topología del árbol es el tipo de red de acceso más comúnmente utilizado, ya que requiere una sola fibra para conectar las ONUs en los OLTs a través de un solo derivador, que se conecta con los usuarios dispersos geográficamente, pero juntos en un punto de división (splitter). En la figura 2.7 se muestra un separador de fibra para cada ONU, con la ventaja de hacer más fácil la ubicación del error en el caso de cualquier problema en la red.

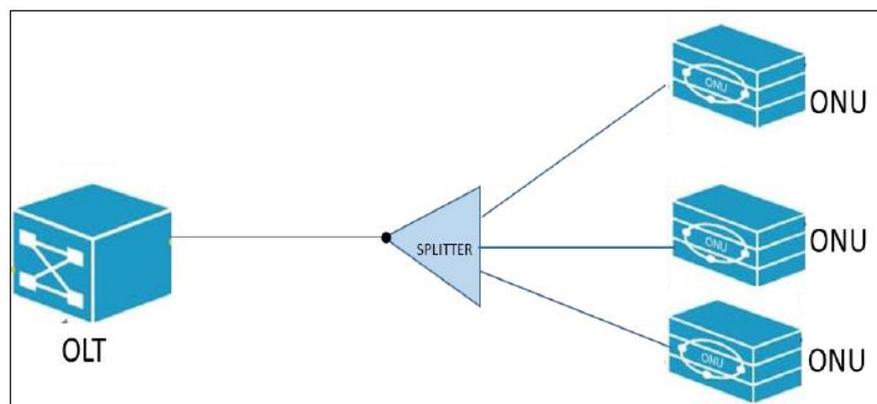


Figura 2. 7: Topología de árbol.
Fuente: (Pinto García & Cabezas, 2014)

2.5. Transmisión de tráfico en GPON.

En esta sección se discuten dos direcciones de transmisión de tráfico: descendente (downstream) y ascendente (upstream). En la dirección descendente, las ONUs reciben el mismo paquete transmitido en el que sólo una parte del paquete pertenece a la ONU específica. En la dirección ascendente, todas las ONUs comparten la misma trama de transmisión para enviar mensajes a la OLT de acuerdo con la política de asignación de ancho de banda programada de antemano por la OLT.

2.5.1. Transmisión descendente.

Cuando hay paquetes necesarios para ser transmitidos desde la Red de Servicio (*Service Network, SN*) a la Red de Usuarios (*User Network, UN*) a través de GPON. La transmisión descendente ocurre en la sección GPON tal como se muestra en la figura 2.8.

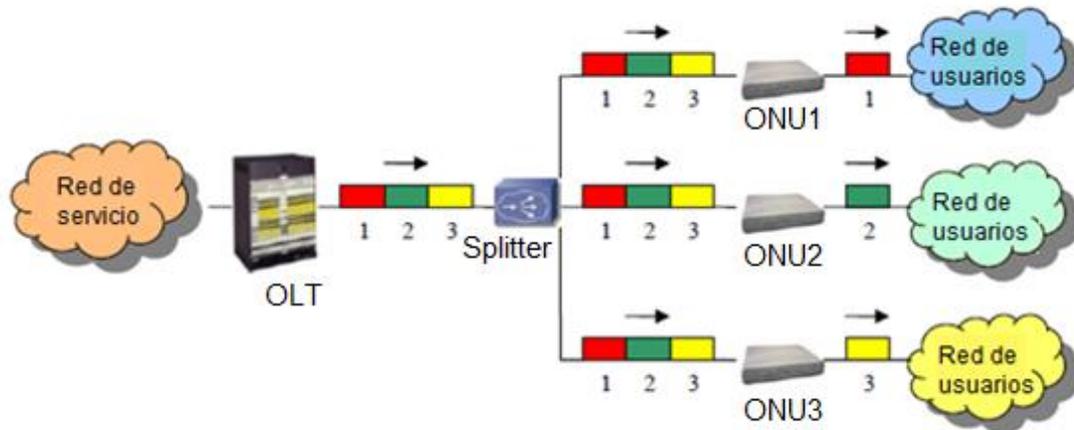


Figura 2. 8: Explicación gráfica de transmisión descendente sobre GPON.

Fuente: (López, Moschim, & Rudge, 2009)

La transmisión para el tráfico Ethernet se puede describir con los siguientes pasos:

- La OLT recibe el tráfico Ethernet de la red de servicio y comprueba la dirección MAC de destino.
- La OLT comprueba la tabla de búsqueda para obtener el identificador de puerto relacionado de acuerdo con la dirección MAC.
- La OLT encapsula el tráfico en una trama GEM agregando el encabezado GEM que incluye el ID de puerto y otros campos necesarios. Al mismo tiempo, el mensaje OMCI también podría incluirse en la cabecera GEM.
- La OLT empaqueta varias tramas GEM juntos.
- La OLT anexa estas tramas GEM al campo PCBd que ha relacionado un mensaje de plano de control, un mapa de asignación de ancho de banda ascendente y otros campos de control de trama. Toda esta información construye una trama GTC.

- La OLT transmite la trama GTC a ONUs.
- La ONU recibe la trama GTC de OLT.
- La ONU analiza el campo PCBd para comprobar la integración de datos, lee la información de PLOAM y el mapa de asignación de ancho de banda ascendente. La acción de gestión del sistema relacionada debe realizarse en el lado ONU de acuerdo con la información de PLOAM.
- La ONU obtiene las tramas GEM deshaciéndose de la PCBd. Puede encontrar una o más tramas que pertenezcan así mismo, al marcar el campo ID de puerto en el encabezado GEM. Al mismo tiempo, el mensaje OMCI que está encapsulado en la cabecera GEM puede ser leído por la ONU. Correspondientemente, se llevará a cabo una acción de gestión del sistema relacionada en la ONU.
- Finalmente, la ONU obtiene la carga útil GEM que es el tráfico Ethernet. Se enviará el tráfico Ethernet a la red de usuario deseada.

2.5.2. Transmisión ascendente.

Cuando hay paquetes necesarios para ser transmitidos desde la red de usuario a la red de servicio a través de la sección GPON, la transmisión ascendente ocurre en la sección GPON, tal como se muestra en la figura 2.9.

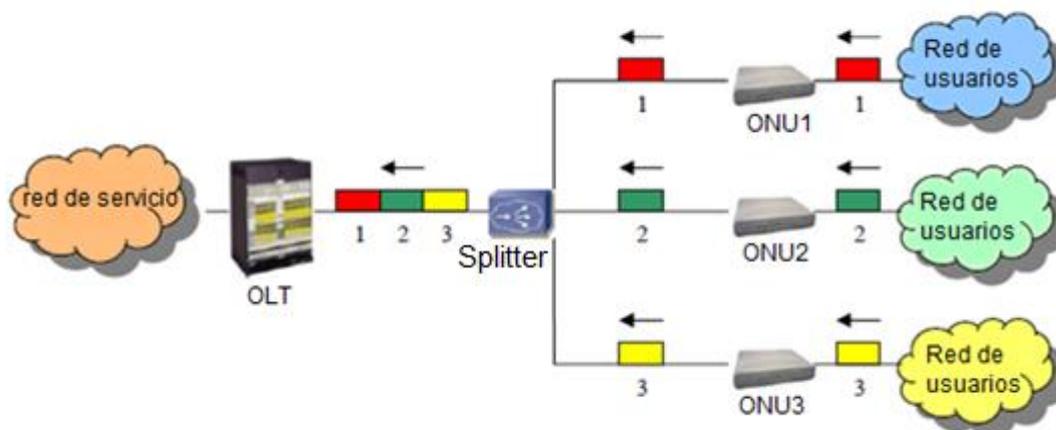


Figura 2. 9: Explicación gráfica de transmisión ascendente sobre GPON.
Fuente: (López et al., 2009)

La transmisión para el tráfico Ethernet se puede describir con los siguientes pasos:

- La ONU obtiene el tráfico Ethernet de la red de usuarios.
- La ONU comprueba el mapa de asignación de ancho de banda que está contenido en el campo PCBd desde un flujo descendente anterior. Según el T-CONT y el mapa de asignación, la ONU sabe cuánto ancho de banda se le ha asignado en intervalos de tiempo relacionados.
- La ONU debe empaquetar el tráfico Ethernet en la carga útil GEM y agregar la cabecera GEM necesaria. Si el mensaje OMCI necesita ser transmitido desde la ONU a OLT, se encapsulará en la cabecera GEM.
- La ONU adjunta el campo PLOu que es obligatorio. Los campos PLOAMu, PLSu y DBRu se pueden adjuntar también según los diferentes requisitos, incluyendo el envío de la respuesta de PLOAM, la información relacionada con el nivel de potencia y la información del informe de ancho de banda dinámico.
- La ONU envía la trama envasado al divisor, todas estas tramas de la ONU se empaquetarán en una trama ascendente y se transmitirán al lado de la OLT.
- Cuando la OLT obtiene esta trama, se dividirá la trama a varias unidades de acuerdo con la ONU-ID en los campos PLOu. La OLT comprobará los campos PLOAMu, PLSu y DBRu y enviará una respuesta si es necesario.
- La OLT obtiene las tramas GEM, comprueba los mensajes OMCI en los encabezados GEM y actualiza las entidades gestionadas relacionadas si es necesario.
- La OLT comprueba la tabla de búsqueda para obtener la dirección MAC de destino relacionado.
- Finalmente, la OLT obtiene las cargas útiles GEM que son tramas Ethernet de las Redes de Usuarios. Las tramas Ethernet se

transmitirán a la red de servicio de acuerdo con la dirección de destino.

