



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

TEMA:

**Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación
por división de longitud de onda utilizando OptiSystem**

AUTOR:

Ing. Camino Coca, Armando Vicente

Trabajo de Titulación previo a la obtención del Grado Académico de

MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES

TUTOR:

M. Sc. Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Guayaquil, Ecuador

24 de Septiembre 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 **Camino Coca, Armando Vicente** 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 24 días del mes de septiembre del año 2018



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Camino Coca, Armando Vicente**

DECLARÓ QUE:

El trabajo de titulación “**Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem**”, 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 24 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

Ing. Camino Coca, Armando Vicente



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN TELECOMUNICACIONES

AUTORIZACIÓN

Yo, **Camino Coca, Armando Vicente**

Autorizó a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación titulada: **“Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 24 días del mes de septiembre del año 2018

EL AUTOR

Ing. Camino Coca, Armando Vicente

REPORTE DE URKUND

The screenshot shows the URKUND interface. On the left, a document summary is displayed:

- Documento:** Armando_Camino.docx (D40770336)
- Presentado:** 2018-08-08 09:36 (-05:00)
- Presentado por:** fernandopm23@hotmail.com
- Recibido:** edwin.palacios.ucsg@analysis.orkund.com
- Mensaje:** Revisión Armando Camino [Mostrar el mensaje completo](#)

The message content states: "1% de estas 21 páginas, se componen de texto presente en 2 fuentes."

On the right, the "Lista de fuentes" (List of sources) is shown under the "Bloques" tab. It contains the following entries:

Categoría	Enlace/nombre de archivo
	http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream...
	1439921773_89__borrador_tesis_marcel...
Fuentes alternativas	
	TESIS GPON FINAL P. TUTIVEN 31-07-201...
	ULTIMA TESIS FINAL TUTIVEN 24-05-2015...

At the bottom of the interface, there are navigation icons and buttons for "Reiniciar", "Exportar", and "Compartir". A yellow warning box at the bottom right indicates "1 Advertencia".

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

TEMA: Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH
con multiplexación por división de longitud de onda
utilizando OptiSystem

AUTOR: Ing. Camino Coca, Armando Vicente

Trabajo de Titulación previo a

la obtención del Grado Académico de Magister en
Telecomunicaciones

TUTOR: Palacios Meléndez, Edwin Fernando

Dedicatoria

Dedico el presente trabajo a la fuente de inspiración, que nunca dudaron de mi capacidad y denuedo, esas personas indudablemente son mis hijos; y a todas las personas que a pesar de las adversidades buscan la forma de superarse cada día, preparándose como profesional, siendo el estudio una salida para seguir adelante en el presente y construir un futuro mejor para nuestros seres queridos, sin dañar a nadie, únicamente demostrando nuestras experiencias adquiridas en cada etapa vivida.

Agradecimientos

El agradecimiento perenne a Dios, con la fuente de apoyo incondicional de mi madre, hermana y esposa, que con su denuedo constante siempre animaron los buenos deseos de progreso ineludible para continuar hacia adelante en las diferentes etapas que nos encontramos en la vida, gracias por toda la motivación y el apoyo absoluto en esta nueva meta alcanzada de estudio como lo es el título de Magíster en Telecomunicaciones y por permitirme cumplir este trayecto en mi vida con nuevas experiencias adquiridas en el ámbito de las Telecomunicaciones, el mejor regalo que me pudieron obsequiar las personas en mención, fue el estudio.

Un agradecimiento especial a mi tutor de titulación, M. Sc. Fernando Palacios Meléndez y al personal docente de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil que con sus conocimientos y enseñanzas permitieron llevar esta instrucción a un nivel de estudio superior.



**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.....	XI
ÍNDICE DE TABLAS.....	XIII
Resumen.....	XIV
Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.....	16
1.1. Introducción.....	16
1.2. Antecedentes.....	16
1.3. Definición del problema.....	17
1.4. Justificación del Problema a Investigar.....	17
1.5. Objetivos.....	18
1.5.1. Objetivo General:.....	18
1.5.2. Objetivos específicos:.....	18
1.6. Hipótesis.....	18
1.7. Metodología de investigación.....	18
Capítulo 2: Fundamentación Teórica.....	19
2.1. Arquitectura general de una red óptica.....	19
2.2. Redes de acceso de fibra óptica.....	20
2.3. Red óptica pasiva (PON).....	27
2.4. Concepto de la ATM-PON.....	30
2.5. Concepto de GPON.....	35
2.6. Actividades del grupo Ethernet en la primera milla.....	37
Capítulo 3: Diseño y resultados obtenidos.....	39
3.1. Simulación GPON/FTTH.....	39
3.2. Diseño del escenario de simulación de la red FTTH.....	39
3.3. Procedimiento de la red FTTH.....	43
3.4. Circuito descendente 2,5 Gbps.....	44
3.5. Análisis de resultados obtenidos.....	55

Conclusiones	59
Recomendaciones	60
Referencias Bibliográficas	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Capítulo 2:

Figura 2. 1: Visión general de la arquitectura de un sistema de comunicaciones ópticas.	20
Figura 2. 2: Diferentes aplicaciones en redes de acceso de fibra óptica con sus respectivas tasas de transmisión.....	21
Figura 2. 3: Esquemático de la arquitectura de una planta externa.....	24
Figura 2. 4: Esquemático de una red de fibra óptica dedicada.....	25
Figura 2. 5: Esquemático de una red óptica conmutada.	26
Figura 2. 6: Esquemático de una red óptica pasiva (PON).....	27
Figura 2. 7: Estructura típica de una red GPON.....	27
Figura 2. 8: Esquemático de una red óptica pasiva (PON).....	29
Figura 2. 9: Formato básico de la trama APON en sentido downstream.	31
Figura 2. 10: Formato básico de la trama APON en sentido upstream.....	31
Figura 2. 11: Fases de funcionamiento de las celdas APON en sentido downstream.	33
Figura 2. 12: Fases de funcionamiento de las celdas APON en sentido upstream.	33
Figura 2. 13: Modelo de capas para servicios atendidos para GPON.	35
Figura 2. 14: Formato de tramas en sentido downstream para GPON.....	36
Figura 2. 15: Formato de tramas en sentido upstream para GPON.	37

Capítulo 3:

Figura 3. 1: Parámetros de simulación del modelado de red FTTH.	40
Figura 3. 2: Ventana de configuración de cálculos.....	41
Figura 3. 3: Ventana de configuración de cálculos.....	42
Figura 3. 4: Esquemático básico de la conectividad entre OLTs y ONUs.....	43
Figura 3. 5: Configuración de propiedades de los transmisores WDM.	44
Figura 3. 6: Configuración de propiedades del transmisor óptico WDM Add.	45
Figura 3. 7: Medición de la potencia óptica del bloque WDM Add.....	45
Figura 3. 8: Configuración de propiedades del circulador bidireccional.....	46

Figura 3. 9: Medición de la potencia óptica del bloque circulador bidireccional.	46
Figura 3. 10: Propiedades del cable de fibra óptica.	47
Figura 3. 11: Red de alimentación de GPON.	48
Figura 3. 12: Medidor de potencia a la salida del repartidor óptico.	49
Figura 3. 13: Configuración de propiedades del splitter.	49
Figura 3. 14: Medidor de potencia a la salida del splitter.	50
Figura 3. 15: Red de distribución.	51
Figura 3. 16: Diagrama esquemático de la unidad de red óptica.	52
Figura 3. 17: Esquemático del subsistema de recepción óptica.	53
Figura 3. 18: Configuración de las propiedades del fotodetector APD y filtrado de Bessel.	54
Figura 3. 19: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-1.	55
Figura 3. 20: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-2.	56
Figura 3. 21: Diagrama de ojo y tabla de valores recuperados de la recomendación G.984.2.	57
Figura 3. 22: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-2.	57

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 2:

Tabla 2. 1: Tasas de transmisión en función del par metálico y distancia hasta el usuario.....	22
Tabla 2. 2: Tasas de transmisión en función de la tasa de utilización de pares y distancia.....	23

Resumen

En el presente documento se realiza el análisis de las arquitecturas y comportamiento del rendimiento de las redes de accesos FTTH y FTTC hacia el cliente final evaluando el servicio de telefonía e internet de acuerdo con su infraestructura. Para que sea factible esta hipótesis, se presentaran pruebas simuladas en OPTYSYSTEM y tiempo real mediante equipos de medición que pueden indicar los parámetros óptimos para dejar una red operando en buen estado, con el fin de verificar un buen rendimiento del servicio. Finalmente, el presente estudio indica y recomienda la mejor tecnología para una red de acceso de fibra óptica entre FTTH y FTTC para satisfacer las necesidades de los usuarios como cliente final. Este documento nos servirá de mucha utilidad como guía o herramienta al momento de realizar un despliegue a larga distancia en cualquier parte de las zonas rurales o marginales para comercial los servicios de telecomunicaciones, aclarando nuestros conocimientos de una forma clara y concisa.

Palabras claves: Fibra, Comunicaciones, Redes, GPON, AON y FTTH.

Abstract

In the present document the analysis of the architectures and behavior of the performance of the FTTH and FTTC access networks is done towards the final client, evaluating the telephony and internet service according to their infrastructure. For this hypothesis to be feasible, simulated tests in OPTYSISTEM and real time will be presented by means of measurement equipment that can indicate the optimal parameters to leave a network operating in good condition, in order to verify a good performance of the service. Finally, this study indicates and recommends the best technology for a fiber optic access network between FTTH and FTTC to meet the needs of users as an end customer. This document will be very useful as a guide or tool when carrying out a long distance deployment anywhere in rural or marginal areas for commercial telecommunications services, clarifying our knowledge in a clear and concise way.

Keywords: Fiber, Communications, Networks, GPON, AON and FTTH.

Capítulo 1: Descripción del proyecto de intervención.

1.1. Introducción.

La necesidad por obtener la mayor cantidad de información en el menor tiempo posible ha provocado que los usuarios requieran QoS en la transmisión de datos y a su vez solicitan mayor cantidad de servicios a través de un mismo medio o un solo proveedor. Es así como nace las tecnologías FTTC y FTTH, con el fin de brindar un buen servicio, y que depende del medio de transmisión utilizado. Las redes actuales de cobre, por lo general no ofrecen un buen servicio a larga distancia, por tal razón este tipo de tecnología tiene un ancho de banda reducido y cobertura para distancias relativamente pequeñas. La forma óptima de ofrecer servicios de banda ancha es a través de fibra óptica, la cual garantiza una transmisión de datos con mayor tasa de datos, seguridad y de excelente calidad.

Con la finalidad de mejorar las redes de acceso de fibra óptica y optimizar los servicios básicos de comunicación se creó la solución GPON basada en la utilización de cables de Fibra Óptica y Sistemas de Distribución Ópticos Pasivos que permiten llegar con fibra óptica al usuario final (FTTH) o fibra hasta la acera (FTTC).

El presente estudio detalla el proceso de arquitectura y análisis de rendimiento de la red de acceso de fibra óptica FTTH que mejora los servicios de telefonía e internet ayudando en carácter social a utilizar una tecnología de alta calidad en lugares de poco alcance.

1.2. Antecedentes.

Unos de los principales problemas que tienen las empresas que brindan servicios de Telecomunicaciones, es llegar donde se encuentra la demanda insatisfecha y mejorar los servicios de telefonía e internet, por tal razón han tenido desde sus inicios cambios en su infraestructura tecnológica, por cuanto han utilizado estándares de cableado y arquitecturas de red que han variado de acuerdo a la velocidad de transmisión y rendimiento de la red de acceso, con el fin de distribuir la atención a sus clientes que muchos casos no pueden

ser atendidos por la serie de problemas que genera la distancia de bucle, y en muchos casos perder el nivel de posicionamiento y oportunidad comercial para los clientes potenciales.

Tener una limitada capacidad técnica de respuesta para los servicios ofrecido a los clientes actuales, mejorar e incrementar los servicios convergentes a los mismos.

1.3. Definición del problema.

¿Cómo influye la distancia en la calidad del servicio de telefonía e internet al usuario Final?

- **Necesidad:** Brindar servicio de calidad al usuario final.
- **Variable Dependiente:** Mantenimiento y calidad.
- **Variable Independiente:** Servicio Telefónico.

1.4. Justificación del Problema a Investigar.

En la actualidad en los sectores donde no pueden llegar los servicios de telecomunicaciones existe una demanda insatisfecha que no ha podido ser atendida utilizando el medio de transmisión cobre y por lo distante que se encuentra desde la central hasta los abonados que requieren servicios de telecomunicaciones (voz, internet), estos pueden ser atendidos utilizando la tecnología FTTH.

En las redes de cobre antigua que utiliza muchos proveedores de telecomunicaciones en este país, siempre hay problemas de inducción por la razón que pasan cerca de los cables eléctricos y utilizando el cable de fibra óptica se superaría estos parámetros de errores.

También en muchos sectores rurales o urbanos marginales existe un alto índice de delincuencia que no permiten ingresar al personal técnico de las empresas de telecomunicaciones a realizar los trabajos de mantenimiento por la inseguridad que da el sector, por lo antes indicado de este proyecto se cedería un par hilos de fibra para instalación de ojos de águila que beneficiaría al sector como parte social en contra la delincuencia.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General:

Realizar la evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem

1.5.2. Objetivos específicos:

- ✓ Especificar los fundamentos técnicos y teóricos de redes de acceso de fibra óptica y GPON/FTTH.
- ✓ Realizar mediciones reales y simuladas de las topologías e infraestructuras de red FTTH.
- ✓ Evaluar el rendimiento de la tecnología GPON/FTTH.

1.6. Hipótesis

A través del análisis de rendimiento de la red de acceso GPON/FTTH se logrará demostrar la evaluación del modelado de la tecnología FTTH utilizando la multiplexación por división de longitud de onda sobre la plataforma de simulación OptiSystem.

1.7. Metodología de investigación.

- **OBSERVACIÓN O EXPERIMENTACIÓN:** Este tipo de observación se trata de realizar una serie de pruebas, verificando todos los parámetros que existen en la red que impiden o facilitan el buen funcionamiento del servicio. La experimentación consiste en obtener resultados bajo condiciones controladas.
- **ORGANIZACIÓN:** Se refiere a demostrar el análisis de los resultados obtenidos de forma cualitativa y cuantitativa, compararlos entre ellos y encontrar la mejor opción.
- **MEDICIÓN Y OBSERVACIÓN:** Constatar la situación actual mediante pruebas en tiempo real o simulado para defender la información a presentar.

Capítulo 2: Fundamentación Teórica.

El presente capítulo se describe los fundamentos teóricos relacionados a las comunicaciones por fibra ópticas, así como su arquitectura y demás normas que se consideran en los cálculos de enlaces ópticos.

2.1. Arquitectura general de una red óptica.

Las redes ópticas se pueden clasificar en tres categorías principales: núcleo (core), metropolitana y acceso. No existen límites geográficos definidos para la identificación de estas tres redes, pero pueden distinguirse a través de la escala de sus operaciones y de la tasa de tráfico. La red core opera a escala nacional, continental e incluso mundial. Su tasa de tráfico varía desde cientos de gigabits por segundo hasta algunos terabits por segundo.

Mientras, que la red metropolitana opera a escala regional, análogamente a las áreas metropolitanas de las grandes ciudades. La tasa de tráfico varía de cientos de megabits por segundo hasta decenas de gigabits por segundo. Finalmente, las redes de acceso proporcionan al usuario el acceso a las redes ópticas mundiales a través de las redes metropolitanas. Esta red opera a escala local y su tasa varía desde decenas y cientos de kilobits por segundo hasta decenas de megabits por segundo.

Una arquitectura general de red óptica puede ser vista como una red core rodeada por redes metropolitanas que, a su vez, están rodeadas por redes de acceso, conforme se observa en la figura 2.1, permitiendo a los clientes la comunicación a través de la red mundial de telecomunicaciones. A partir de una visión empresarial, la red core tiene un valor mucho más significativo con respecto a la red de acceso, mientras que la red core soporta cientos de millones de clientes, la red de acceso a su vez soporta comparativamente un número reducido de clientes. Considerando que cada cliente produce en promedio el mismo volumen de información que se va a transmitir, y, una vez que la inversión en redes se realiza de forma proporcional al número de clientes que soportan estas redes, se invierte mucho más dinero en el desarrollo de redes core y metropolitana.