2.6. Formatos de transmisión.

Un OLT puede soportar uno o más ONUs. ONU-ID se utiliza para identificar una ONU. La trama GTC tiene estructuras diferentes de acuerdo con las transmisiones descendentes y ascendentes. Los métodos de transmisión son diferentes. En la dirección descendente, cada ONU recibirá una trama completa que contiene los mensajes para todas las ONUs incluidas desde el lado OLT. Una ONU solo desempaquetará la parte que pertenece a sí misma de acuerdo con el Port-ID.

En la dirección ascendente, todas las ONUs comparten una trama, pero en diferentes intervalos de tiempo, los cuales son asignados por la OLT en los mensajes descendentes. La asignación de ancho de banda para transmisiones ascendentes, es identificada por Alloc-ID, que significa que la OLT asignará los intervalos de tiempo de acuerdo con el Alloc-ID. Los detalles se discutirán más adelante.

En la figura 2.10, ONU-ID, Alloc-ID y Port-ID se utilizan para identificar la ONU, T-CONT y los puertos. En la transmisión descendente, dado que las ONUs comparten un mensaje descendente a la vez, el ID de puerto se utiliza para identificar la parte específica en una ONU particular. En la transmisión ascendente, Alloc-ID se utiliza para la asignación de ancho de banda en sentido ascendente. Mientras que, la ONU-ID se utiliza para la gestión de la ONU en mensajes PLOAM. Cada ONU debe tener una ONU-ID y una o más Alloc-ID y Port-id correspondientes al tráfico ascendente y descendente.

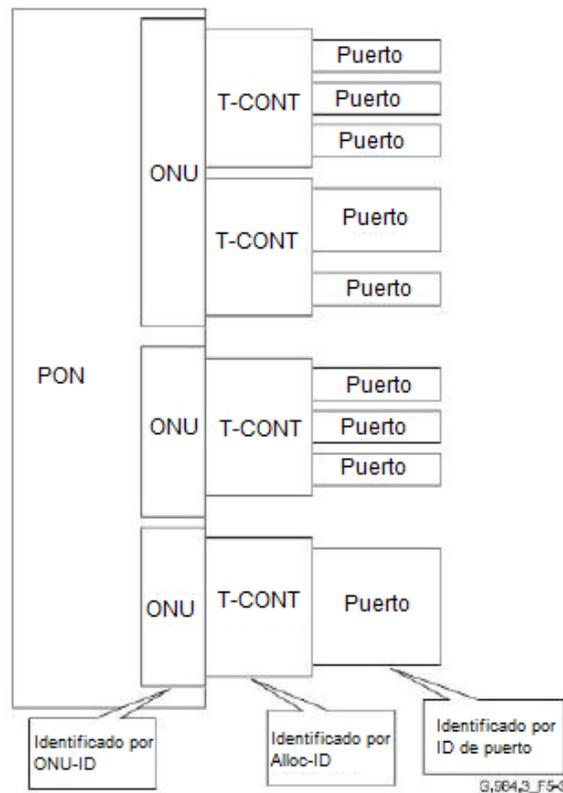


Figura 2. 10: Multiplexación en el servicio GEM.
Fuente: (Lam, 2007)

2.6.1. Trama descendente.

La trama descendente consiste en el bloque de control físico en sentido descendente (PCBd) y en la carga útil (Payload) contiene la partición ATM o la partición GEM, tal como se muestra en la figura 2.11. Una OLT transmite descendentemente para asegurarse de que cada ONU recibirá el mismo tráfico descendente. Después de recibir el flujo descendente, cada ONU desempaquetará el bloque PCBd para obtener la información relacionada, por ejemplo, la información PLOAMd o información de asignación de ancho de banda ascendente. Mientras que, para el bloque de carga útil, la ONU desempaquetará su propia parte de carga útil de acuerdo con el área de ID del puerto.

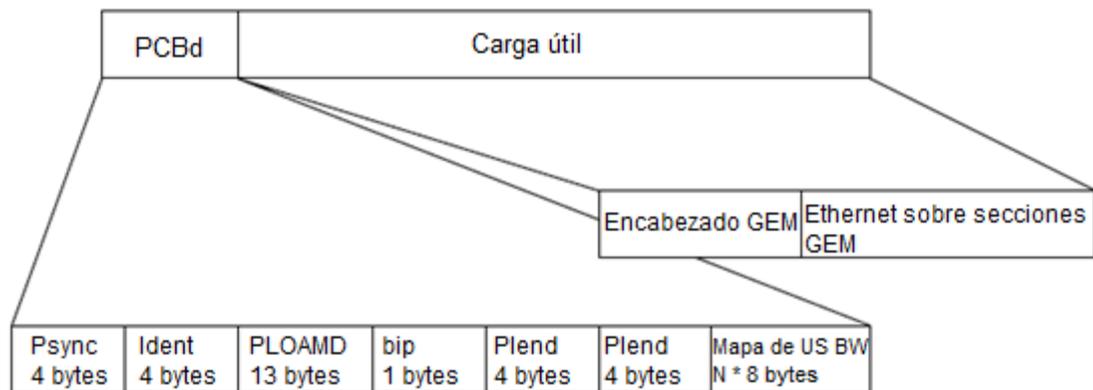


Figura 2. 11: Explicación de las tramas descendentes de GPON.

Fuente: (Lam, 2007)

Tabla 2. 2: Campos del bloque de control físico en sentido descendente (PCBd).

Nombre del campo	Funcionalidad
PSync	Para indicar el comienzo de una trama descendente.
Ident	Para proporcionar tolerancia de error, incluyendo contador de súper-trama y FEC
PLOAMd	Para enviar la operación de la capa física, mensajes de administración y gestión.
BIP	Para comprobar los errores de enlace por paridad intercalada entre bits
Plend	Para especificar la longitud del mapa de ancho de banda y la partición ATM
Plend	Para ser enviado dos veces por la robustez del error
Mapa ascendente del BW (US BW)	Para indicar el mapa de asignación de ancho de banda ascendente

Mapa US BW:

Por ejemplo, el campo de mapa ascendente del BW se utiliza para asignar el ancho de banda ascendente para ONUs. Contiene varias entradas de 8 bytes (véase figura 2.12), cada una representando una asignación de ancho de banda Alloc-ID perteneciente a un T-CONT. En el modo de asignación de ancho de banda estático, se transmite un mapa de BW actualizado en la siguiente trama descendente después de que el administrador modifique la política de asignación. Si la política permanece sin cambios, el mismo mapa US BW se envía en la trama descendente.

En el modo de asignación de ancho de banda dinámico, el mapa US BW se transmite en cada trama descendente desde el OLT a los ONT para que los ONT puedan obtener dinámicamente la asignación de ancho de banda.

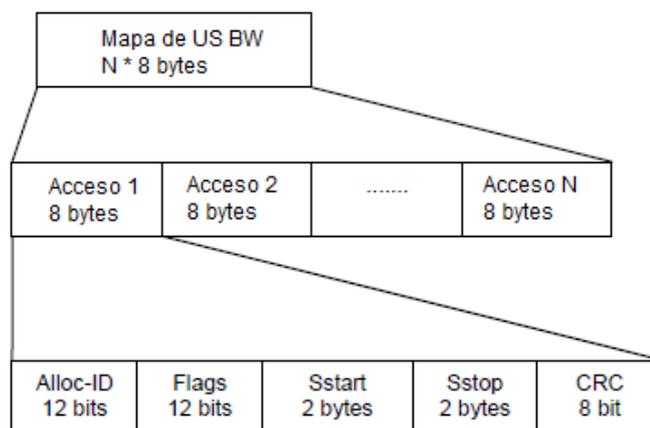


Figura 2. 12: Mapa de la asignación del ancho de banda ascendente.
Fuente: (Lam, 2007)

Tabla 2. 3: Campos del mapa ascendente BW.

Nombre del campo	Funcionalidad
Alloc-ID	El campo ID de asignación contiene el número de 12 bits que indica el T-CONT particular que se concede tiempo en la parte superior de la PON.
Flags	A las indicaciones sobre cómo se utilizará la asignación
Sstart	Número de 16 bits que indica la hora de inicio de la asignación
Sstop	Número de 16 bits que indica el tiempo de parada de la asignación
CRC	Para proteger la integración de datos

Carga útil descendente

Las cabeceras GEM y las secciones GEM están contenidas en la carga descendente:

- El encabezado GEM se utiliza para proporcionar la información necesaria de la siguiente carga útil en la sección GEM.
- La sección GEM se utiliza para transportar el tráfico de usuario que es un fragmento de Ethernet.

En la carga útil, uno o más encabezados GEM y secciones GEM se transmiten a diferentes ONUs. El ID de puerto en la cabecera GEM se utiliza para la identificación de tráfico GEM de la transmisión descendente, tal como se muestra en la figura 2.13.

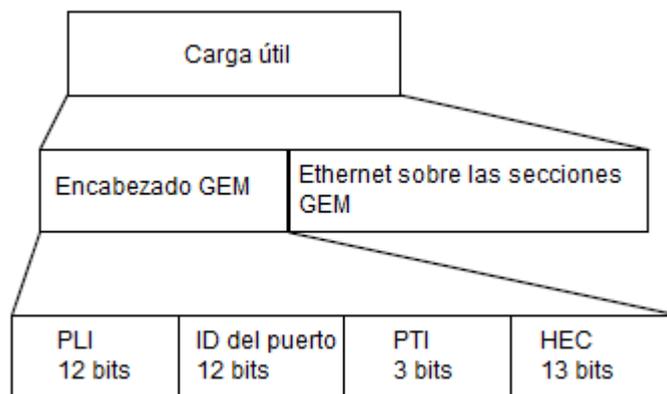


Figura 2. 13: Carga útil de transmisión descendente GPON.
Fuente: (Lam, 2007)

Tabla 2. 4: Campos de carga útil

Nombre del campo	Funcionalidad
PLI	Para indicar la longitud de la carga útil siguiente
ID del puerto	Para indicar el ID de puerto que identifica el destino de la carga útil
PTI	Para indicar el tipo de contenido de la carga útil del fragmento y su tratamiento apropiado
HEC	Proporcionar la función de detección y corrección de errores.
Fragmento de carga	El fragmento Ethernet se transporta en la sección GEM

2.6.2. Trama ascendente.

En la transmisión ascendente, la trama contiene una o más unidades de transmisión, tal como se muestra en la figura 2.14. Cada unidad lleva los campos PLOu y de carga (payload). PLOAMu, PLSu y DBRu sólo se transmiten cuando es necesario. Al recibir el mensaje ascendente, la OLT desempaquetará la trama por el ONU-ID para conocer el destino del mensaje. En la tabla 2.5 se muestra los nombres de los campos de carga (payload) con sus respectivas funcionalidades.

PLOu	PLOAMu 13 bytes	PLSu 120 bytes	DBRu X 2,3,5 bytes	Payload X
------	--------------------	-------------------	-----------------------	-----------

Figura 2. 14: Unidad de trama ascendente de GPON.

Fuente: (Lam, 2007)

Tabla 2. 5: Campos de carga.

Nombre del campo	Funcionalidad
PLOu	Sobrecarga de capa física, para decir OLT siguen siendo la conectividad con ONU
PLOAMu	Transmitir el mensaje de operación y gestión de la ONU a OLT
PLSu	Se utiliza para mediciones de control de potencia por la ONU
DBRu	Informe de ancho de banda dinámico en sentido ascendente, contiene el estado de tráfico de un T-CONT
Carga (Payload)	Para transmitir la carga útil ascendente

Las siguientes acciones se ejecutarán en el lado de la OLT:

- a. Análisis del campo PLOAMu y lleva a cabo la acción de gestión en consecuencia.
- b. Inicializa o cambia el modo de potencia del transmisor ONU de acuerdo con el campo PLSu, que contiene el informe de medición de control de potencia.
- c. Asigna dinámicamente un ancho de banda ascendente de acuerdo con el Informe de ancho de banda dinámico en el campo DBRu si el modo DBA se está ejecutando

d. Dirige la carga ascendente hacia los receptores correspondientes.

2.7. Topología de redes FTTX.

El término genérico FTTx se utiliza para designar a las arquitecturas de red de transmisión de alto rendimiento. Las topologías FTTx se dividen de acuerdo a su lugar de utilización. Sus principales derivaciones son:

- a. Fibra hasta el apartamento (Fiber-to-the-Apartamento, FTTA),
- b. Fibra hasta el edificio (Fiber-to-the-Building, FTTB),
- c. Fibra hasta la acera (Fiber-to-the-Curb, FTTC), y
- d. Fibra hasta el hogar (Fibra -to-the-home, FTTH).

2.7.1. Topología FTTA.

La solución FTTA (Fiber-to-the-apartamento) es una arquitectura de transmisión óptica, tal como se muestra en la figura 2.15, entra en el edificio (residencial o comercial), llegando a una sala de equipos o un divisor (splitter). A partir de ese punto, la señal óptica puede someterse a una división de la señal enviada posteriormente de forma individual a cada apartamento u oficina.



Figura 2. 15: Esquemático de la topología FTTA.
Fuente: (Varela & Konopacki, 2014)

Otras alternativas de división interna del edificio se pueden implementar, pero siempre cada departamento u oficina llamarán para una

fibra óptica única y exclusiva, es decir, los puntos terminales de acceso interno a los usuarios, es decir, que se toman directamente al apartamento u oficina.

2.7.2. Topología FTTB

La topología FTTB (Fiber-to-the-Building) es una arquitectura de red de transmisión óptica que se origina en el centro de un operador de telecomunicaciones hasta llegar a la entrada del edificio, tal como se muestra en la figura 2.16. La distribución interna de la señal se realiza a través de una red Ethernet mediante cable coaxial o un par de cobre de cableado estructurado.



Figura 2. 16: Esquemático de la topología FTTB.
Fuente: (Varela & Konopacki, 2014)

2.7.3. Topología FTTC.

En la derivación FTTC (Fiber-to-the-Curb), la arquitectura de la red de transmisión óptica se origina en el centro de un operador de telecomunicaciones hasta llegar a un armario de distribución o control que normalmente es responsable de servir a una amplia zona, y no sólo un condominio o un edificio exclusivamente. Desde el armario hasta los clientes, la transmisión se produce principalmente a través de pares de cobre, tal como se muestra en la figura 2.17.



Figura 2. 17: Esquemático de la topología FTTC.
Fuente: (Varela & Konopacki, 2014)

2.7.4. Topología FTTH.

Para la derivación de FTTH (Fiber-to-the-Home), la arquitectura de la red de transmisión óptica se origina en un operador central de telecomunicaciones hasta llegar a la casa del cliente a través de una fibra óptica exclusiva, tal como se muestra en la figura 2.18. La gran ventaja de este modelo es la velocidad de transmisión que puede alcanzar más de 100 Mbps por usuario.



Figura 2. 18: Esquemático de la topología FTTH.
Fuente: (Varela & Konopacki, 2014)

Capítulo 3: Desarrollo del trabajo.

3.1. Introducción.

La conectividad de red se clasifica como un backhaul o una red de acceso. En la red de acceso proporciona conectividad de última milla que conecta a los usuarios finales con la red backhaul que finalmente se conecta a la nube. La reciente red de acceso inalámbrico necesita aumentar el alcance de cobertura y alta transmisión de datos de video, voz y servicios multimedia con los usuarios móviles y fijos. Por esta razón, en la columna vertebral (backbone) de la tecnología de acceso de banda ancha como la estación base (BS) de LTE, los proveedores de red recientes requieren un ancho de banda de transmisión alto.

Por lo tanto, la tecnología RoF determina una solución clave para satisfacer este requisito. Dado que en las tecnologías inalámbricas y de fibra óptica del backbone, la tecnología RoF dispone de un sistema óptico de gran ancho de banda en particular. Para el caso de RoF, se refiere a una tecnología en la que la luz es modulada por la señal de radio y se transmite a través de un enlace de fibra óptica para el acceso inalámbrico de la telefonía móvil 4G-LTE. Cada señal de radio en cada célula se transmite y recibe de usuarios móviles a través de fibra óptica por estación base separada.

En los sistemas de Radio sobre Fibra (RoF), las señales son transportadas en forma óptica entre una estación central y estaciones base antes de radiar en el aire. Cada estación base con al menos una estación móvil situada en su rango está adaptada para comunicarse por radio enlace de la estación base. La principal ventaja de este equipo para servir a múltiples redes de banda ancha como WiMAX, 3G, 4G-LTE y otros protocolos se pueden centralizar en un solo lugar.