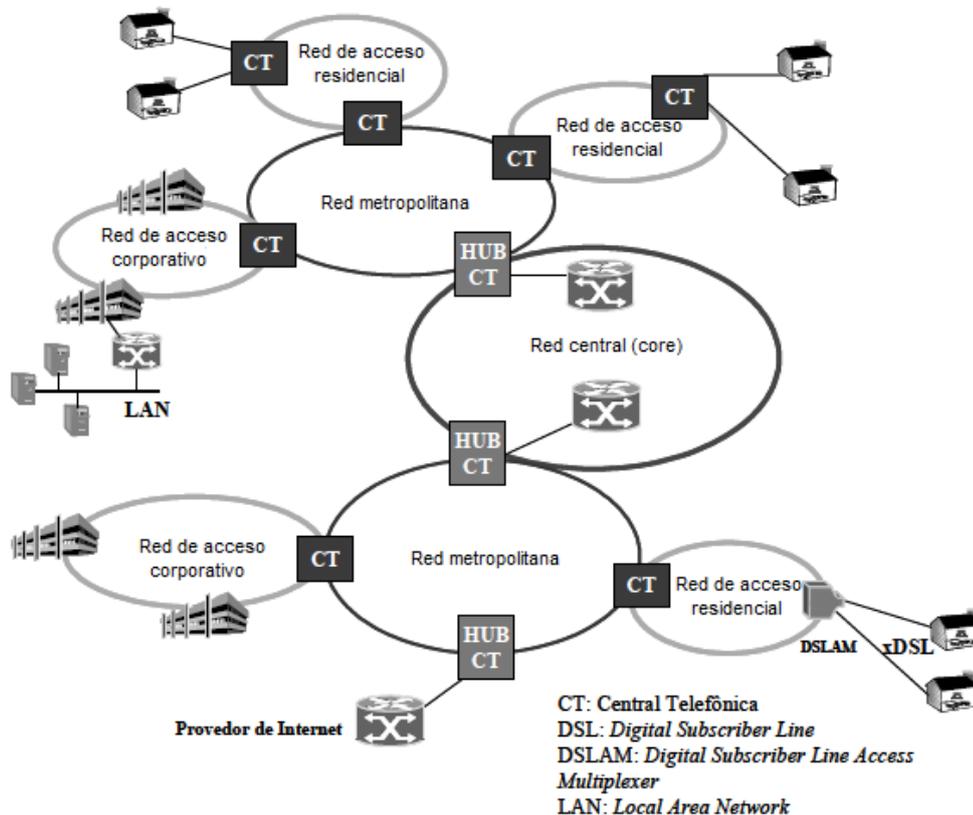


Figura 2. 1: Visión general de la arquitectura de un sistema de comunicaciones ópticas.

Fuente: (Adtran, 2018)

El desarrollo de los sistemas de comunicaciones ópticas nació de la necesidad de atender el crecimiento exponencial del volumen de tráfico. De esta forma, a finales del siglo XX, nuevas redes core fueron masivamente dispuestas, y el uso de la tecnología de multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) aumentaba la capacidad de esas redes. Con respecto a las redes metropolitanas, los anillos interconectados por sistemas de jerarquía digital síncrona (*Synchronous Digital Hierarchy, SDH*) permitieron un aumento en su capacidad de tráfico. El resultado observado es que la red de acceso puede convertirse en un punto de estrangulamiento de tráfico en las comunicaciones mundiales

2.2. Redes de acceso de fibra óptica.

La idea de red de banda ancha está asociada al suministro simultáneo de voz, datos y vídeo, lo que demanda una alta tasa de transmisión, como puede observarse en algunas aplicaciones destacadas en la figura 2.2,

considerando que servicios como video bajo demanda y TV digital necesitan tarifas a partir de 1 Mbps.

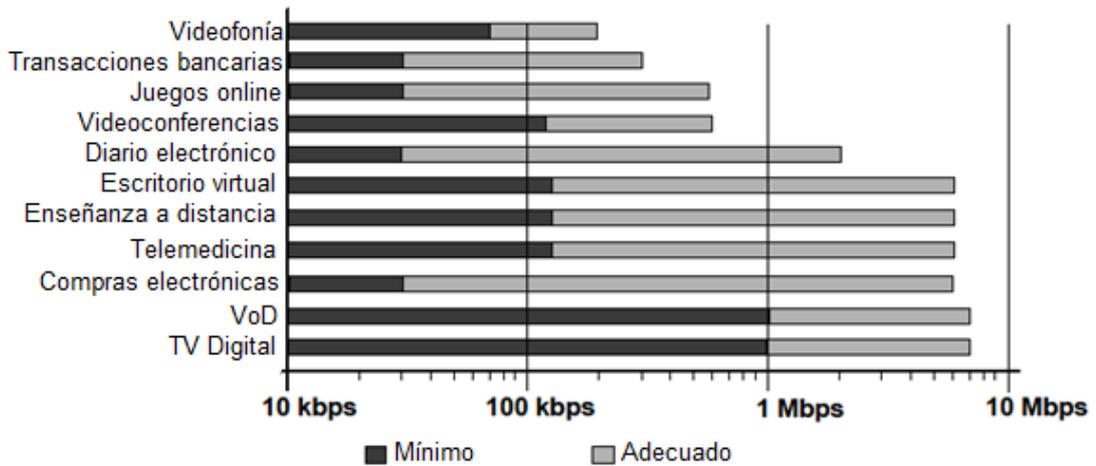


Figura 2. 2: Diferentes aplicaciones en redes de acceso de fibra óptica con sus respectivas tasas de transmisión.

Elaborado por: Autor

La necesidad de altas tasas de transmisión está justificada también por el rápido desarrollo de las redes de área local (*Local Area Network, LAN*), aumentando la presión sobre la red de acceso. Los escenarios actuales se configuran de la siguiente manera: (a) pequeños y medianas empresas necesitan mayor ancho de banda para sus actividades, (b) familias buscando para sus residencias un acceso a Internet con mayor ancho de banda, y (c) las tecnologías como línea de suscripción digital (*Digital Subscriber Line, DSL*) y cable módem constituyéndose como una respuesta inmediata de las empresas operadoras de telecomunicaciones y de televisión por cable frente a las crecientes necesidades de banda de los clientes.

A partir de la visión de una empresa operadora de telecomunicaciones, hay dos clases de clientes: una categoría es la gran empresa que puede construir su propia red dedicada propia o el uso, por ejemplo, de anillos SDH de esa operadora; la otra categoría se constituye de pequeña y mediana empresa y de los clientes residenciales que utilizan solamente las facilidades estándar del operador.

Como las líneas telefónicas conectan prácticamente todas las residencias y áreas empresariales con una central telefónica, las compañías

telefónicas ofrecen acceso de banda ancha a estas líneas utilizando tecnologías tales como la red digital de servicios integrados (RDSI) y DSL. Sin embargo, la tecnología RDSI permite una tasa de transmisión de un máximo de 128 kbps, lo que no se configura como banda ancha, para lo cual en Ecuador motivó a clientes empresariales y residenciales a adoptar de forma más efectiva su competidor DSL.

Dentro de la familia DSL predomina la tecnología ADSL, que utiliza el mismo par metálico de la red de voz, siendo la tecnología más empleada por usuarios comerciales y residenciales. Utilizando un módem ADSL en el lado del cliente y un concentrador ADSL conocido como multiplexor de línea de acceso de abonado digital (*Digital Subscriber Line Access Multiplexer, DSLAM*) en la empresa de telefonía, esta tecnología provee tasas de transmisión de hasta 2 Mbps en la parte downstream a una distancia de hasta 5.5 km, tal como se puede constatar en los datos indicados por la tabla 2.1.

Tabla 2. 1: Tasas de transmisión en función del par metálico y distancia hasta el usuario

Tasas de transmisión (Mbps)	Diámetro del par metálico (mm)	Distancia hasta el usuario (km)
1.5 a 2.0	0.4	4.6
	0.5	5.5
6.1	0.4	2.7
	0.5	3.7

Elaborado por: Autor.

El análisis de datos obtenidos en campo se pudo conocer que el servicio ADSL es necesaria una precalificación de la línea y, muchas veces, ese servicio no está disponible a los clientes debido a la mala calidad de la comunicación red metálica existente. La tecnología ADSL es un gran avance con relación a las conexiones de banda estrecha ofrecidas por los módems analógicos, pero, con relación al uso de la fibra óptica en el acceso, tal tecnología se caracteriza como "puente" de transición para atender a los usuarios inmediatamente y, retenerlos.

Los distintos factores que provocan la disminución de la capacidad de transmisión del canal formado por pares de cobre en los que transitan señales de

modulación multitono discreta/amplitud en cuadratura (*Discrete Multitone Modulation, DMT*)/(*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*) son: (a) pérdida de inserción, (b) relación señal/ruido, (c) variación en la geometría de los conductores metálicos con diámetros nominales 0.4 mm y 0.5 mm, con una o más derivaciones (paralelismo de la red) a lo largo del cable y longitudes diversas, así como la existencia de bobinas.

A partir de la tabla 2.2 es posible observar que, en hasta 2 km de radio desde la central telefónica, prácticamente todos los usuarios pueden ser atendidos para una capacidad de 2 Mbps. Por encima de este límite, todas las líneas deben ser probadas para garantizar la calidad de transmisión. La tasa de utilización de la red indicada en la tabla 2.2 caracteriza la capacidad de transmisión de la central telefónica. Finalmente, el estudio realizado presenta un factor común ($\approx 1,56$) que relaciona los valores de la longitud de línea de la tabla 2.1 con las distancias del radio especificado en la tabla 2.2

Tabla 2. 2: Tasas de transmisión en función de la tasa de utilización de pares y distancia.

Tasas de transmisión (Mbps)	Tasa de utilización (%)	Distancia desde la central hasta el usuario (km)
2	1	3.86
	10	3.07
	100	1.86
4	1	3.50
	10	2.71
	100	1.71
6	1	3.07
	10	2.50
	100	1.43
8	1	2.71
	10	2.14
	100	1.21

Elaborado por: Autor.

En la figura 2.3 se presenta una arquitectura típica de planta externa diseñada por un operador de servicios de telecomunicación, con la finalidad de ofrecer servicios de voz. Los cables de pares metálicos se distribuyen a través de la red de acceso desde una central telefónica para atender a los usuarios residenciales y a las pequeñas y medianas empresas, teniendo el cable principal una capacidad inicial de 3600 pares. A partir de enmiendas principales, cables secundarios o de derivación, con capacidad de 2400 a 1200 pares, se dirige a las regiones con gran densidad de población. Estos cables secundarios son multiplexados en equipos denominados Armarios de Distribución Metálicos (ARDs), para atención a diversas áreas, constituidas cada una de 400 a 600 usuarios.

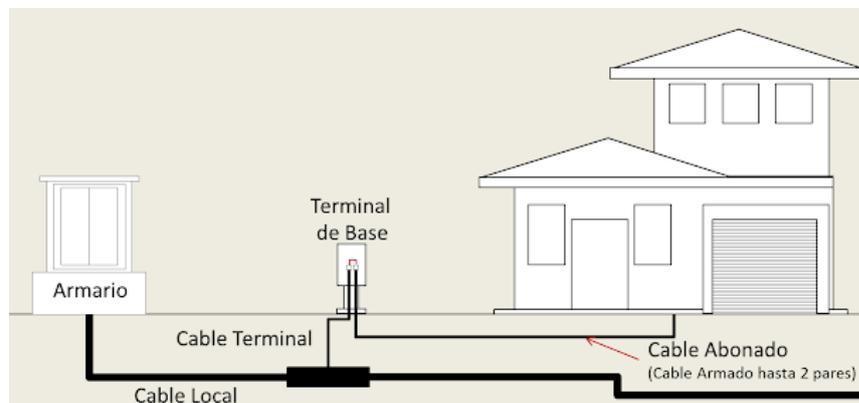


Figura 2. 3: Esquemático de la arquitectura de una planta externa.

Fuente: (Vallejo, 2018)

Para la atención de servicios de voz y datos a grandes empresas, la operadora de servicios utiliza cables de fibra óptica distribuidos en la red de acceso, también desde una central telefónica. El esquemático de la figura 2.3 demuestra que los usuarios ubicados a una distancia superior a 4 km de una estación, no podrían ser atendidos por la central telefónica a través de cables metálicos debido a las pérdidas por atenuación, pero tienen condiciones de atención con la utilización de concentradores nombrados Multiplexores Flexibles con Interfaces Normalizadas (MUXFIN) que realizan la interfaz entre señales en el dominio óptico y señales eléctricas, permitiendo que los cables de fibra óptica se utilicen como cables principales y cables de pares metálicos sean designados como cables secundarios o de distribución, a partir de esos equipos. En cualquiera de los casos presentados, se destaca que la red está diseñada para atender servicios de voz y datos

Por otro lado, las empresas de televisión por cable ofrecen la tecnología de cable módem, un servicio de acceso a Internet de banda ancha, basado en la infraestructura de transmisión de televisión pagada. Las redes de televisión por cable utilizan una arquitectura denominada red híbrida de fibra – coaxial (*Hybrid Fiber Coaxial, HFC*). Esta arquitectura, partiendo de las inmediaciones de los clientes, se configura de forma que una serie de residencias, normalmente con un número máximo de 2000 clientes, compartan el mismo cable coaxial, siendo este cable conectado a una fibra óptica alimentadora, la cual sigue hacia un centro de distribución o cabecera principal (Head-end). El cable coaxial funciona de forma similar a la tecnología Ethernet, siendo que una banda típica de 36 Mbps es compartida por todas las residencias. A partir de este punto, el problema más importante a resolver en el área de redes de acceso óptico es el costo de su instalación y operación. De hecho, en Ecuador la instalación de un nuevo cable de fibra óptica con equipo terminal en cada empresa o residencia se convertía en un emprendimiento de creación de los famosos llamados “Cyber”.

La figura 2.4 muestra la forma más simple y, además, la más costosa de instalar, a través del diseño y la implantación de una fibra óptica independiente para cada usuario. La cantidad de fibra óptica necesaria y el número de transmisores de datos (transceptores) en el concentrador de la empresa prestadora de servicios hacen que esta arquitectura sea extremadamente onerosa.



Figura 2. 4: Esquemático de una red de fibra óptica dedicada.

Fuente: (Duque N., 2016)

Elaborado por: Autor.

La figura 2.5 presenta una forma de reducir la cantidad de fibra óptica necesaria a través de la instalación de una sola fibra óptica desde la empresa prestadora de servicios hasta un concentrador cercano a los clientes a partir

del cual la arquitectura sigue siendo la misma que la anterior. El aspecto negativo de este tipo de arquitectura es el posicionamiento del concentrador, situado en la planta externa. Por ser un elemento activo en la red de acceso, es decir, elemento que requiere de alimentación de energía eléctrica con redundancia, en el cual existe la obligatoriedad de los servicios de mantenimiento y supervisión, lo que implica un aumento en los costos de operación de una red.

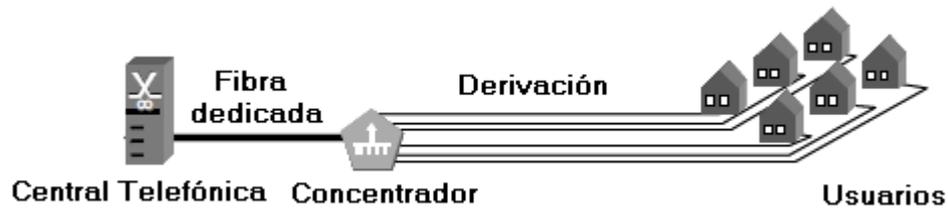


Figura 2. 5: Esquemático de una red óptica conmutada.

Fuente: (Duque N., 2016)

Elaborado por: Autor.