3.2. Propuesta de implementar tecnología de Radio sobre Fibra (RoF).

Para aumentar la capacidad, la movilidad y también disminuir los costes en la red de acceso utilizaremos la arquitectura RoF, la integración de redes de microondas y ópticas es una solución definitiva. Esta arquitectura reduce la complejidad en el lado de la antena de la estación base (BS), y las portadoras de radio que se pueden asignar dinámicamente a las diferentes antenas de la estación base en las subestaciones.

Ahora, si se integra en la tecnología de banda ancha, este sistema ofrecerá capacidades estándar de transmisión de datos a la red actual. En la actualidad, una LAN inalámbrica ofrece hasta 54 Mbps y frecuencias de portadoras entre 2.4 y 5 GHz, mientras que las redes móviles 3G ofrecen hasta 2 Mbps a una frecuencia de 2 GHz, y la red 4G-LTE ofrece hasta 40 Mbps con frecuencias de portadoras entre 2 y 8 GHz.

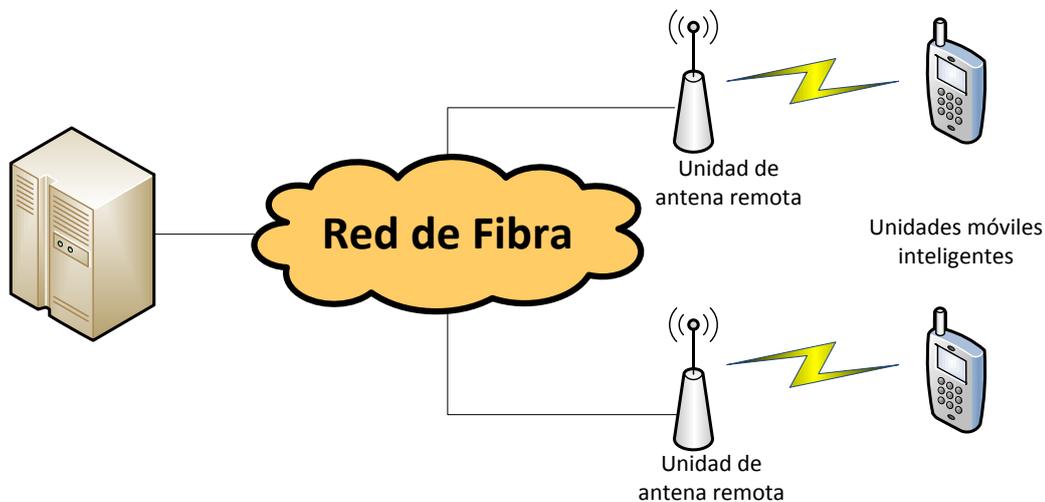


Figura 3. 1: Modelo del sistema de RoF.
Elaborado por: El Autor

La tecnología Radio-over-Fiber utiliza enlaces de fibra óptica para distribuir señales RF de la estación base a la unidad de antena remota. Las funciones de procesamiento de señal de RF, tales como la conversión de frecuencia, la multiplexación y la modulación de portadora, se realizan en la antena. En lugar de fibra óptica, la radio sobre fibra hace factible centralizar

la función de procesamiento de señales de RF en una cabecera, que ofrece una baja pérdida de señal entre 0,5 dB/km y 0,3 dB/km para longitudes de onda de 1310 nm y 1550 nm, respectivamente. En la figura 3.1 se muestra la distribución de señales a las unidades de antena remota.

3.2.1. Arquitecturas del sistema de RoF.

El sistema de transmisión de radio sobre fibra se clasifica en dos categorías principales:

- a) RF sobre fibra
- b) IF sobre fibra

En la arquitectura RF sobre fibra, los datos se transmiten por señal de RF con una frecuencia superior a 10 GHz. Antes de transmitir sobre el enlace óptico se impone a una señal de onda luminosa. Por lo tanto, las señales inalámbricas se distribuyen ópticamente en altas frecuencias a las estaciones base y luego, antes de ser amplificadas y radiadas por antena, se convierten del dominio óptico a eléctrico en las estaciones base. Por lo tanto, no se requiere una conversión de frecuencia hacia arriba en las estaciones base.

Mientras que en la arquitectura IF sobre fibra, los datos se transmiten a través de la señal de RF con una frecuencia inferior a 10 GHz. Se utiliza para modular la luz antes de transferir sobre el enlace óptico. Sin embargo, la masa de señal se convierte a RF en la estación base antes de radiar a través del aire. En la figura 3.2 se muestra el diagrama funcional de un sistema de radio sobre fibra que entrega la señal de RF desde la oficina central a la unidad de antena remota a través de enlaces ópticos, que consiste en todos los componentes necesarios para transferir una señal eléctrica.

De la figura 3.2 también se explica la conversión eléctrica/óptica (E/O) que puede realizarse mediante láser modulado directamente o mediante un modulador externo a la salida de la unidad de antena remota.

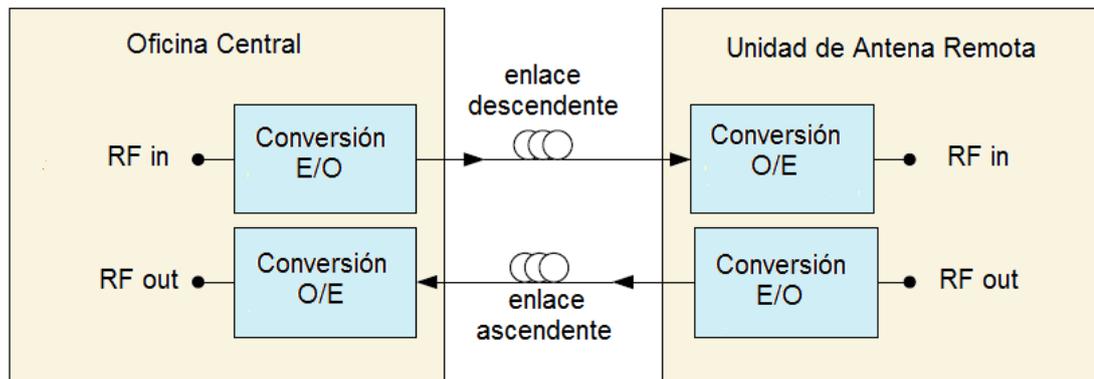


Figura 3. 2: Diagrama de bloques de la funcionalidad entre en la oficina central y unidad de antena remota.

Elaborado por: El Autor

3.2.2. Aplicaciones del sistema de RoF.

Existen varias aplicaciones de la tecnología RoF que consisten en comunicaciones de radio móvil, comunicaciones por satélite, acceso de banda ancha, LAN inalámbrica y sistema de banda ancha móvil. Las aplicaciones técnicas de RoF son:

- a) OFDM (Multiplexación de división de frecuencia ortogonal), y
- b) CWDM (Multiplexación de división de longitud de onda gruesa).

Multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en sistemas RoF permite combinar luz de diferentes fibras con diferentes longitudes de onda a una única fibra. Se compone de DWDM, dispositivo que utiliza técnicas de multiplexación óptica para aumentar la capacidad de fibra que puede ser utilizada a través de la multiplexación por división de tiempo (*TDM, Time Division Multiplexing*). En una sola fibra este sistema puede alcanzar capacidades de más de 1 Tbps. También la tasa de bits en un canal de señal ha aumentado de 10 Gbps a 40 Gbps. Si reducimos la separación de canales en WDM a 50 GHz o 25 GHz, entonces será posible transmitir 100 canales. Dado que el ancho de banda de modulación es

siempre una pequeña fracción de frecuencia de portadora, por lo tanto, la transmisión de señal RoF se ve como ineficiente en términos de utilización del espectro.

3.2.3. Beneficios y limitaciones de utilizar la tecnología RoF.

El uso de la tecnología RoF para repotenciar las radios bases LTE del servicio de banda ancha móvil, brinda los siguientes beneficios:

- a) Asignación dinámica de recursos.
- b) Menor pérdida de atenuación.
- c) Consumo de energía reducido.
- d) Gran ancho de banda.

En la tecnología RoF se realiza modulación analógica y detección de luz. Es decir, que en sistemas de comunicación analógica y tecnología RoF, las deficiencias de señal como el ruido y la distorsión son muy importantes. Estas deficiencias limitan la figura de ruido y rango dinámico de los enlaces RoF.

El rango dinámico también es importante en sistemas de comunicaciones móviles para la señal recibida en la estación base desde las unidades móviles. Esa es la potencia de RF recibida desde una unidad móvil que está cerca de la estación base y también mucho más alta que la potencia de RF recibida de la unidad móvil en la que está a varios kilómetros de distancia.

Las fibras monomodo (*SM, Single Mode*) basadas en sistemas RoF puede limitar la longitud del enlace de fibra y también aumentar el ruido de fase de la portadora RF. En las fibras multimodo (*MM, MultiMode*) basada en sistemas RoF, modela varios límites disponibles para enlaces, ancho de banda y distancia.

3.2.4. RoF en la arquitectura GPON.

GPON es una red de transmisión totalmente óptica que tiene como objetivo proporcionar una conexión de red de alta velocidad. Las características de la tecnología GPON han sido normalizadas por la Unión Internacional de Telecomunicaciones-T (UIT-T). GPON admite una velocidad de transmisión de datos de 2.5 Gbps para transmisiones descendentes (*downstream*) y dos opciones de 1.25 Gbps y 2.5 Gbps para transmisiones ascendentes (*upstream*).

Las configuraciones físicas se pueden ver por la relación de división y la distancia de OLT-ONU. Teóricamente, las divisiones pueden ser hasta 64 pero debido a las limitaciones de hardware actuales, el desarrollo hasta ahora sólo puede llegar a 32. La longitud física máxima del OLT a la ONU es de 20 km. Los tráficos descendentes y ascendentes se transmiten a 1490 nm y 1310 nm mientras que la longitud de onda de 1550 nm está asignada para RF o vídeo analógico. En la tabla 3.1 se muestra en resumen las propiedades de la tecnología GPON.

Tabla 3. 1: Propiedades de la tecnología GPON.

Cantidad	Valor
Velocidad de datos (upstream)	1.25/2.5 Gbps
Velocidad de datos (downstream)	2.5 Gbps
Longitud de onda (downstream)	1490 o 1550 nm
Longitud de onda (upstream)	1310 nm
Máximo divisores PON	64 – Teórico
	32 – Desarrollado
Distancia máxima	60 km – Teórico
	20 km – Desarrollado

Elaborado por: Autor

En la figura 3.3 se muestra la integración de RoF en la arquitectura GPON. El procesamiento de señal como la modulación óptico-eléctrica se realiza en el CS antes de que el terminal de línea óptica (OLT) transmita la señal óptica a la fibra. Un divisor pasivo en la red de distribución óptica (ODN) envía la señal a los usuarios respectivos.

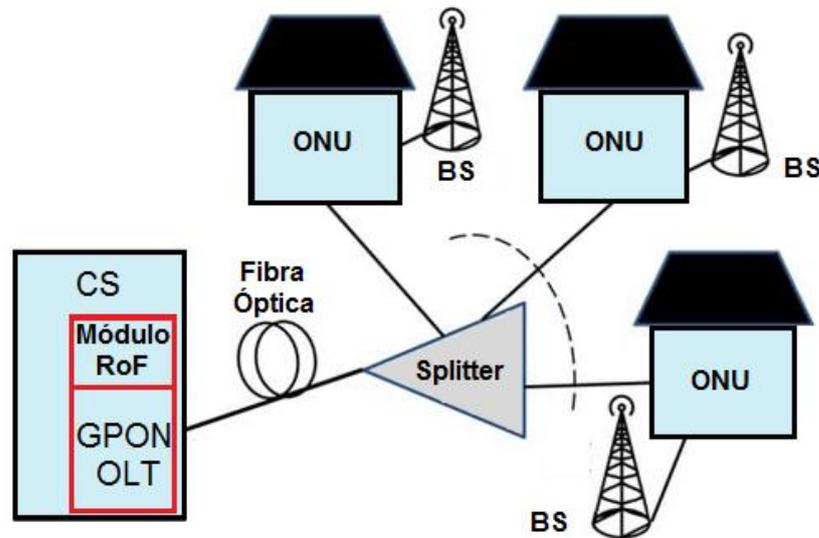


Figura 3. 3: Integración de RoF en una arquitectura GPON.
Elaborado por: El Autor

El más sencillo RoF en el diseño GPON es el uso de un módulo de RF independiente en la CS y también la RAU en la ONU/BS. Esto es para asegurar que esta integración no utilizará el ancho de banda de la señal de datos GPON existente (por ejemplo, aplicaciones cableadas). Entonces, el método de traspaso para el esquema inalámbrico será más fácil cuando cualquier usuario móvil se desplaza a otra área de cobertura de la BS.

En la BS, se realiza la conversión y regeneración de señales en donde la unidad de red óptica (ONU) es responsable de la detección de señal óptica. En la dirección descendente, GPON utiliza el método de difusión de las señales a todos los usuarios mientras que, en la dirección ascendente, el concepto de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) se aplica a todas las BS donde se asignan tiempos específicos para la transmisión de datos.

Uno de los dispositivos más importantes que hace GPON sea una atractiva solución de red, es la existencia de divisores (splitter) ópticos pasivos sin alimentación. El splitter está disponible en una variedad de relaciones de división, tales como, 1 a 8, 1 a 16 y 1 a 32.

3.3. Simulación del sistema.

A través de la plataforma OptiSystem se desarrolla el modelo de simulación para la repotenciación de estaciones bases en redes LTE utilizando la tecnología RoF aprovechando redes ópticas pasivas de alta capacidad (GPON). Primero se realiza brevemente la configuración de la simulación en OptiSystem donde todos los parámetros necesarios se basan en las propiedades estandarizadas de una red GPON.

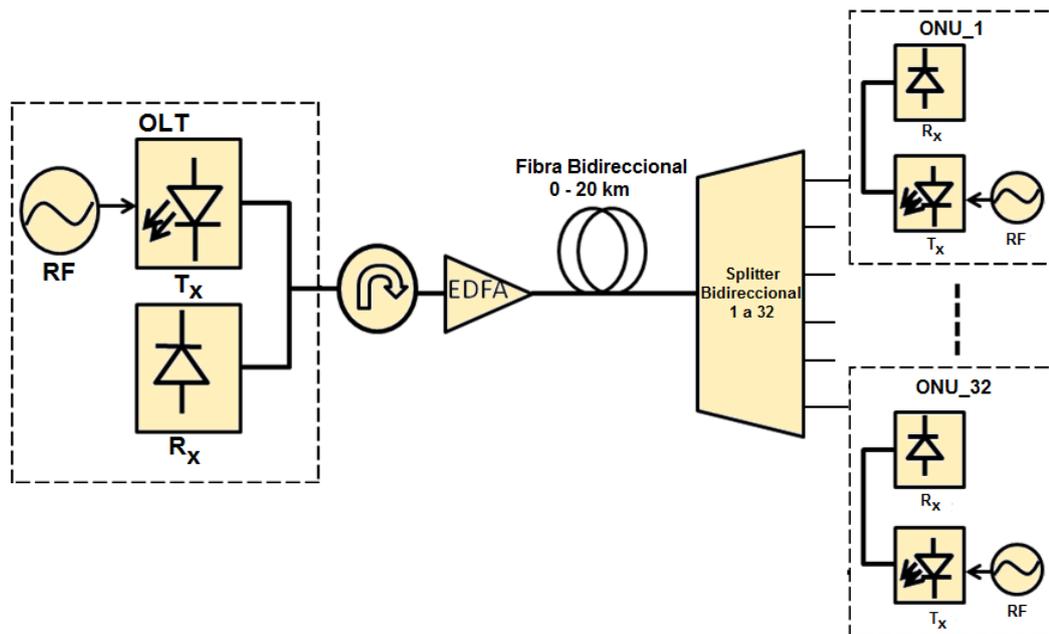


Figura 3. 4: Esquemático del sistema a modelar en OptiSystem.
Elaborado por: El Autor

En la figura 3.4 se muestra el desarrollo de la transmisión bidireccional para la arquitectura GPON empleada por RoF. Podemos ver en la OLT que se utilizan un transmisor (Tx) y un receptor (Rx) que se distribuyen a las 32 ONUs. La fibra bidireccional se utiliza con longitud variada de un splitter óptico pasivo bidireccional 1 a 32 para conectar las ONUs a la fibra principal.

Finalmente, las señales upstream y downstream se separan por el circulador óptico y el retardo óptico introducido en la fibra para asegurar la sincronización correcta de la circulación.

Las figuras 3.5 y 3.6 muestran los diseños esquemáticos de los módulos de transmisión (Tx) y recepción (Rx) respectivamente, tanto para la OLT como las ONUs. En el Tx (ver figura 3.5) la señal de datos es generada por el Generador de Secuencia de Bits Pseudo-Aleatorio (PRBS) donde la tasa de bits se establece en 2.5 Gbps y la frecuencia de trabajo elegida es de 5 GHz que funciona como señal IEEE 802.11a. Los datos son modulados a través del modulador de cambio de fase (PSK). El filtro de paso de banda rectangular es utilizado en el Tx y Rx para obtener sólo el espectro requerido. La modulación óptica consiste en diodos láser de onda continua (*Continuous Wave Laser Diode, CWLD*) y modulación Mach-Zehnder (*Mach-Zehnder Modulator, MZM*) (ver figura 3.7) que trabaja a una longitud de onda de 1490 nm para que la señal eléctrica sea transportada a través de la fibra bidireccional.