El costo estimado de implementación para este tipo de arquitectura (ver figura 2.5) se sitúa entre \$ 22000 y \$ 28000 por km. En cambio, el costo anual de operación para una línea telefónica normal es de aproximadamente \$ 315. Como ejemplo, se cita que, en Ecuador, grandes empresas pagan por mes el equivalente entre \$ 3200 y \$ 4300 por el uso de una conexión SONET, y \$ 375 al mes por un canal T1. Por lo tanto, este tipo de arquitectura no es posible de ser implementado para pequeñas y medianas empresas y clientes residenciales. La única alternativa posible es compartir los costos entre los clientes; por esto surgen las redes ópticas pasivas (*Passive Optical Network, PON*).

La sustitución del concentrador por un elemento óptico pasivo es la base de una PON. Como se puede observar en la figura 2.6, se proyecta una red punto-multipunto sin elementos activos en la red de acceso, es decir, una red que no necesita energía eléctrica, utilizando solamente fibras ópticas y divisores ópticos pasivos. Una terminal de línea óptica (*Optical Line Terminal, OLT*) transmite una señal en el dominio óptico, que se distribuye a los diversos usuarios a través de los divisores ópticos pasivos y se convierte en un formato electrónico en la unidad de red óptica (*Optical Network Unit, ONU*). La salida

de estos dispositivos proporciona señales eléctricas para los teléfonos, máquinas de fax, ordenadores, televisores y otros equipos en las instalaciones de los clientes.

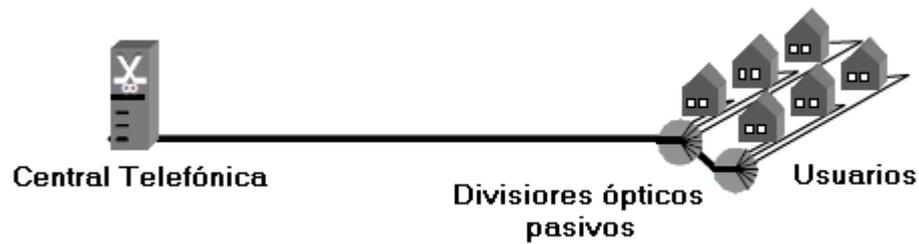


Figura 2. 6: Esquemático de una red óptica pasiva (PON).

Fuente: (Duque N., 2016)

Elaborado por: Autor.

2.3. Red óptica pasiva (PON).

Una PON es una red de acceso en fibra óptica interconectada, en topología estrella y en la configuración punto-multipunto, que posee sólo componentes ópticos pasivos entre el OLT y la ONU. El término pasivo se origina de la principal característica de esta red, ya que no existen elementos activos, es decir, elementos que necesiten de energía eléctrica para su funcionamiento, entre los equipos del cliente y del prestador de servicio, conforme se puede observar en la figura 2.7.

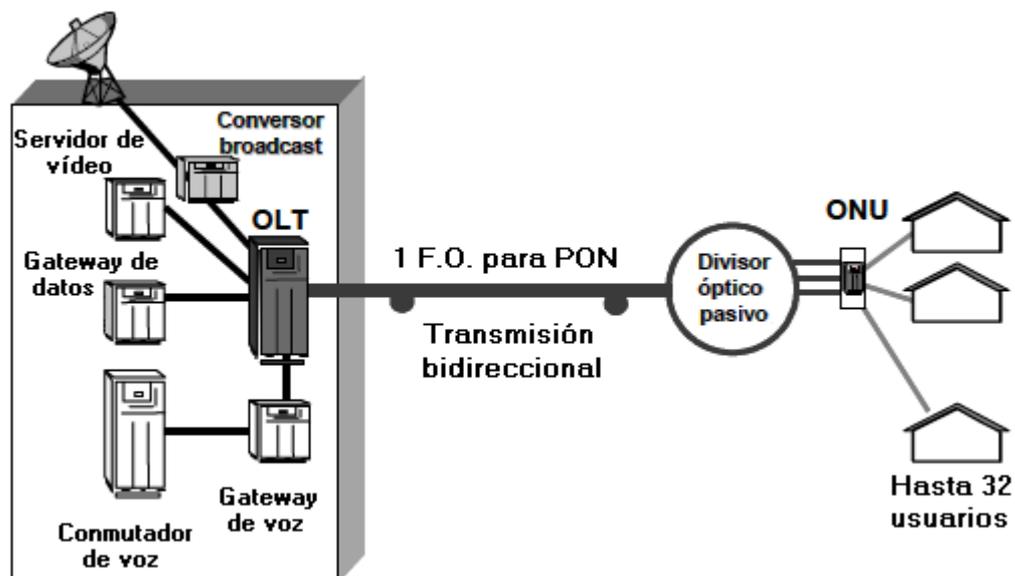


Figura 2. 7: Estructura típica de una red GPON

Fuente: (Cabezas & Pinto, 2014)

Una señal óptica se comparte entre todos los usuarios interconectados por esta red, permitiendo un bajo costo operacional y un número reducido de

eventuales intervenciones de mantenimiento. El elemento que propicia este compartimiento de la fibra óptica es el divisor óptico pasivo que, dependiendo de la dirección de la luz incidente, o divide la señal óptica en una determinada tasa de fraccionamiento y distribuye las señales del OLT a las ONUs o encamina las señales ópticas provenientes de las ONUs a la OLT, a través de las fibras interconectadas a los equipos de los usuarios. El divisor óptico pasivo se puede ubicar en 3 posiciones distintas: dentro del ambiente de la central telefónica, en la planta externa, debidamente protegido contra las intemperies climáticas, o dentro de un edificio.

La arquitectura de una red óptica pasiva requiere de equipos optoelectrónicos activos solamente en los OLTs y ONUs (recepción), para la conversión óptico/eléctrico/óptico (O/E/O) de las señales recibidas en diferentes formatos de transmisión, mientras que los equipos de interconexión, es decir, planta externa de fibras ópticas y los divisores ópticos son componentes pasivos. De esta manera, los OLTs y ONUs poseen ambos equipos de transmisión y recepción, pues ambos presentan los 2 modos de operación.

Un típico transmisor consiste en un diodo láser (*Laser Diode, LD*) que opera con longitud de onda de 1500 nm en el sentido descendente y/o 1.300 nm en el sentido ascendente y demás componentes electrónicos de soporte. Un típico receptor está constituido de un fotodetector tipo PIN (enlaces cortos) o APD (enlaces de largo alcance) y de dispositivos electrónicos de procesamiento.

La fibra óptica tipo monomodo tiene como función interconectar las OLTs con las ONUs, mientras que los divisores ópticos pasivos se caracterizan por la división de las señales ópticas en una determinada tasa de fraccionamiento. Dividir una señal óptica 1:4, por ejemplo, implica que cada señal de salida transporta una cuarta parte de la potencia de entrada. Esto se traduce como una limitación de distancia para la arquitectura PON. Por ejemplo, para un emisor óptico láser de realimentación distribuida (*Distributed FeedBack, DFB*) con longitud de onda 1310 nm (2da ventana), se logra una división de 16 vías

para una longitud de fibra de 24 km. Mientras que, para una división de 32 vías, la longitud disminuye a 14 km.

La arquitectura PON comparte dispositivos de red con una determinada cantidad de usuarios, permitiendo a la empresa proveedora de red dividir los costos de instalación y operación. Como no existen dispositivos activos dispuestos en planta externa de la red de acceso de fibra, el mantenimiento en el campo es simplificado y, por lo tanto, el costo operacional se minimiza. En la figura 2.8 se muestra una arquitectura básica de PON, así como la estrategia de aproximación de las ONUs a los usuarios, es decir, traer la fibra óptica más cercana al usuario y consecuentemente disminuir el volumen y extensión de la red metálica en el acceso. Esta es la fase inicial de FTTx denominado fibra a la cabina (*Fiber To The Cabinet, FTTCab*), donde la ONU está ubicada en un armario de distribución situado en un pedestal en la acera o fijado en el poste de telefonía o de energía eléctrica.

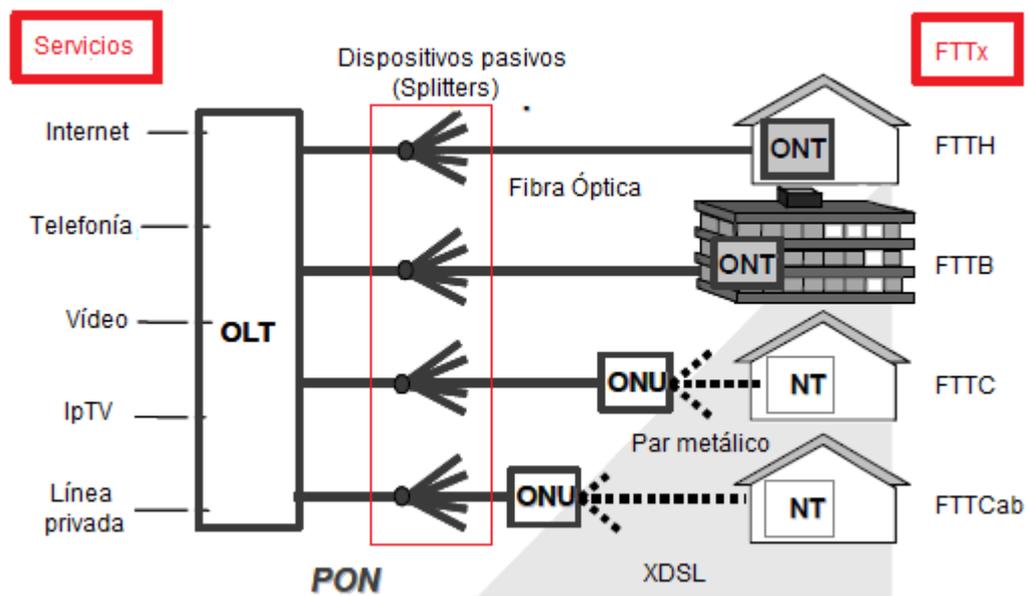


Figura 2. 8: Esquemático de una red óptica pasiva (PON).
Fuente: (Cevallos S. & Coronel A., 2014)

La segunda fase, fue caracterizada como FTTC, donde la ONU está ubicada en la misma cuadra del usuario, es decir, en sus inmediaciones. La tercera fase, y, también, la última fase es identificada como FTTB y FTTH, donde la ONU está instalada dentro del ambiente del usuario, condición en que la red de acceso está constituida totalmente por cable de fibra óptica. Se

puede observar en la figura 3.6 que el dispositivo ONT sustituye al dispositivo ONU dentro del ambiente del usuario.

2.4. Concepto de la ATM-PON

Cuando el grupo FSAN fue organizado en 1995, el modo de transferencia asíncrona (Asynchronous Transfer Mode, ATM) era considerado el mejor sistema de transporte (e incluso el único) que soportaba simultáneamente la transmisión de voz, datos y vídeo. El formato APON utilizado por el FSAN y aceptado por el ITU-T, según recomendación G.983, enfoca aplicaciones residenciales utilizando fibra óptica tipo monomodo con distancia entre OLT y ONT limitada a 20 km, en un número máximo de 32 ONTs, y valores de tasas de transferencia de la especificación ATM, de 155,52 Mbps o 622,08 Mbps en el sentido descendente (downstream) con tráfico continuo de datos, y 155,52 Mbps en el sentido ascendente (upstream) con característica de tráfico en forma de ráfagas. (Nam Jae-Hyun, Jang Jong-Wook, & Lee Jung-Tae, 1998)

La estructura de trama en downstream se compone de células con 53 bytes cada una, de las celdas ATM o, además, de las celdas adicionales denominada operación, administración y mantenimiento de la capa física (*Physical Layer Operation, Administration and Maintenance, PLOAM*) insertadas en la estructura cada 28 ranuras y responsables de la asignación del ancho de banda, sincronización, control de errores, seguridad, alcance y mantenimiento, que asciende a una tasa de 155.52 Mbps para tramas de 54 y 2 celdas ATM y PLOAM, respectivamente; mientras que una tasa de bits de 622.08 Mbps, ocurre para tramas de 216 y 8 celdas ATM y PLOAM, respectivamente. Para la estructura de la trama en upstream el formato se caracteriza por 53 celdas ATM de 56 bytes, cada una con un encabezado de 3 bytes que contiene un mínimo de 4 bits de tiempo de guarda, lo que permite garantizar un intervalo de tiempo en la prevención de colisiones con celdas de otros ONTs.

La figura 2.9 muestra la trama básica para una tasa de bits de 155.52 Mbps, y se nota una disminución en la capacidad de carga útil en la dirección

downstream de 155.52 Mbps a 149.97 Mbps, que corresponden a 54 y 2 celdas ATM y PLOAM, respectivamente localizadas al principio y centro de la trama. Las celdas PLOAM cuenta con permisos relacionados con las celdas específicas dentro de la trama superior, así como al código de detección de errores redundantes (*Cyclic Redundancy Check, CRC*), a los mensajes de operación, administración, mantenimiento y aprovisionamiento, (OAM&P).

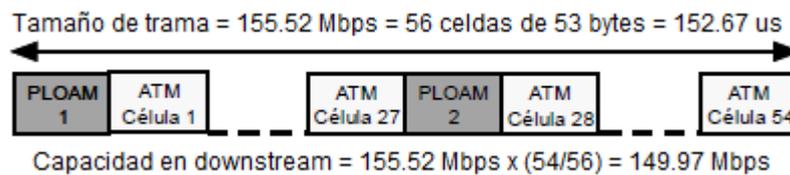


Figura 2. 9: Formato básico de la trama APON en sentido downstream.
Fuente: (Lam, 2007)

La tasa bits en la dirección upstream disminuye a 149.19 Mbps, debido a la disposición del encabezado de 3 bytes por celda ATM (véase la figura 2.10) y que se denomina PLOAM 2. En esta parte, se enfatiza que para enviar celdas ATM requiere de autorización concedida por parte de la OLT, mediante las celdas PLOAM en la dirección downstream. Mientras tanto, el enrutamiento de celdas PLOAM obedece a una tasa programada. Finalmente, para celdas PLOAM 2 se tienen 3 bytes que constituyen 4 bits de tiempo de guardado y 20 bits de los campos de preámbulo y delimitación. Por tanto, el campo preámbulo es utilizado para admitir la sincronización de bits, y el campo de delimitación es utilizado para indicar el inicio de la celda.

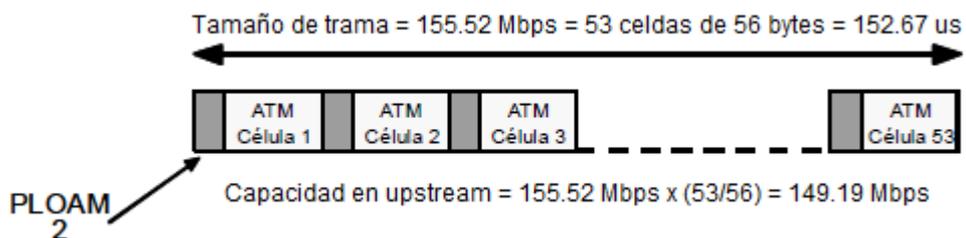


Figura 2. 10: Formato básico de la trama APON en sentido upstream.
Fuente: (Lam, 2007)

Para la comunicación en la capa ATM se utilizan rutas virtuales (*Virtual Path, VP*) tanto para las OLTs y ONTs. De esta manera, utiliza un encabezado de 5 bytes por celda ATM con campo de direccionamiento de 28 bits asociado con un identificador de ruta virtual (*VPI*) de 12 bits y un identificador de canal virtual (*VCI*) de 16 bits, el OLT envía un mensaje al ONT notificándolo a

aceptar celdas que contengan un determinado VPI/VCI. (Kang, Kim, & Yoo, 2001)

La función de optimización de transporte en dirección upstream, llamada DBA, permite la asignación de diferentes tipos de tráfico en redes APON logrando así disminuir el tráfico total. Se pueden dar 3 tipos diferentes de tráfico producidos en 3 ONTs, tales como:

- a. método de ráfaga (burst), típica de aplicaciones de vídeo digital;
- b. ráfaga, para un ancho de banda disponible, típico de una LAN; y
- c. servicio de emulación de circuitos (*Circuit Emulation Service, CES*), típico de tráficos con tasa de bits constantes generadas por circuitos de multiplexación por división de tiempo (*Time Division Multiplexing, TDM*).

En la asignación estática de ancho de banda, los servicios ya mencionados son transportados sobre un canal predeterminado. La función DBA converge todo el tráfico del usuario a un único canal, permitiendo que el ancho de banda no utilizado por un usuario esté disponible para cualquier otro usuario. Esta asignación compartida reserva un número mayor de usuarios en cada canal, con ocupación automática del ancho de banda disponible en el caso del término de la transmisión de un usuario, así como reubicación de ancho de banda en el caso de retorno de ese mismo usuario, configurando un acceso dinámico a la red capa de conexión con servicio de tráfico bajo demanda.

A través de la implementación de la función DBA, la OLT informa a la ONT qué volumen de tráfico debe transmitir en sentido upstream según el acuerdo de nivel de servicio (*Service Level Agreement, SLA*) para cada una de las conexiones individuales, así como la prioridad de esta conexión y el ancho de banda disponible en la conexión APON. La codificación de los datos, tanto en el sentido downstream como upstream, obedece a la codificación de no retorno a cero (*No Return Zero, NRZ*), con la siguiente convención:

- a. nivel alto de la señal en el dominio óptico para un "1" binario;
- b. nivel bajo de la señal en el dominio óptico para un "0" binario.

Las figuras 2.11 y 2.12 muestran el modo de funcionamiento de las celdas en APON, tanto para los sentidos downstream y upstream. En APON se utiliza una fibra óptica para ambos sentidos. También, se utilizan dos longitudes de onda, 1550 nm para dirección upstream a través de la técnica TDM, y 1310 nm para dirección downstream a través del acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access - TDMA*), estableciendo el protocolo para soportar la transmisión multipunto-punto.

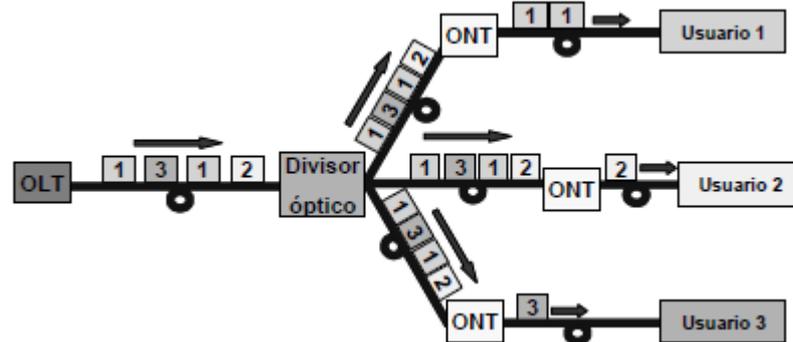


Figura 2. 11: Fases de funcionamiento de las celdas APON en sentido downstream.
Fuente: (Robles C., 2017)
Elaborado por: Autor.

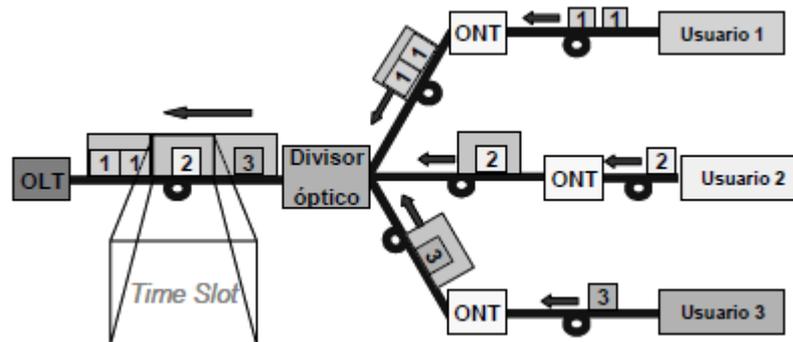


Figura 2. 12: Fases de funcionamiento de las celdas APON en sentido upstream.
Fuente: (Robles C., 2017)
Elaborado por: Autor.

Aunque una misma longitud de onda también puede usarse, en general, dos longitudes de onda proporcionan un mejor aislamiento óptico entre transmisores y receptores. Básicamente, la OLT debe determinar la distancia y ubicación de todos los ONTs, para que puedan ser asignados los intervalos de tiempo (*time slots*), a través de un proceso de medición denominado rango, permitiendo la transmisión entre un ONT específico y OLT sin interferencia en los otros ONTs.

En virtud de la configuración natural de la emisión de PON, las técnicas de encriptación se requieren obligatoriamente, por ejemplo, de la implementación de la función de *churning*, definida en la recomendación ITU-T G.983. Esencialmente, una ONT genera una clave criptográfica enviada en la dirección upstream hacia la OLT, que a su vez usa la llave churning para mezclar el tráfico downstream destinado a la ONT. Esto garantiza que, aunque todos los ONTs reciban en broadcast el tráfico indirecto, sólo la ONT destinada recibirá el mensaje que será capaz de decodificar el tráfico. En intervalos periódicos, la OLT pedirá a la ONT que éste gestione una nueva clave de churning, a fin de garantizar la continuidad de la privacidad del tráfico.

Por lo tanto, desde el punto de vista técnico, APON provee características de operación, administración y mantenimiento, incluyendo monitoreo de la tasa de error de bits (*Bit Error Rate, BER*), alarmas y defectos, alcance automático y variable, como un mecanismo de seguridad para la criptografía tráfico indirecto.

En el aspecto económico, la arquitectura PON tiene como principal mérito una reducción de los costos en la construcción de redes de acceso, aumentando la banda óptica disponible sin la necesidad del aumento del número de componentes ópticos en la red, como láseres y amplificadores. En términos de costos de instalación, en una APON, considerando la infraestructura de ductos ya existente, se contabiliza el 50% del costo como correspondiente al equipo activo (OLT y ONTs) y el 50% referente a los componentes pasivos (fibras ópticas y divisores ópticos pasivos), mientras que las fibras ópticas corresponden al 70% de este total.

El uso del término APON suponía que sólo los servicios ATM podrían ser atendidos. En consecuencia, el grupo FSAN decidió lanzar el nombre BPON. La propuesta del sistema BPON es ofrecer servicios de banda ancha incluyendo, acceso Ethernet y distribución de vídeo. Las redes BPON son definidas por la FSAN y los comités del ITU-T, comprendiendo tanto proveedores de equipos como proveedores de servicios.

2.5. Concepto de GPON.

El grupo FSAN decidió, en 2001, iniciar estudios para estandarizar las redes PON operando en tasas por encima de 1 Gbps, con el objetivo de soportar múltiples servicios y funcionalidades OAM&P. Como resultado, en marzo de 2003 fue estandarizada por ITU-T la tecnología GPON, perfeccionando el formato APON anteriormente especificado, con énfasis en servicios de datos y TDM en los formatos nativos. Los estándares de GPON se conocen como recomendaciones ITU-T de la serie G.984. Las recomendaciones G.984.1 y G.984.2, tratan del medio físico y de los requisitos de los servicios. La recomendación G.984.3, cuando se aprueba, la capa comprende el procesamiento de las tramas denominadas convergencia de transmisión GPON (*Gpon Transmission Convergence, GTC*), mensajes, método de alcance automático, funcionalidad OAM y seguridad.

La figura 2.13 muestra los servicios de la tecnología GPON, donde se destaca la unidad del método de encapsulación de GPON (*Gpon Encapsulation Method, GEM*), encargada de encapsular paquetes Ethernet y TDM para downstream y realiza la extracción de paquetes para upstream.

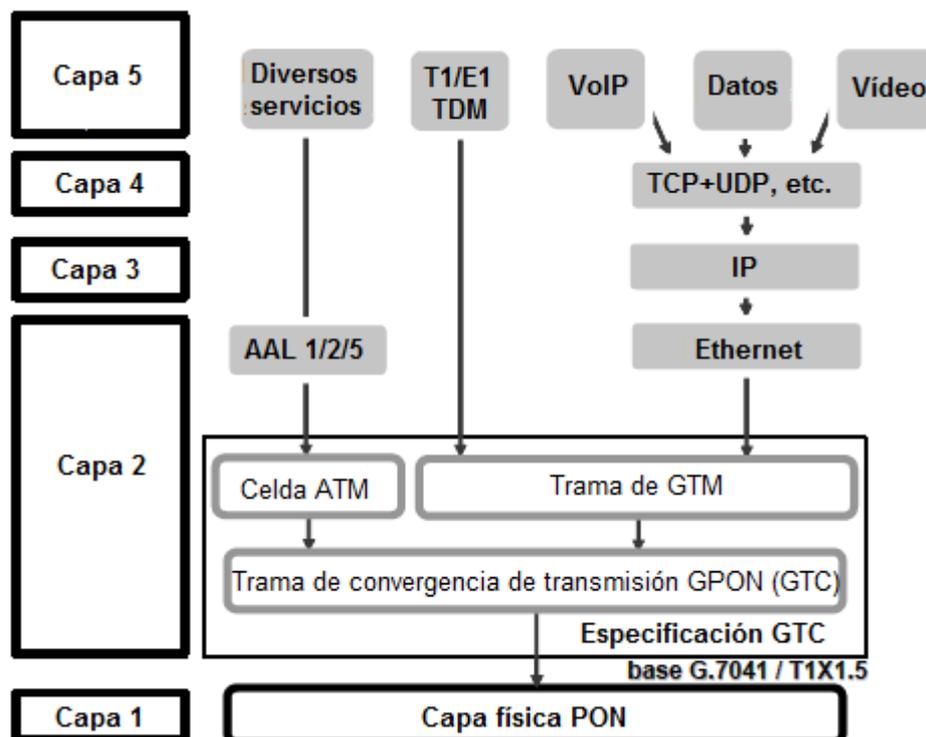


Figura 2. 13: Modelo de capas para servicios atendidos para GPON.

Fuente: (Lam, 2007; Robles C., 2017)

Es importante señalar que, en términos de gestión, GPON establece, por encima de la capa física, siendo equivalente a la capa 2 del modelo de OSI, denominada convergencia de transmisión (*Transmission Convergence, TC*), en el cual se procesan tramas GTC, que se prestan a encaminar informaciones entre la estación de administración de la red, la OLT y las ONUs. De tal manera, que la trama GTC se monta con paquetes GEM, en la dirección downstream. En la dirección contraria (upstream) los paquetes GEM se extraen de la trama GTC. Existen tres mecanismos previstos para el control y la gestión del sistema GTC: mensajes de operación, administración y mantenimiento (OAM), PLOAM, y OMCI.

En términos de tasas de transmisión, el estándar GPON opera con valores simétricos de 622 Mbps, es decir 1.25 Gbps simétrico, y asimétrico con 2.5 Gbps en sentido downstream y 1.25 Gbps en sentido upstream, establecidos en la Recomendación G.982 – Redes de acceso óptico para soportar servicios hasta la velocidad primaria RDSI o tasas de bits equivalentes.

La figura 2.14 muestra el formato de la trama característica de la tecnología GPON en dirección downstream, ilustrando, de modo simplificado, el conjunto formado por el encabezado y carga útil con longitud variable, para cada trama asociado al intervalo de tiempo de 125 μ s. En este ejemplo, se muestra la carga útil de una de las tramas a través de las celdas ATM, de los fragmentos TDM y los paquetes de datos.

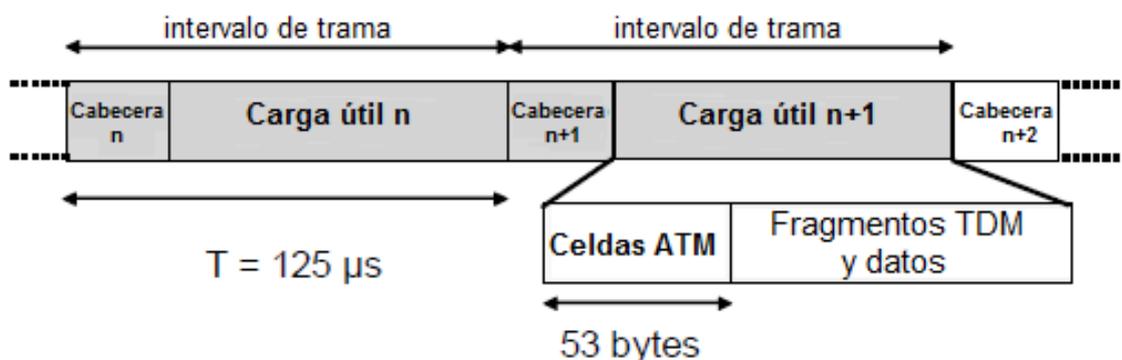


Figura 2. 14: Formato de tramas en sentido downstream para GPON.
Fuente: (García Y., 2014)

La figura 2.15 muestra el formato de trama en el sentido ascendente, en el que se observa que cada ONT tiene su respectivo intervalo de tiempo para el enrutamiento de información a la OLT, y cuya carga útil abarca contenidos diversificados, como por ejemplo fragmentos de TDM y Ethernet, que resultantes del mecanismo de encapsulación ya mencionado.



Figura 2. 15: Formato de tramas en sentido upstream para GPON.
Fuente: (García Y., 2014)

2.6. Actividades del grupo Ethernet en la primera milla.

Ethernet es un protocolo desarrollado para redes de área local (*Local Area Network, LAN*) que está conquistando las redes de área metropolitana (*Metropolitan Area Network, MAN*) y redes de área amplia (*Wide Area Network, WAN*). Debido a la gran cantidad de proveedores de servicios Ethernet, y de la creación de redes basadas en Ethernet se puede reducir los costos. Además, las aplicaciones están recurriendo al protocolo de internet (Internet Protocol, IP). Por ejemplo, VoIP, crecimiento de tráfico de Internet, aumento en la popularidad de juegos en línea y así sucesivamente. De esta forma, la conversión de formato de datos IP en el entorno Ethernet se logra incrementar el rendimiento de la transmisión, además de reducir los costos.

Bajo este enfoque, el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), específicamente en el grupo de trabajo de detección de portadora de acceso múltiple con detección de colisiones denominado IEEE 802.3 CSMA/CD, que se celebró una reunión en noviembre de 2000 con la finalidad de unificar las arquitecturas tanto para redes de cobre y de fibra óptica en topologías punto a punto y punto a multipunto, que permita converger a la estructura de servicio Ethernet. Para julio de 2001, la IEEE aprobó

oficialmente la solicitud de autorización de instalación del grupo de estudio de ethernet en la primera milla que se denominó IEEE 802.3ah EFM.

El grupo de trabajo EFM se enfocaba en la arquitectura de fibra óptica utilizando topología punto-multipunto que llevaron a la estandarización de una red óptica basada en Ethernet, logrando optimizar el protocolo cuyo documento fue aprobado en junio de 2004.

Capítulo 3: Diseño y resultados obtenidos.

3.1. Simulación GPON/FTTH

La búsqueda de una herramienta específica puede a veces convertirse en un desafío debido a las inmensas aplicaciones existentes en Internet. Sin embargo, la mayoría de las empresas que están en el ámbito de las comunicaciones ópticas y que también hacen proyectos para FTTH tienen herramientas para planeamientos y pruebas que eventualmente podrán hacer mucho más que una simple simulación. Es que estas herramientas son exclusivas o necesitan ser adquiridas. La herramienta utilizada para realizar la simulación del presente trabajo de titulación fue la plataforma OptiSystem 8.0 de Optiwave Systems Inc. en su versión de prueba.

Una vez que no se puede realizar pruebas en el campo con equipos GPON, se pretende que la siguiente simulación obtenga una vertiente más aproximada del real funcionamiento de una conexión GPON con 2.5 Gbps downstream y 1.25 Gbps upstream, desde el OLT hasta la ONU. Se consideró sólo una fibra óptica para transportar la señal en ambos sentidos, simulando el trayecto estudiado para calcular el balance de potencia del mismo, obteniéndose así otra fuente de datos para la comparación de valores. El trayecto estudiado, es el de mayor pérdida en el área elegida, ya que es el recorrido en que la distancia entre el CO y el PDO470/8.