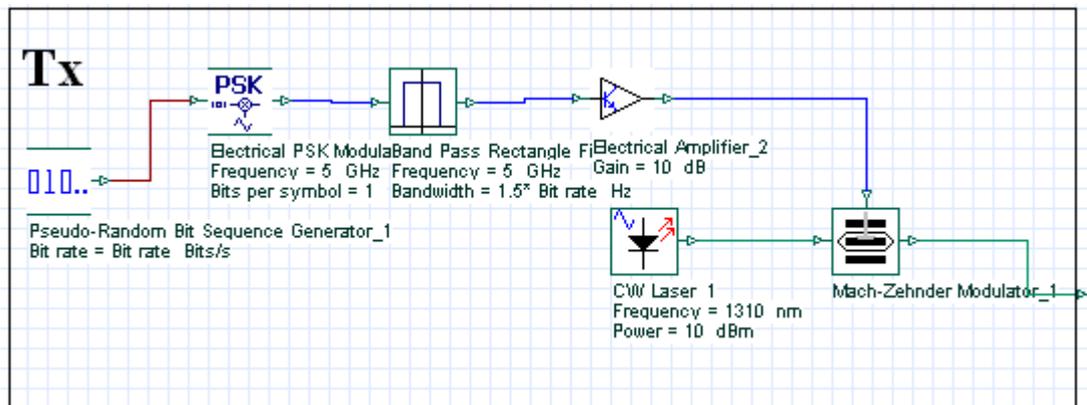


Figura 3. 5: Configuración para la simulación en el Tx.
Elaborado por: El Autor

En el Rx (ver figura 3.6) después de la fotodetección (PD), la señal se amplifica y filtra para regenerar la señal deseada. La señal a continuación, entra en los analizadores de espectro y de la tasa de error de bits (BER) para posterior análisis de los datos. En la tabla 3.2 se muestran las

configuraciones a realizar en cada uno de los bloques utilizados en esta simulación.

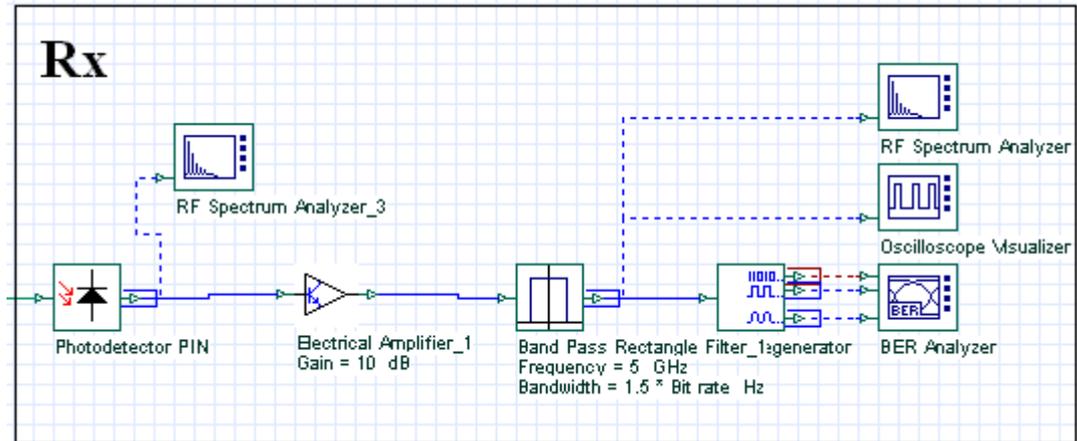


Figura 3. 6: Configuración para la simulación en el Rx.
Elaborado por: El Autor

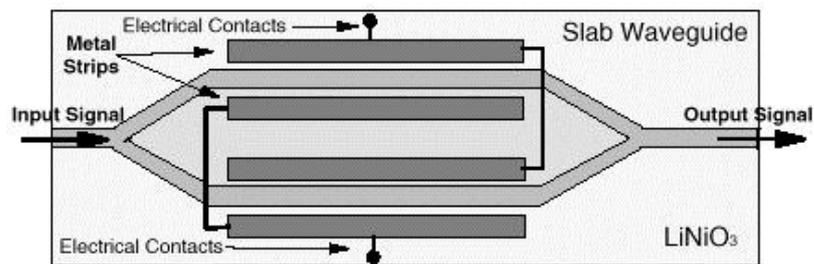


Figura 3. 7: Modulador Mach-Zehnder.
Fuente: (IBM Redbooks, 1998)

Tabla 3. 2: Propiedades de la tecnología GPON.

Parámetros	Valores
Atenuación (F.O.)	0.2 dB/km
Dispersión (F.O.)	15.25 ps/nm/km
Longitud (F.O.)	0-20 km
Longitud EDFA	5 m
Potencia CWLD	10 dBm
Ganancia MZM	30 dB
Capacidad de respuesta PD	0.9 A/W
Frecuencia PSK	5 GHz
Divisor (Splitter) bidireccional	1 a 32

Elaborado por: Autor

3.4. Análisis de los resultados obtenidos del sistema propuesto.

Basándose en la simulación de la sección 3.3, se presenta el análisis de los resultados obtenidos. Podemos observar rendimientos similares tanto para la transmisión downstream como upstream. Los resultados son idénticos para las 32 ONUs. El diagrama de ojo que se representa en la figura 3.8, nos indica buena apertura de la señal y del ruido del sistema. Con la finalidad de minimizar el armónico, sería adecuado colocar un filtro como principal factor de mejora.

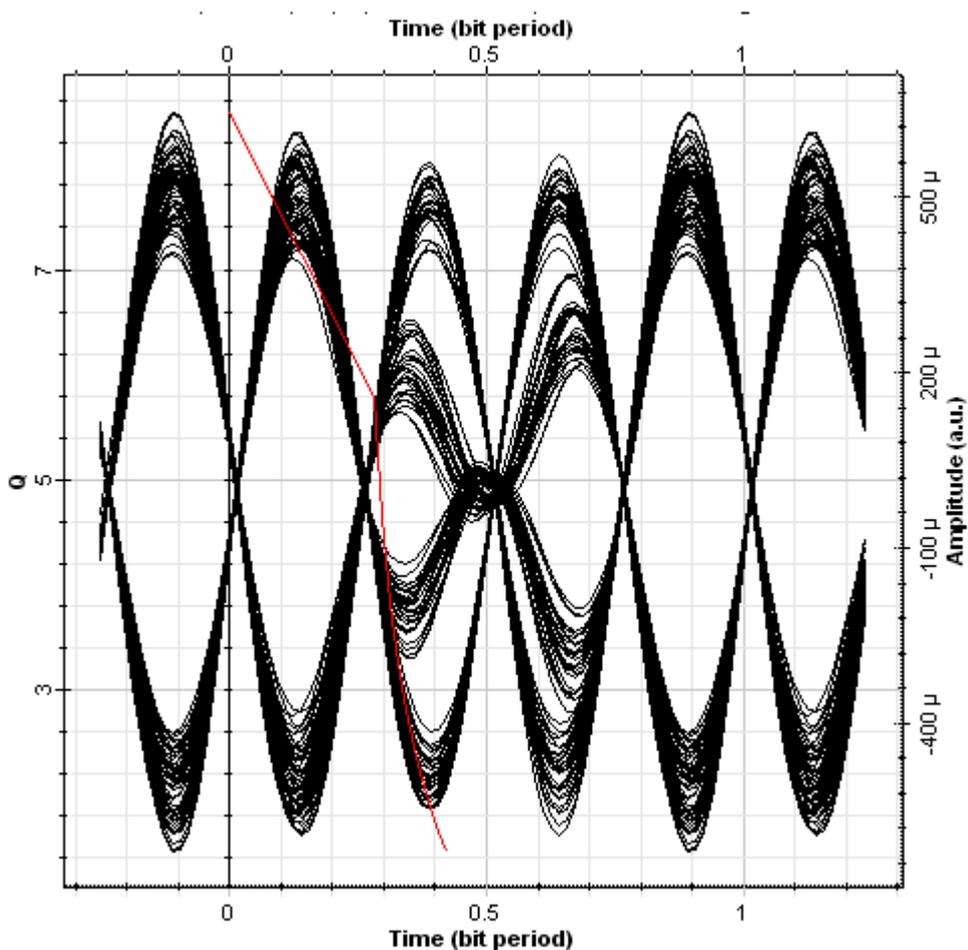


Figura 3. 8: Diagrama de ojo de pescado con resultados óptimos.
Elaborado por: El Autor

La tasa de error de bits (BER) se mide para una longitud de la fibra entre 0 y 20 km. El desempeño del BER está relacionado con la existencia de ruido en el sistema. El ruido del sistema es principalmente contribuido por

el proceso de amplificación del EDFA. Sin embargo, otros componentes también tienen su propio ruido como la dispersión de fibra óptica y los efectos de la interferencia entre símbolos (*InterSymbol Interference, ISI*). En la figura 3.9 se puede observar que la BER se incrementa cada vez que aumenta la longitud de la fibra.