3.2. Diseño del escenario de simulación de la red FTTH.

La aplicación tiene un entorno gráfico similar a la herramienta de simulación MatLab, lo que en cierto modo ayuda a tener un mejor enfoque durante su utilización. La presente simulación tiene como objetivo demostrar todo lo que se ha estudiado anteriormente sobre el estándar de la ITU-T G.984, es decir, que para una conexión GPON desde el OLT a través del ODN, o el canal de transmisión hasta la ONU, colocado en el otro extremo. El trayecto fue considerado anteriormente para un cálculo teórico del balance de potencia para poder comparar con valores proyectados con los obtenidos en la simulación.

La figura 3.1 muestra los parámetros principales del modelado de GPON/FTTH. La tasa de bits del proyecto es de $2,5 \times 10^{+9}$ bps con una ventana de tiempo de 0,41 μ s y una tasa de muestreo de 80 GHz, cada secuencia con una longitud de 1024 bits y 32 muestras/bit. La ventana de tiempo de simulación es compartida por todos los elementos de la simulación y se define el espaciamiento de frecuencia en el dominio de la frecuencia, lo que implica que la señal muestreada tendrá siempre el mismo espaciamiento.

La tasa de muestreo especifica la ventana de simulación de la frecuencia o sea el ancho de banda en Hz. La longitud de la secuencia es la cantidad de bits utilizados en potencias de 2. El número de muestras por bit se utiliza para convertir la señal muestreada a una señal discreta, siendo también potencia de 2. El número de muestras es obtenido por el producto entre el número de muestras y el número de la longitud de la secuencia.

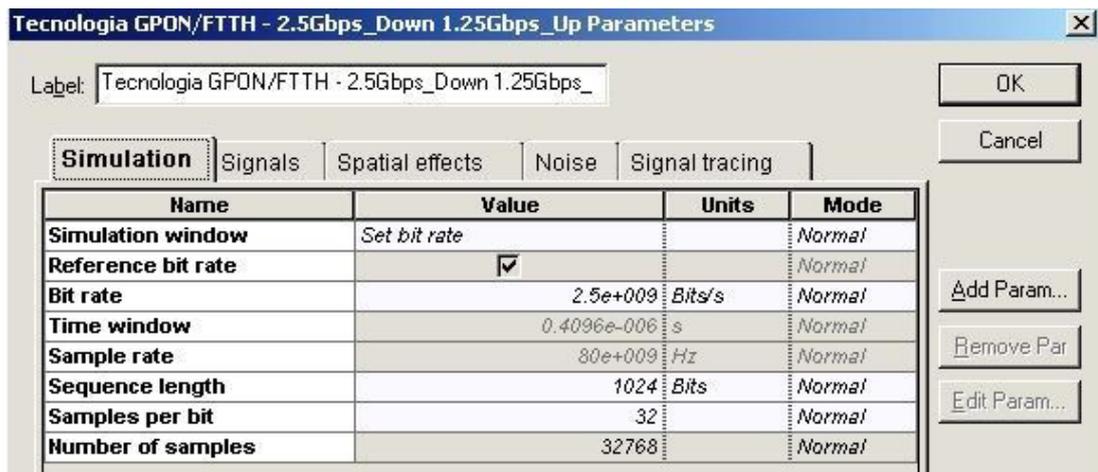


Figura 3. 1: Parámetros de simulación del modelado de red FTTH.

Elaborado por: El Autor

Después de finalizar el diseño del modelado de GPON/FTTH que se observa en la figura 3.3, y durante las varias pruebas (test) realizadas para obtener los resultados (procedimiento detallado más adelante), fue necesario ejecutar la simulación varias veces. Se pretende de una manera simple describir cómo se ha hecho este proceso. Básicamente con el diseño del modelado terminado, basta con ir a File» Calculate. Durante el cálculo de la simulación se muestra una ventana con tres separadores, como se puede ver en la figura 3.2, en la que el separador principal <<Calc. Output>> indica qué elemento se está calculando. Sin embargo, cambiando a la pestaña <<Calc.

Schedulers>> se observa de forma más detallada el cálculo del elemento. Después de haber realizado todos los cálculos de los diversos elementos, se efectúa un barrido en los bloques de análisis, como por ejemplo el medidor de potencia. Una vez finalizado el proceso de cálculo del proyecto, se pueden verificar y analizar los resultados obtenidos y a partir de ahí sacar conclusiones.

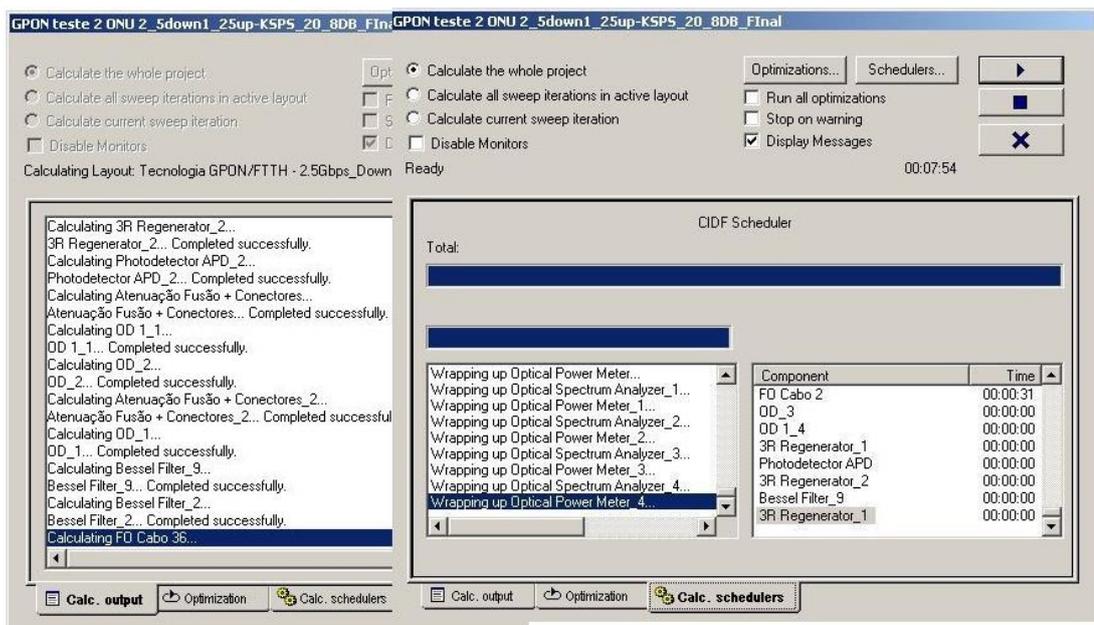


Figura 3. 2: Ventana de configuración de cálculos
Elaborado por: El Autor

El esquema de la figura 3.3 muestra el circuito diseñado en OptiSystem. En él se encuentran varias partes del circuito que serán descritas más adelante elemento a elemento. Los elementos que constituyen el terminal de línea óptica (*Optical Line Termination, OLT*) se señalan en el rectángulo rojo; en la elipse azul se tienen los diversos elementos que forman parte de la red de distribución óptica (*Optical Distribution Network, ODN*), en particular el cable de fibra óptica de la red de alimentación, que va desde el OLT hasta el repartidor óptico, y finalmente, en el círculo señalado de naranja se tiene el conjunto final de elementos de la red de distribución que va desde el repartidor óptico hasta la unidad de red óptica (*Optical Network Unit, ONU*). También es posible verificar que a lo largo de varios puntos del circuito se colocaron dos bloques de análisis, tales como medidores de potencia óptica y analizadores de espectro, permitiendo la obtención de información a lo largo del sistema óptico.

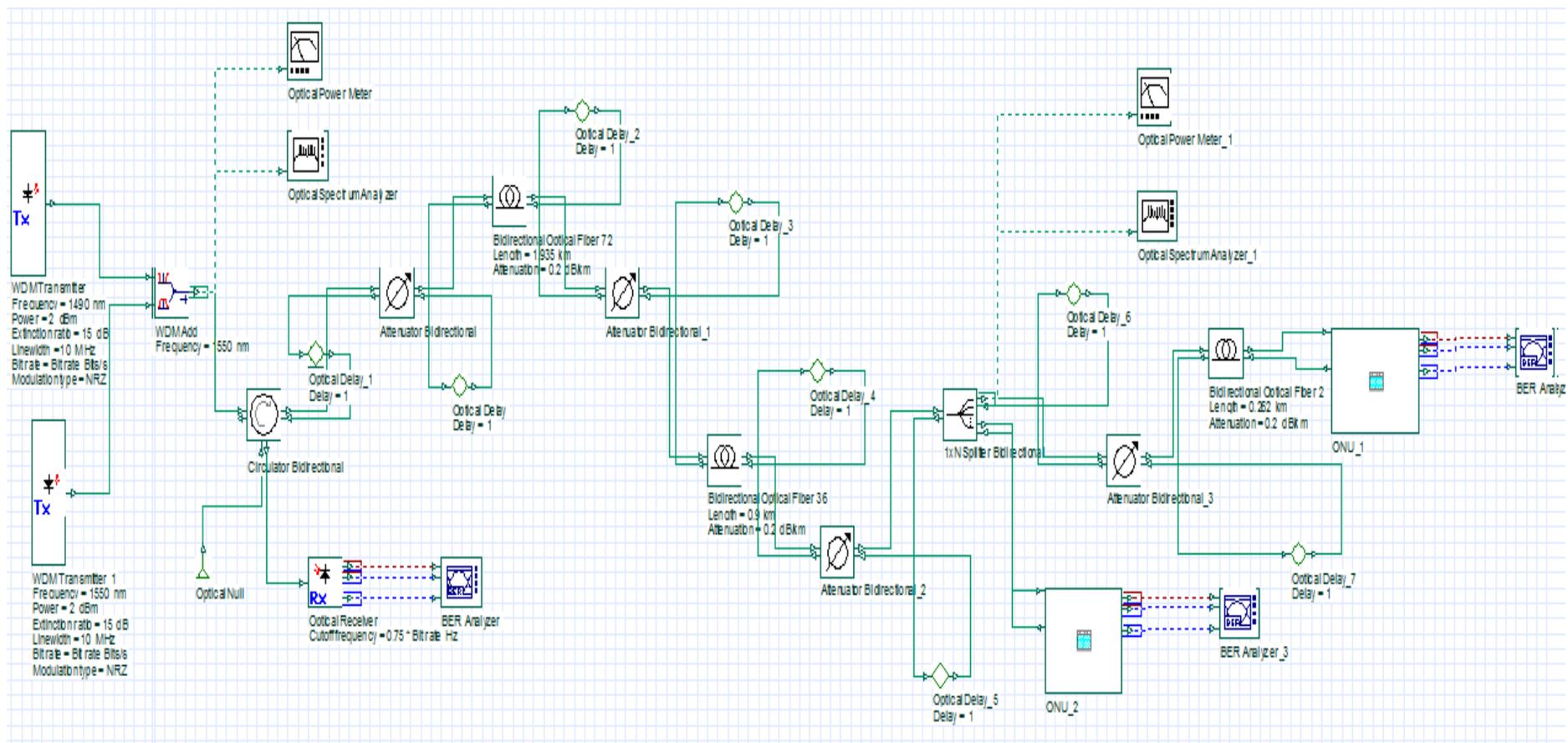


Figura 3. 3: Diseño general de la red GPON/FTTH

Elaborado por: El Autor

3.3. Procedimiento de la red FTTH.

De una forma muy general, cualquier equipo óptico, y específicamente en este caso de estudio el OLT y la ONU, contienen un transmisor y un receptor óptico de acuerdo con el esquema que se muestra en la figura 3.4.

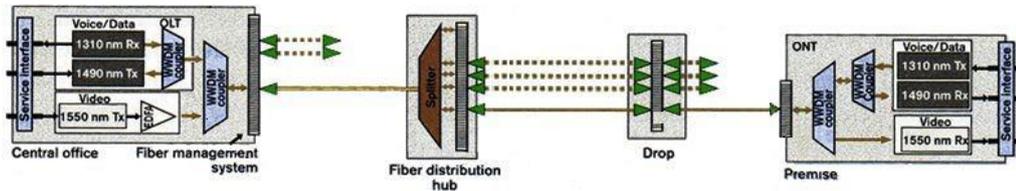


Figura 3. 4: Esquemático básico de la conectividad entre OLTs y ONUs.

Elaborado por: El Autor

Básicamente la simulación consistirá en tres módulos:

1. En el primer módulo el OLT está constituido por dos transmisores ópticos, uno para transmitir en la longitud de onda de 1490 nm, otro para transmitir en la longitud de onda de 1550nm; y un fotodetector para recibir la señal ascendente (upstream) en la longitud de onda de 1310 nm;
2. El segundo módulo es establecido por el propio circuito de fibra óptica en que fue considerado el tramo de alimentación que va desde el OLT hasta el PT, más específicamente donde está situado el repartidor óptico y el tramo de distribución.
3. El tercer módulo consiste en la ONU situada en la residencia del usuario final constituida por dos fotodetectores de tipo APD, uno para la longitud de onda de 1490 nm y 1550 nm para recibir las señales ópticas, y un transmisor óptico para transmitir en la longitud de onda de los 1310 nm.

Para conocer el uso de la plataforma de simulación se ha experimentado y se han corregido algunos de los archivos con proyectos ya predefinidos. También, se recurrió a tutoriales que ya venían junto con la documentación suministrada, y archivos con proyectos sobre el balance de potencia y también sobre un sistema BPON de 622 Mbps proporcionado por el simulador OptiSystem.

3.4. Circuito descendente 2,5 Gbps

Inicialmente se creó un nuevo proyecto en OptiSystem, en el que colocaron diversos elementos ópticos. En la parte referente al OLT se colocaron dos transmisores ópticos de multiplexación por división de longitud de onda (*Wavelength Division Multiplexing, WDM*) (véase la figura 3.5) con las siguientes definiciones: el primero con longitud de onda de 1490 nm para simular el tráfico descendente (downstream); el segundo con longitud de onda de 1550 nm para simular la señal de vídeo analógica, ambos con una potencia de la señal óptica de entrada de 2 dBm, una relación de atenuación de 15 dB. La velocidad de transmisión de datos es 2.5 Gbps, con una codificación NRZ.

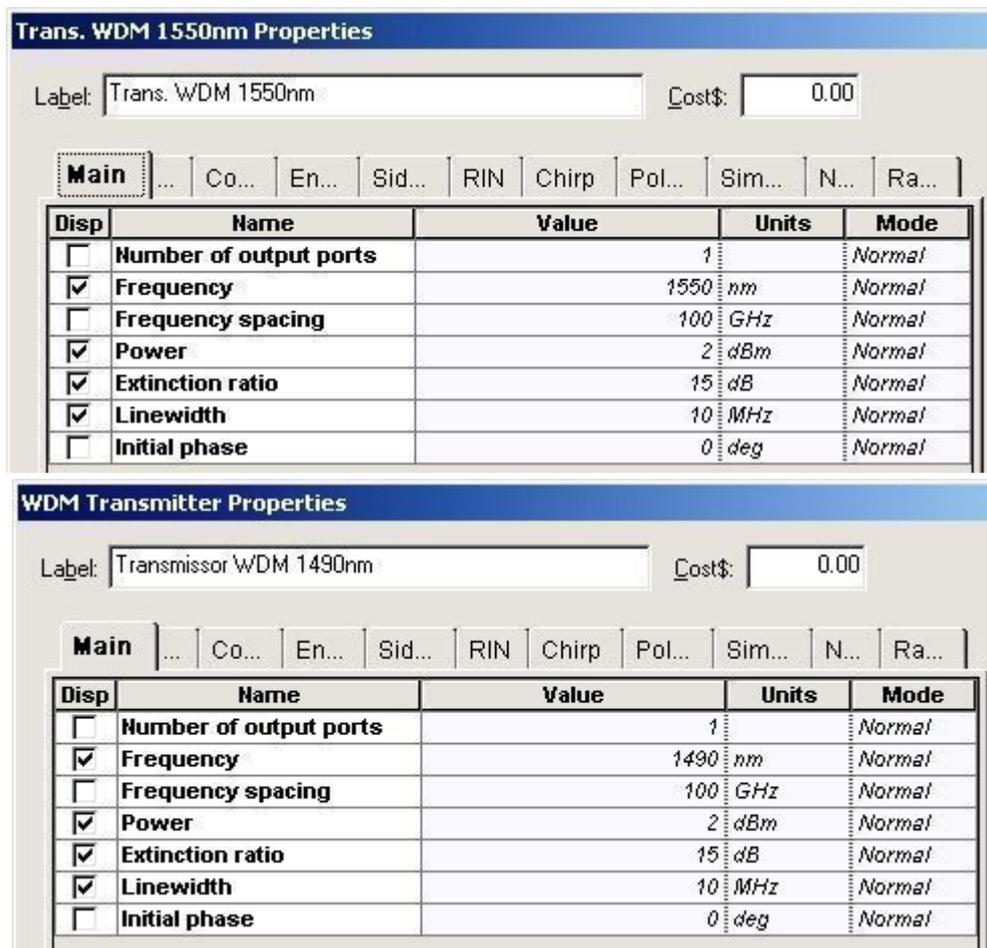


Figura 3. 5: Configuración de propiedades de los transmisores WDM.
Elaborado por: El Autor

Para juntar las dos señales en la misma fibra óptica se colocó una etiqueta <<WDM Add>>, donde se pretende juntar la longitud de onda de 1490 nm con 1550 nm en la misma fibra. En la figura 3.6 se tiene una vista previa del bloque WDM Add y sus propiedades. Se considera a este elemento óptico

sin atenuación pues forma parte de un solo elemento, el OLT, el cual ya tiene una atenuación global definida.

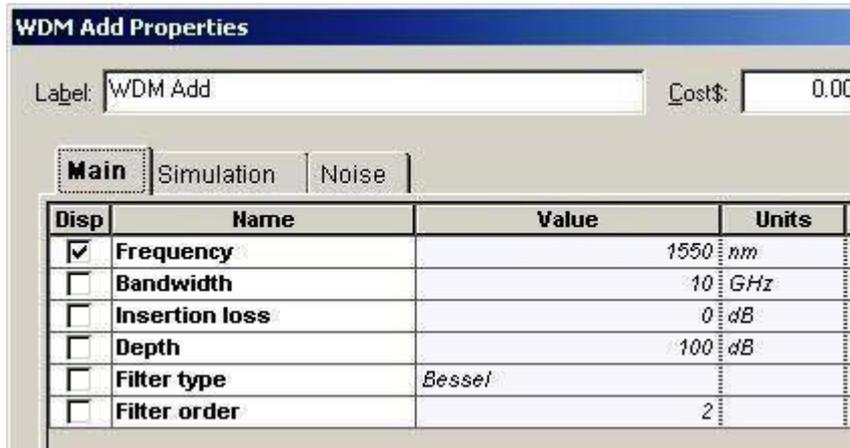


Figura 3. 6: Configuración de propiedades del transmisor óptico WDM Add.
Elaborado por: El Autor

A continuación, se coloca a la salida del bloque WDM Add un medidor de potencia óptica para observar la potencia medida representada en la figura 3.7.



Figura 3. 7: Medición de la potencia óptica del bloque WDM Add.
Elaborado por: El Autor

El siguiente elemento es un circulador óptico bidireccional, lo que permite que se haga la transmisión upstream y downstream en la misma fibra óptica, de lo contrario no sería posible obtener la señal upstream de la ONU con longitud de onda de 1310 nm de 1 a 2, tal como se observa en la figura 3.8. Sin embargo, este elemento introduce una atenuación, la cual fue estimada en 1.5 dB.

Se colocó en la salida del circulador, un analizador de espectro óptico y un medidor de potencia óptica para su visualización, tal como se muestra en la figura 3.8, el efecto atenuante del circulador que se puede comprobar haciendo la diferencia entre los dos medidores de potencia óptica.



Figura 3. 8: Configuración de propiedades del circulator bidireccional.
Elaborado por: El Autor



Figura 3. 9: Medición de la potencia óptica del bloque circulator bidireccional.
Elaborado por: El Autor

A continuación, se describe la ecuación de la atenuación del circulator bidireccional y su valor teórico:

$$A_C = A_{S-WDM} - A_{S-C}$$

Donde,

A_C , es la atenuación del circulator bidireccional.

A_{S-WDM} , es la atenuación de la señal de entrada (salida de WDM Add).

A_{S-C} , es la atenuación de la señal de salida en el circulator bidireccional.

$$A_C = 2.087 \text{ dBm} - 0.586 \text{ dBm} = 1.501 \text{ dBm}$$

A partir de este punto el circuito se piensa como si fuera la salida del OLT hacia la parte de la red de alimentación. Se compone en su mayoría por el cable de fibra óptica con una atenuación de aproximadamente 0.2 dB/km para una fibra monomodo de acuerdo con la norma G.657, los pares de conectores con una atenuación de 0.3 dB y fusiones térmicas con un valor de 0.1 dB, obteniéndose una atenuación total de 0.4 dB en cada bloque. Al acceder a las propiedades de cualquiera de los bloques de fibra óptica, existen varios detalles sobre la propia fibra, pudiendo, a partir de un elemento ideal,

construir un elemento más real, editando las propiedades. Contiene varias fichas, siendo que el principal, presenta los parámetros tales como longitudes de onda de referencia, distancia y atenuación. Los demás separadores contienen características de las fibras tales como la dispersión y el modo dependiente de la polarización, tal como se muestra en la figura 3.10.

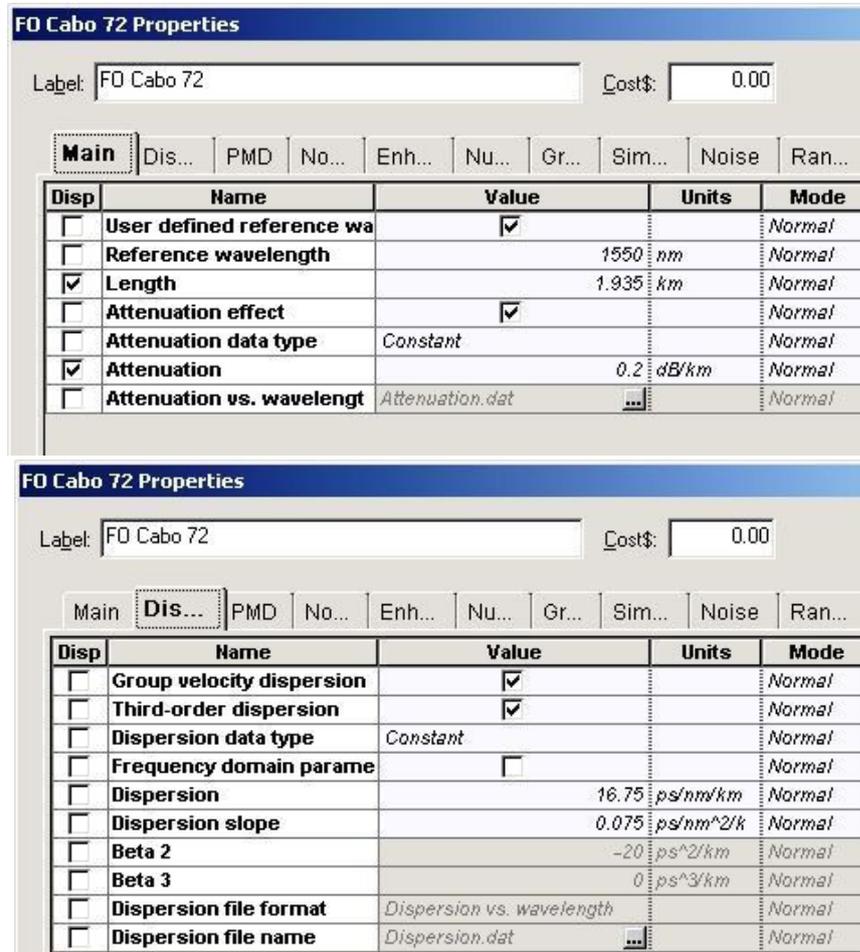


Figura 3. 10: Propiedades del cable de fibra óptica.

Elaborado por: El Autor

El trayecto considerado está esencialmente compuesto por el cable de fibra óptica desde el circulador hasta el repartidor óptico, ya que se considera sólo el punto más lejano; también se tuvieron en cuenta los cambios de un cable a otro, pasando de 72 fibras a 36 fibras, con las correspondientes fusiones, caracterizado en la figura 3.11. Para observar su comportamiento, se colocó nuevamente un analizador de espectros, donde sería posible confirmar, inicialmente, si la longitud de onda se mantenía inalterada y por otro lado verificar la variación de la potencia.

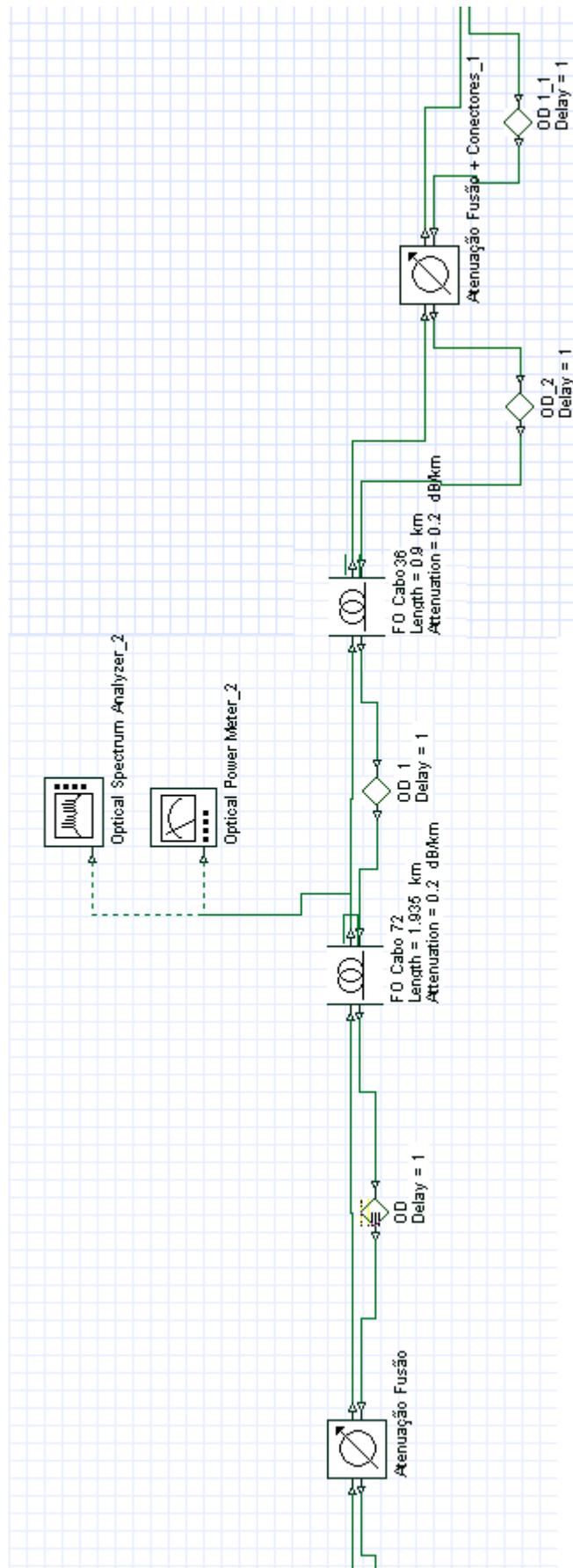


Figura 3. 11: Red de alimentación de GPON.
Elaborado por: El Autor

Se colocó también un medidor de potencia en la salida del cable de 72 fibras ópticas, donde se comparó y se verificó con el valor del medidor de potencia anterior y se obtuvo el valor total de la atenuación de la fibra, de los pares de conectores y fusiones térmicas para el recorrido dividido en dos partes. El cable de 72 fibras con una distancia de 1.935 km y la segunda parte el cable de 36 con 0.9 km hasta el PT (en este caso F-SM 470) que sería donde quedaría el repartidor óptico. El valor de potencia obtenido en la salida del circulador fue 0.586 dBm, considerando igualmente el medidor óptico de la figura 3.12 con un valor de -0.2 dBm.

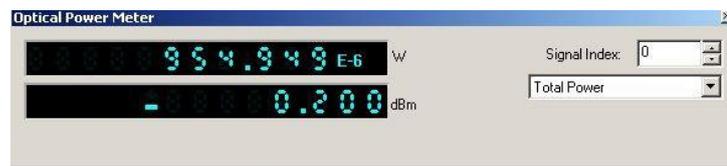


Figura 3. 12: Medidor de potencia a la salida del repartidor óptico.
Elaborado por: El Autor

A continuación se analiza el splitter o repartidor óptico que quedaría situado en el PT, considerando un valor de 1:64, sin embargo, para simplificar la simulación se insertó un repartidor 1:2 con el valor de atenuación de un repartidor 1:64. El valor de la atenuación propuesta por los fabricantes para un repartidor óptico de 1:64 es alrededor de 20.8 dB, valor que se insertó en el repartidor 1:2, tal como se muestra en la figura 3.13.

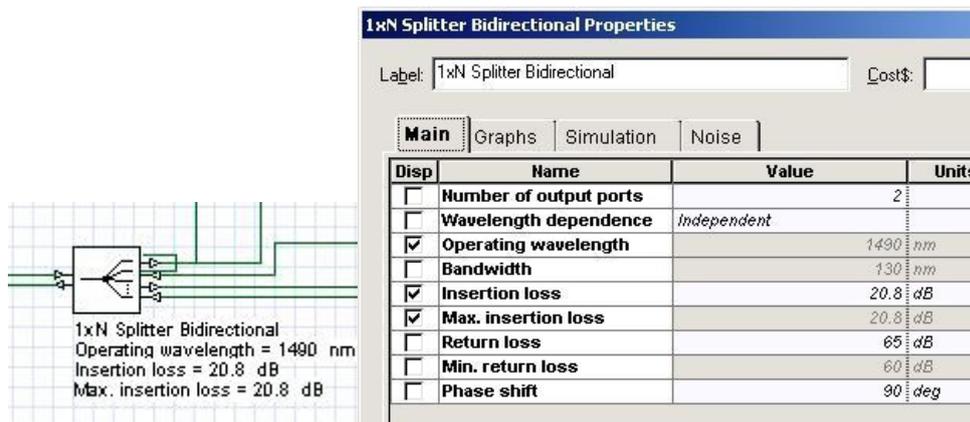


Figura 3. 13: Configuración de propiedades del splitter.
Elaborado por: El Autor

También se colocó el medidor de potencia para visualizar la atenuación ocurrida después del repartidor óptico. El valor de potencia obtenido en el medidor de potencia (véase la figura 3.12) situado después del cable de 72

fibras ópticas, fue de -0.2 dBm, faltando todavía considerar el resto del recorrido por un cable de 36 fibras con una longitud aproximada de 900 m que va a conectar al repartidor óptico. Las pérdidas teóricas a la salida del repartidor para esta parte se calcularon de la siguiente manera:

$$A_{S-R} = A_C + A_{c72fo} + A_{cf} + A_{c36fo} + A_r$$

Donde,

A_{S-R} , pérdidas a la salida del splitter

A_C , pérdidas en el circulador bidireccional

A_{c72fo} , pérdidas del cable de 72 fibras ópticas

A_{cf} , pérdidas de pares de conectores y fusiones

A_{c36fo} , pérdidas del cable de 36 fibras ópticas

A_r , pérdidas en el repartidor.

$$A_{S-R} = 1.501dB + 1.935km(0.2dB/km) + (3 \times 0.4dB) + 0.9km(0.2dB/km) + 20.8dB$$

$$A_{S-R} = 24.067 dB$$

Después se efectuó el cálculo, teniendo en cuenta los medidores de potencia, aplicado después del cable de 72 fibras y el medidor, situado después del repartidor óptico (véase la figura 3.14) y se obtuvo el siguiente valor simulado para las pérdidas:

$$A_t = A_{S72fo} - A_{Sr} = -0.2dBm - (-24.990dBm) = 24.790dB$$

Donde,

A_t , pérdidas situado después del splitter

A_{S72fo} , potencia de salida del cable de 72 FO

A_{Sr} , potencia de salida del splitter

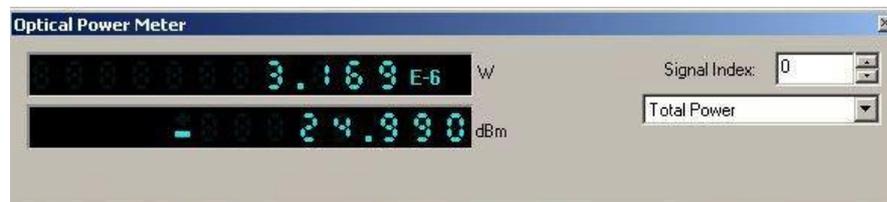


Figura 3. 14: Medidor de potencia a la salida del splitter.