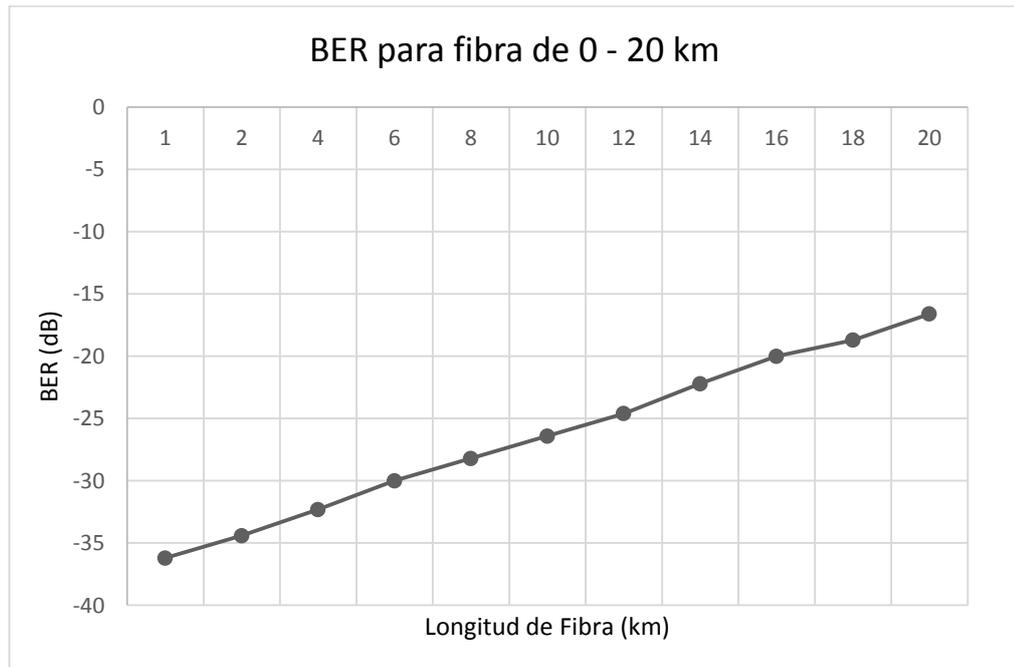


Figura 3. 9: Tasa de error de bits para fibra de longitud 0 a 20 km.
Elaborado por: El Autor

El rendimiento de la relación señal a ruido óptico (*Optical Signal-to-Noise Ratio, OSNR*) para la longitud de fibra se muestra en la figura 3.10. Es notable que la OSNR tiene un patrón de disminución a lo largo de la extensión de longitud de fibra. La OSNR presenta la diferencia entre la amplitud de la señal de datos portadores ópticos y la señal de ruido. Con el fin de tener mayor OSNR, la potencia de ruido en el sistema debe ser controlado adecuadamente. Para cualquier tipo de sistema óptico, la OSNR debe alcanzar 20 dB. Del resultado, a 20 km, el OSNR alcanza 44,3 dB, lo que es particularmente bueno para la simulación de la red.

Tanto BER como la OSNR son dos parámetros de rendimiento importantes en cualquier sistema de transmisión de datos que muestra la capacidad y exactitud de las configuraciones del sistema. La relación entre el BER y OSNR se puede expresar en la siguiente ecuación:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{OSNR}{2}} \right)$$

Donde, erfc, es la función de error complementario.

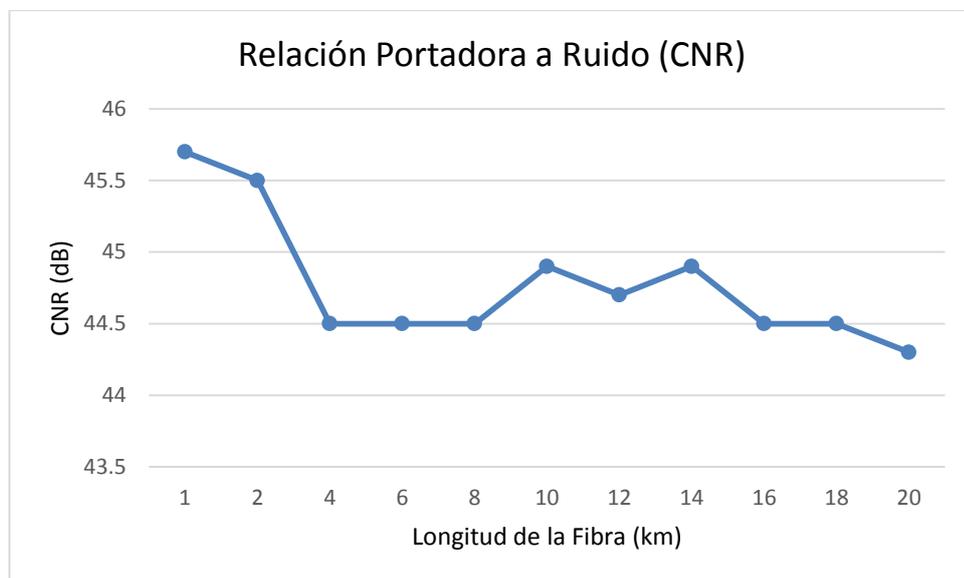


Figura 3. 10: Relación portadora a ruido (CNR) para fibra de longitud 0 a 20 km. Elaborado por: El Autor

A medida que aumenta la longitud de la fibra, hay más ruido involucrado en el sistema y la atenuación de potencia se cortará. Por lo tanto, se reducirá la OSNR que, a su vez, empeora el valor de BER. Al diseñar cualquier sistema, la elección de hardware con poco ruido es una solución esencial para mejorar las prestaciones de la OSNR y BER.

El espectro de la portadora óptica después del splitter (divisor) para un Rx en la detección de la ONU tal como se muestra en la figura 3.11. La longitud de onda operativa para este sistema es 1490 nm.

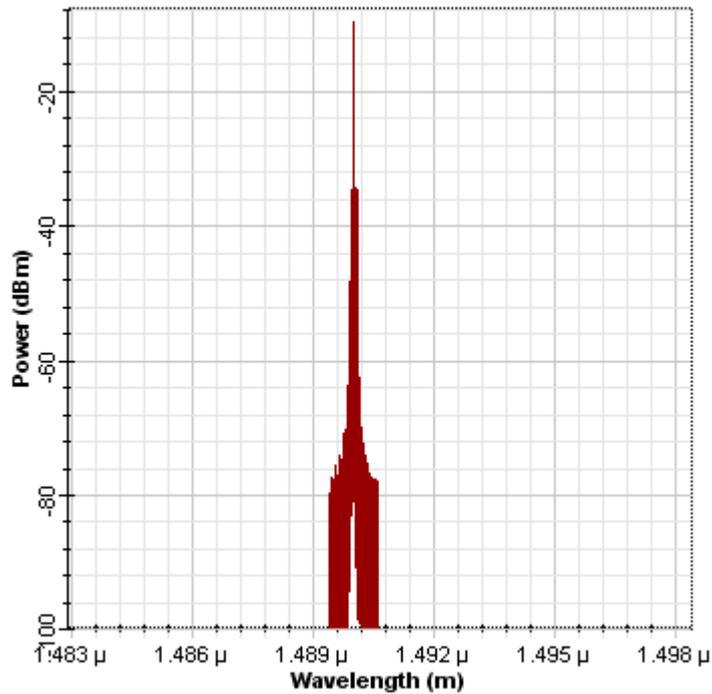


Figura 3. 11: Diagrama espectral óptico para detección Rx.
Elaborado por: El Autor

La figura 3.12 ilustra la potencia óptica recibida a diferentes longitudes de fibra. Se descubre que la potencia se reduce linealmente con el aumento de la longitud de la fibra. La mayor atenuación de la señal se produjo a mayor distancia de la fibra. También se puede observar (ver figura 3.12), que una longitud de fibra de 20 km, la potencia óptica en el transmisor (Tx) es 10,13 dBm y la potencia óptica recibida en el receptor (Rx) -9,72 dBm. La atenuación total de la señal de las extensiones de fibra es de aproximadamente 19,85 dB. Este valor está dentro del rango especificado por la normativa G.984. Para comunicaciones de largo alcance, se requiere utilizar repetidoras, ya que la atenuación se agrava. Después de la fotodetección, es necesaria una amplificación eléctrica para obtener la señal eléctrica. Finalmente, mediante filtrado, la señal de datos se regenera a la frecuencia de trabajo de 5 GHz tal como se muestra en la figura 3.13.