Elaborado por: El Autor

En este caso, se obtuvieron valores diferentes, siendo el valor simulado superior, pues ya tiene en cuenta otras pérdidas, que en los valores teóricos

no se consideró, debido a las características propias de las fibras, tales como la dispersión, las pérdidas por dispersión, el tipo de conector y del propio repartidor.

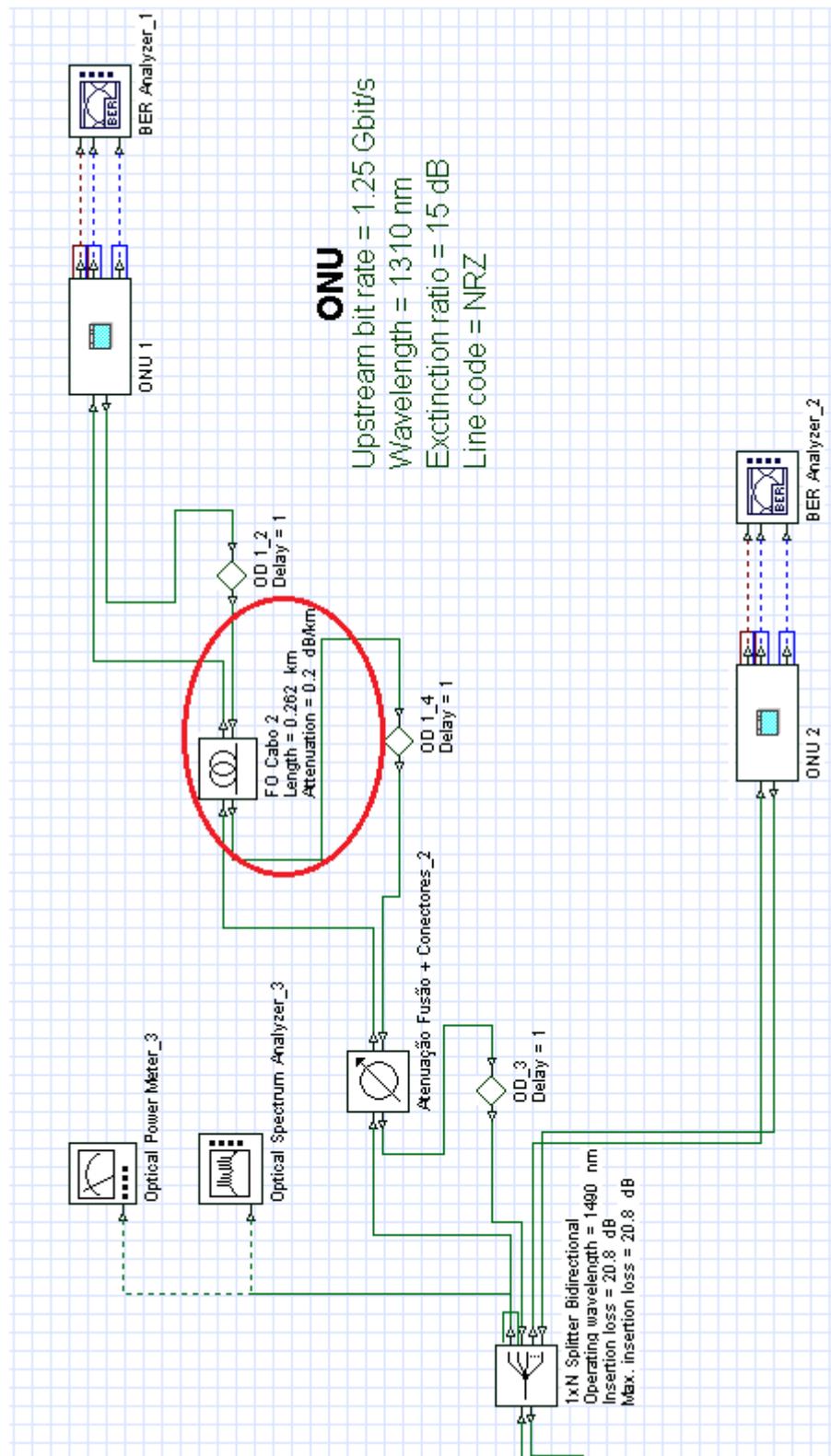


Figura 3. 15: Red de distribución.
Elaborado por: El Autor

Después del repartidor óptico, se ingresa en la parte del circuito designada como red de distribución. En ambas salidas del repartidor se asociaron dos ONUs, siendo uno colocado en el PT y el otro colocado en el edificio más distante a unos 212 m del mismo, donde se consideró un margen de 50 m dentro del edificio, como se puede ver en la figura 3.15, en el bloque designado por cable de FO, marcado en rojo. También las conexiones contienen tres colores diferentes, que corresponden a tres tipos de conexiones diferentes. En las conexiones de color verde se transportan señales ópticas, en las conexiones de color azul se colocan señales eléctricas y en las conexiones de color rojo se utilizan señales binarias originadas por un bloque generador de secuencias de bits pseudo-aleatorias incluido en el regenerador 3R.

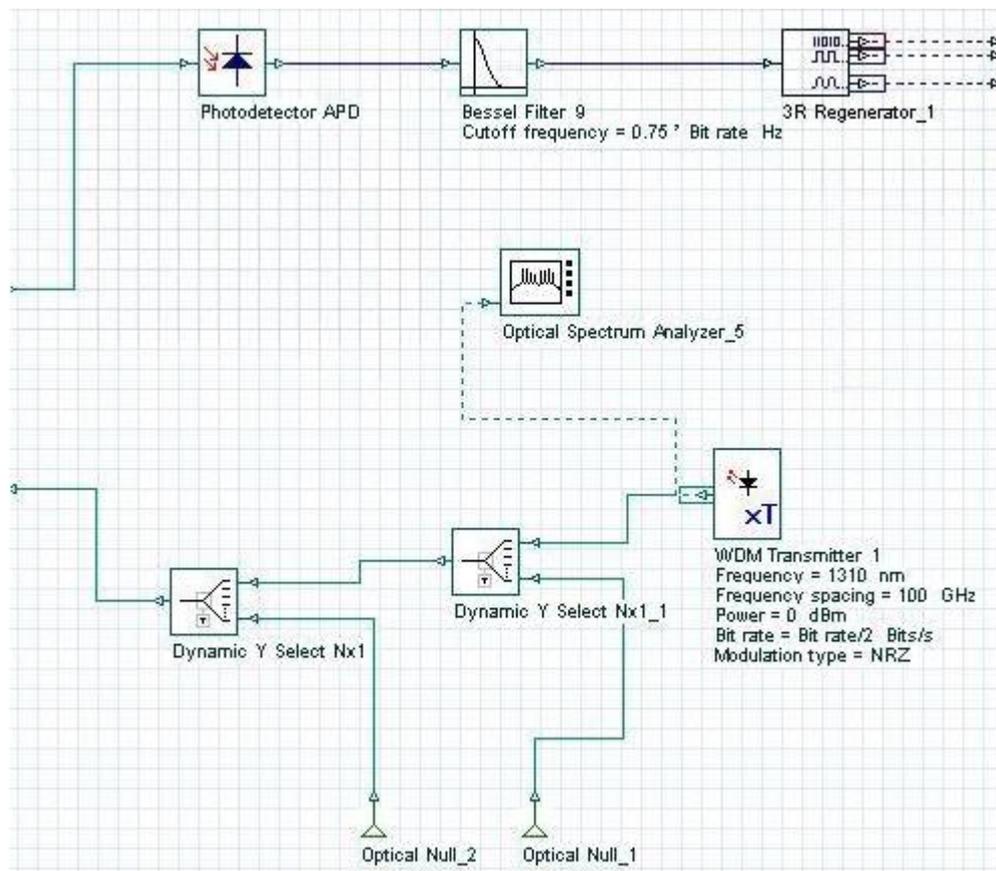


Figura 3. 16: Diagrama esquemático de la unidad de red óptica.
Elaborado por: El Autor

La ONU vista en la figura 3.15, es un bloque designado como subsistema, es decir, un bloque con componentes en su interior, constituido por más de un elemento, con una entrada y dos salidas (véase la figura 3.16).

El regenerador 3R recupera la señal de entrada, que luego se envía al analizador BER, en el que se examina el valor de la razón de bits errónea, y se obtiene el diagrama de ojo del sistema, lo que permite comprobar su rendimiento.

La utilización de un regenerador 3R se encuentra ya predefinida en la aplicación en el bloque del receptor óptico (véase la figura 3.17), pues sin el mismo no sería posible utilizar el bloque analizador BER. El bloque está constituido por un puerto de entrada que recibe la señal eléctrica a la salida de la ONU y tres puertos de salida. En el primer puerto de salida se tiene una secuencia de bits, en el segundo puerto, una señal modulada NRZ y en el tercer puerto una copia de la señal de entrada.

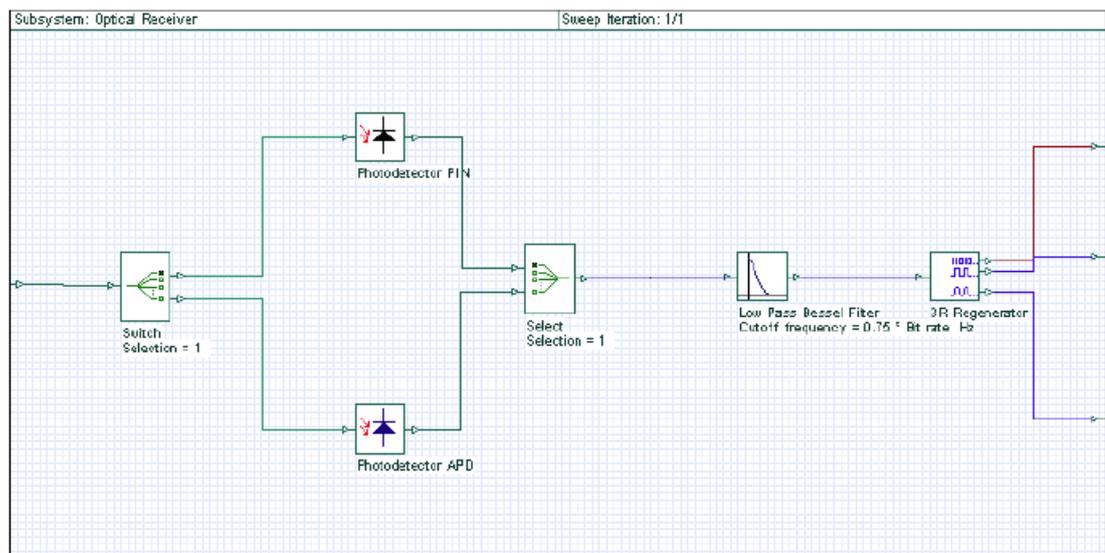


Figura 3. 17: Esquemático del subsistema de recepción óptica.
Elaborado por: El Autor

En la configuración de la ONU se visualiza un fotodetector APD que va a detectar la señal óptica que luego es filtrada por un filtro pasa bajo Bessel de orden 4 con una frecuencia de corte de valor igual a $0.75 \cdot \text{tasa de datos} = 1.875 \times 10^9$ Hz, como se puede confirmar de acuerdo con las propiedades de los mismos mostrado en la figura 3.18. Este tipo de filtro de Bessel es el más adecuado para sistemas WDM porque elimina gran parte del ruido generado por el fotodetector, en la conversión de la señal óptica a una señal eléctrica. Los fotodetectores APD fueron elegidos pues tienen mayor sensibilidad que los fotodetectores PIN, pues al colocar fotodetector PIN en la

ONU no se obtuvo el diagrama de ojo deseado, sin embargo, al reemplazarlo por el fotodetector APD ya fue posible obtener el diagrama de ojo óptimo.

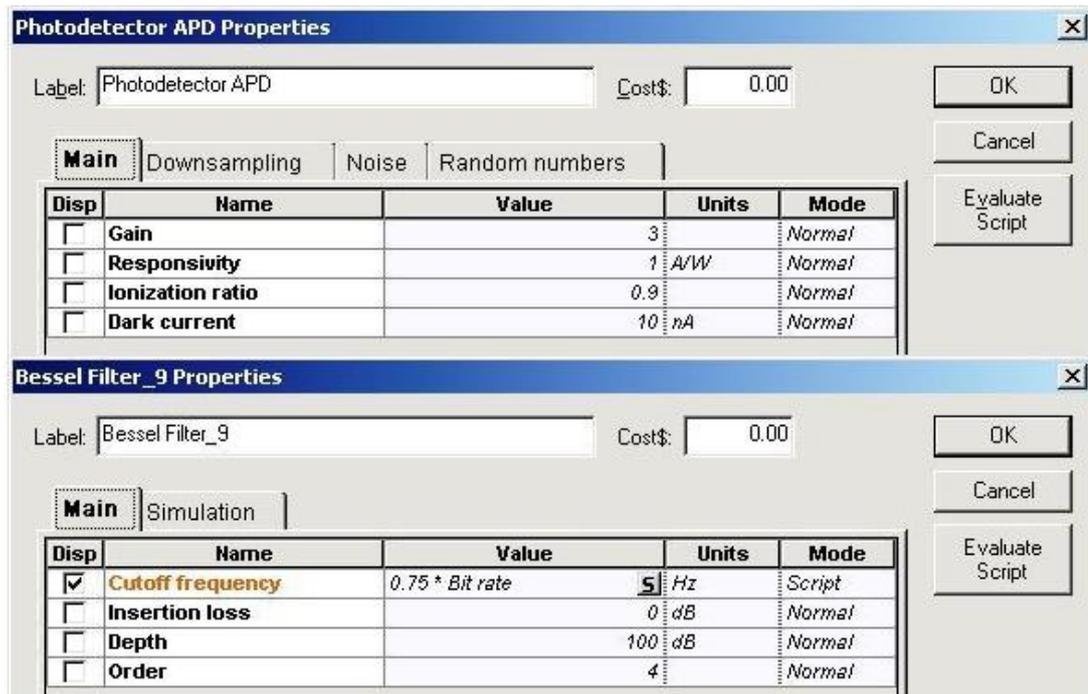


Figura 3. 18: Configuración de las propiedades del fotodetector APD y filtrado de Bessel.

Elaborado por: El Autor

Durante la fase de prueba de la aplicación, se verificó que existía un bloque analizador de BER en el cual se podría obtener el valor de la tasa de bits equivocados, complementando así la simulación. De acuerdo con las normativas 2c/G.984.2 se estima que el valor mínimo del BER sea inferior a 1×10^{-10} para una tasa de transmisión de 2.5 Gbps downstream.

Se ejecutó la simulación elaborando todos los cálculos anteriormente descritos y después de su conclusión se verificaron todos los medidores de potencia y analizadores de BER. En el caso de los analizadores de espectro y medidores de potencia, los valores ya se abordaron durante el procedimiento anterior. En el analizador de BER se obtuvo el gráfico ilustrado en la Figura 5.24 representando la señal downstream, y se verificó el desempeño del sistema a través del diagrama de ojo y una tabla de análisis rápida indicando los valores de los parámetros.