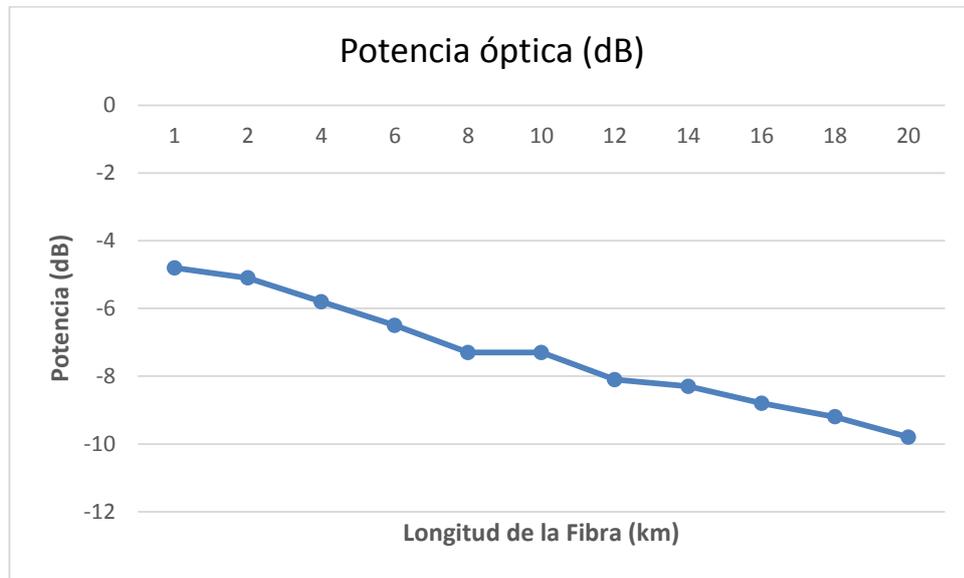


Figura 3. 12: Potencia óptica en el receptor.
Elaborado por: El Autor

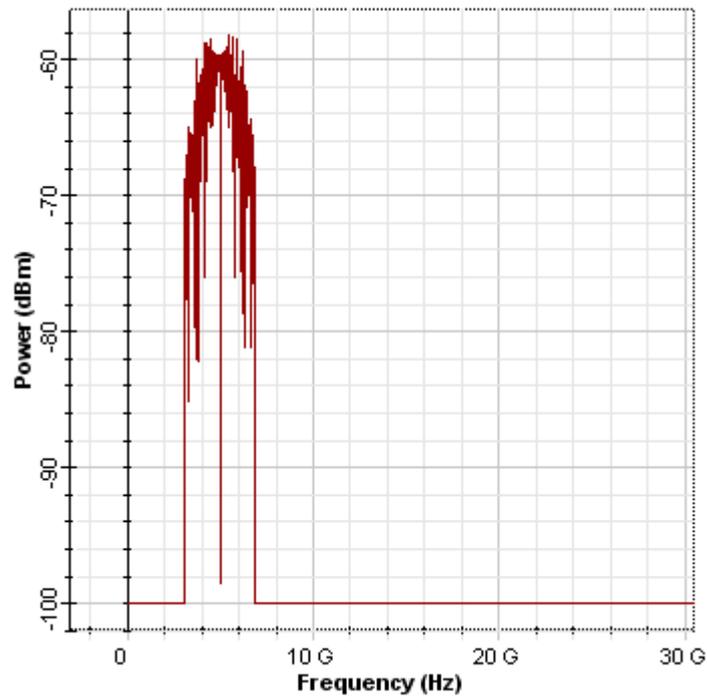


Figura 3. 13: Potencia espectral RF regenerado para frecuencia de 5 GHz.
Elaborado por: El Autor

Conclusiones

1. Mediante la caracterización teórica de las redes ópticas pasivas se pudo conocer las arquitecturas y topologías que utilizan estas redes, así como los protocolos para tramas ascendentes y descendentes, y por último las funcionalidades de la tecnología FTTx.
2. De acuerdo lo tratado en la arquitectura de GPON y empleando una comunicación híbrida, se realizó la implementación y configuración de parámetros de dos escenarios de simulación de la tecnología de RoF sobre una red óptica pasiva de alta capacidad, una para el transmisor y otra para el receptor utilizando la plataforma OptiSystem.
3. Los resultados obtenidos de las capacidades físicas del sistema de transporte inalámbrico de banda ancha móvil, fueron los esperados. La distancia máxima de la fibra se observó una BER baja y OSNR alto en relación a los valores especificados en las normas de la ITU. La potencia de transmisión de la señal de datos resulta ser muy buena a pesar del aumento de usuarios de banda ancha móvil.

Recomendaciones

1. Ampliar el presente estudio utilizando algún método de multiplexación, como WDM y DWDM para evaluar el comportamiento y rendimiento de la red.
2. Utilizar herramientas de simulación ya sean a nivel de software y hardware para evaluar diferentes redes de comunicaciones.

Bibliografía

- IBM Redbooks. (1998). Understanding Optical Communications. Retrieved November 11, 2016, from http://imedea.uib-csic.es/~salvador/docencia/coms_optiques/addicional/ibm/ewtoc.html
- ITU-T. (2003). G.984.1: Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales. Retrieved January 3, 2017, from <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-l/es>
- Jasim Kadhim, D., & Abdul-Rahman Hussain, N. (2013). Design and Implementation of a Practical FTTH Network. *International Journal of Computer Applications*, 72(12), 975–8887.
- Lafata, P., & Vodrazka, J. (2012). Perspective Application of Passive Optical Network with Optimized Bus Topology, 10(3).
- Lam, C. F. (2007). *Passive optical networks: principles and practice*. Elsevier/Academic Press.
- López, M., Moschim, E., & Rudge, F. (2009). Comparative Study of GPON and EPON Networks. *Scientia et Technica Año XV*, 41(41), 321–326. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916680058>
- Pinto García, R. A., & Cabezas, A. F. (2014). *Sistemas de Comunicaciones Ópticas*. Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from http://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11995/1/Com_opticas_V.2014-03-28_PDF.pdf
- Puerto Leguizamón, G., Sastoque Caro, M., & Suárez Fajardo, C. (2015). Dimensioning of optical multicast for dynamic WDM convergent access networks. *Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería*, 23(2), 175–181. <http://doi.org/10.4067/S0718-33052015000200003>
- Takeuti, P. (2005, August 1). *Diseño y dimensionamiento de redes ópticas*

passivas (PONs). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo. Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18133/tde-22092005-205226/>

Varela, A., & Konopacki, M. (2014). *Redes Gpon como solucion para FTTH*. Universidad Tecnológica Federal de Paraná.

Xavier De Barros, M. R., Rossi, S. M., Reggiani, A. E., Hortêncio, C. A., Dias De Aguiar, J. G., Dini, D. C., ... Corso, V. (2007). Avaliação de topologia para redes GPON com distribuição assimétrica. *CPqD Tecnologia*, 3(2), 61–69.

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Robles Coronel, Ivette Lorena**, con C.C: # 092769068-5 autor del trabajo de titulación: **Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE**, 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, 20 de Febrero del **2017**

f. _____

Nombre: Robles Coronel, Ivette Lorena

C.C: 092769068-5

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE		
AUTOR(ES)	Robles Coronel, Ivette Lorena		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Luis Córdova Rivadeneira; MSc. Néstor Zamora Cedeño / MSc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
PROGRAMA:	Maestría en Telecomunicaciones		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	20 de Febrero del 2017	No. DE PÁGINAS:	62
ÁREAS TEMÁTICAS:	Comunicaciones Inalámbricas, Gestión de Redes de Computadoras y Telecomunicaciones.		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	RoF, GPON, Topologías, Arquitecturas, LTE		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>La evolución tecnológica de las telecomunicaciones y el crecimiento de usuarios que utilizan dispositivos electrónicos inteligentes para acceder a la nube. En este caso, el ancho de banda móvil que en Ecuador el servicio de internet móvil lo ofrecen CNT EP, Movistar y Claro a través de la tecnología LTE-4G. Esta tecnología solo permite acceso a datos para usuarios de banda ancha móvil. En base a esto se implementa la simulación de la tecnología RoF, que es una red mixta de fibra para comunicación inalámbrica desde una radio base hasta los usuarios. La tecnología RoF utiliza la red óptica pasiva de alta capacidad (GPON) para mejorar la calidad, rendimiento, latencia y QoS en la comunicación de datos. Para la simulación se utiliza la plataforma OptiSystem cuyos resultados obtenidos son los esperados y que permiten a futuro implementar esta tecnología para así, evitar los altos costos que implican el mejoramiento de una estación base o radio base (RBS).</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0985245094	E-mail: ivette_robles27@hotmail.com	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Manuel Romero Paz		
	Teléfono: 0994606932		
	E-mail: mromeropaz@yahoo.com		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			