3.5. Análisis de resultados obtenidos.

Se ejecutó la simulación elaborando todos los cálculos anteriormente descritos y después de su conclusión se verificaron todos los medidores de potencia y analizadores de BER. En el caso de los analizadores de espectro y medidores de potencia, estos valores ya fueron abordados en las secciones anteriores. En el analizador de BER se obtuvo el gráfico que se muestra en la figura 3.19 representando la señal descendente (downstream). También, se verificó el desempeño del sistema a través del diagrama de ojo y una tabla de análisis rápida indicando los valores de los parámetros.

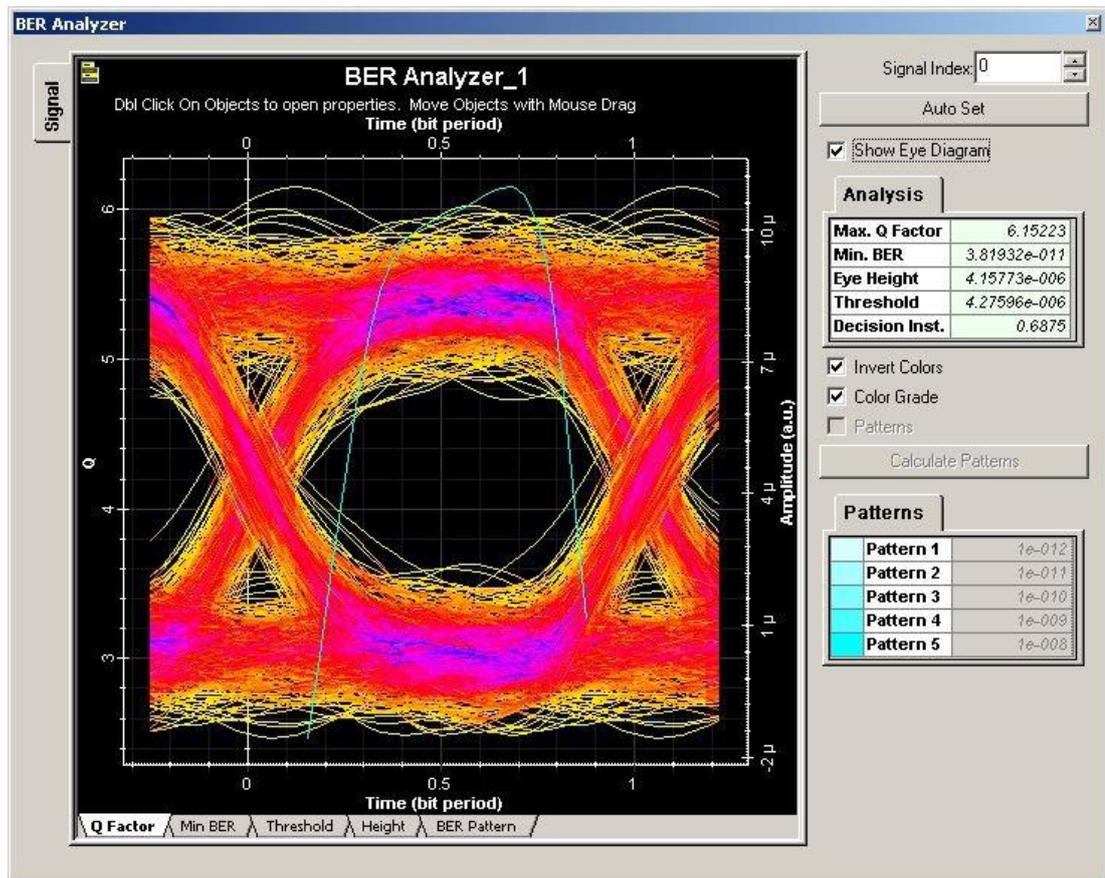


Figura 3. 19: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-1.
Elaborado por: El Autor

De acuerdo con la tabla de análisis que se observa en la figura 3.19 en la esquina superior derecha, se puede observar el valor mínimo de la tasa de BER es 3.82×10^{-11} en la ONU1, obteniéndose un valor inferior al permitido que era de 1×10^{-10} . Sin embargo, se verificó que para el ONU2 se obtuvo un valor mínimo de la tasa de BER de 6.56×10^{-13} siendo éste también inferior al permitido. Cabe mencionar que existen sólo los valores ideales de los límites

del diagrama de ojo para una tasa de transmisión de 1.25 Gbps, y sólo algunos valores de los límites del diagrama de ojo a 2.5 Gbps, representado en la figura 3.20.

Se consideraron los valores en el diagrama de ojo obtenidos a través de las líneas verdes en la figura 3.20 para la ONU2, se comparó con el diagrama de ojo y los valores de la tabla de la figura 3.21. En la figura 3.20 se retiraron los valores de amplitud inferior de $y1=0.18$, y el valor superior de $y2=0.78$ y, también en términos temporales el valor $x2=0.27$, y el valor $x3=0.8$ a partir de los cuales se efectuó la operación $x3-x2=0.8-0.27=0.53$, aunque el valor obtenido pudiera ser inferior. Sin embargo, en la tabla de la figura 3.21 el valor de $x3-x2$ es de 0.2 lo que es un valor inferior al obtenido. Los valores $y1=0.25$ y $y2=0.75$ también son inferiores a los obtenidos anteriormente. Después de comparar los valores alcanzados con los valores del estándar, se verificó que el sistema tiene un buen desempeño, siendo posible, por lo tanto, su implementación.

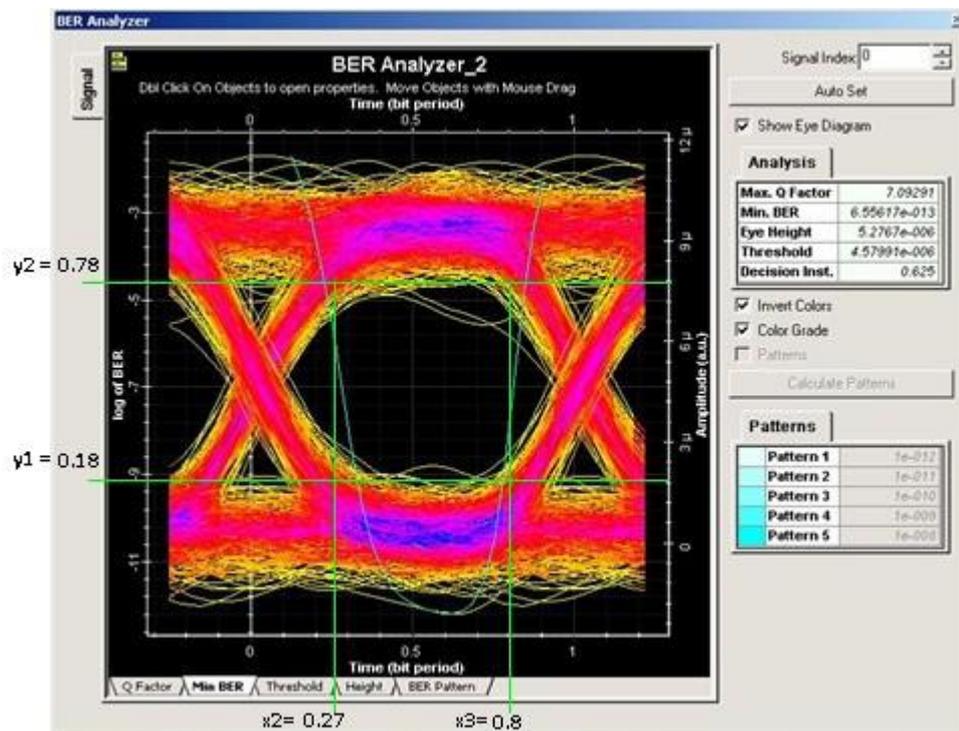


Figura 3. 20: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-2.

Elaborado por: El Autor

Con relación al balance de potencias se puede verificar que el valor final de la simulación obtenido de pérdidas es verificado a través de la diferencia

entre el valor del primer medidor de potencia (situado después del bloque WDM) y el medidor de potencia colocado en el antes de la ONU 1, tal como se muestra en la figura 3.21, resultando en un valor de -25.44 dB.

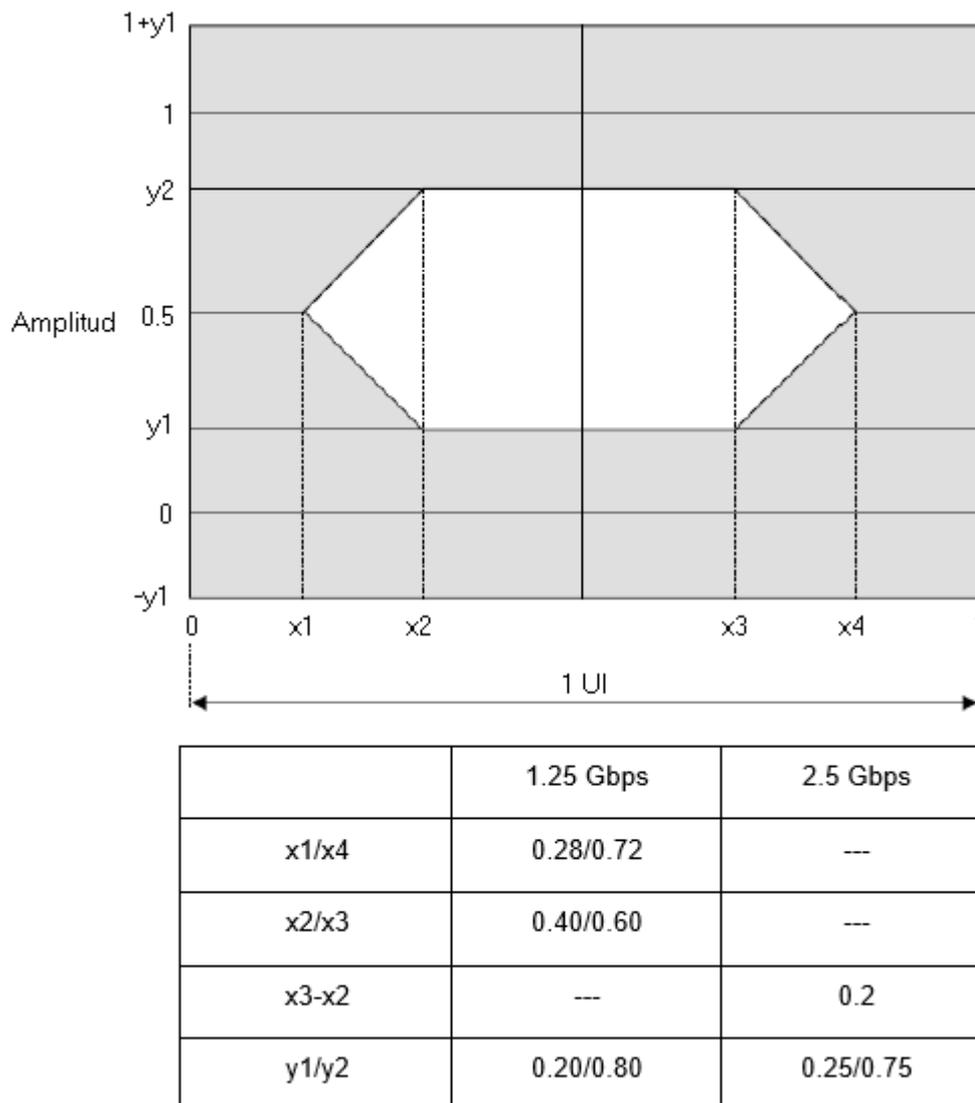


Figura 3. 21: Diagrama de ojo y tabla de valores recuperados de la recomendación G.984.2.

Fuente: (ITU, 2003)

Elaborado por: El Autor

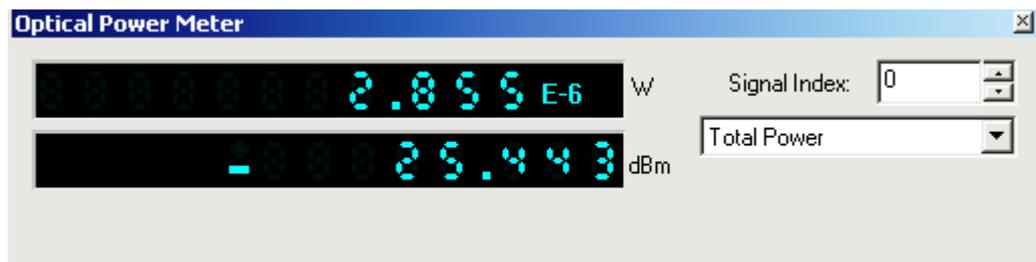


Figura 3. 22: Analizador de tasa de error de bits en la ONU-2.

Elaborado por: El Autor

Por lo tanto, la atenuación total del sistema se determina a partir de:

$$A_t = A_{s-WDM} - A_{ONU2} = 2.087 - (-25.443) = 27.53 \text{ dB}$$

El valor teórico obtenido en el balance de potencia es de 27.6 dB, y en el que ya se incluye el margen de seguridad de 2 dB, y un margen de reparaciones de fusiones en el valor de 0.5 dB para cada trayecto. Se puede concluir, que los valores obtenidos son muy similares a los proyectados, permitiendo confirmar la viabilidad del proyecto, aunque lo ideal sería comprobar estas simulaciones con pruebas, utilizando los equipos reales.

Conclusiones

En la parte teórica fueron abordados aspectos relativos a la tecnología, donde se describió los mejores estándares que aplicar de los varios en vigor, siendo EPON y GPON los favoritos. Aunque, se determinó que el estándar apropiado es GPON, porque es una gama más amplia de tasas de transmisión, y de mayor capacidad en términos de usuarios. Adicionalmente, se describieron la gama de equipos activos, donde se tuvo la noción de un OLT, ONT, entre otros equipos pasivos utilizados en la implementación de GPON/FTTH, tales como fibra óptica y cajas de empalme.

Con respecto a la simulación realiza, se pretendió analizar y modelar el balance de potencia y comparar con el valor teórico obtenido del mismo, así como obtener el diagrama de ojo típico, tal como consta en las tablas del patrón G.984.

Después del cálculo de potencia y todas las variaciones realizadas durante la ejecución del sistema, el mismo resulta ser realizable pues tal como se mencionó anteriormente tendría que haber suficiente luz para recorrer todo el recorrido, siendo el valor final del exceso relativo de potencia de 1.39 dB. En caso de ser negativo, se debería realizar una revisión de los cálculos introduciendo nuevos transmisores y receptores o, el peor de los casos se debería modificar la topología del proyecto. Sin embargo, es de subrayar que los valores calculados son para el peor caso posible, donde se consideraron los valores mínimos de potencia emitida y de sensibilidad del emisor y receptor, respectivamente.

Con los resultados obtenidos de la simulación permitió el análisis del diagrama de ojo, la tasa BER y visualizar señales mediante el analizador de espectros más allá del balance de potencia. Los valores obtenidos del balance de potencia están dentro de los parámetros esperados, confirmando el estudio teórico, y respetando el balance de potencia de 28 dB, tal como lo indica el estándar G.984.

Recomendaciones

Realizar el análisis de rendimiento de redes de acceso GPON y 10GPON mediante la simulación en MatLab u OptiSystem.

Realizar el modelado de una red 40GPON utilizando multiplexación DWDM mediante el simulador OptiSystem.

Referencias Bibliográficas

Adtran. (2018). Optical Networking Edge (ONE). Recuperado 14 de mayo de 2018, de <http://www.netcomworks.com/Optical-Networking-Edge.asp>

Cabezas, A. F., & Pinto, R. A. (2014). *Sistemas de comunicaciones ópticas*. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/10654/11995/1/Com%20o%20pticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf>

Cevallos S., G. K., & Coronel A., F. M. (2014). *Diseño y Simulación de una red de acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología FTTx en el centro de la ciudad de Ambato*. Recuperado de <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7343>

Duque N., R. M. (2016). Estudio de una red de fibra óptica hasta el hogar (FTTH) con red óptica pasiva con capacidad de Giga Bit (G-PON) que permita conexión a enlaces de alta velocidad para el cantón Daule, Recinto «Las Ánimas», provincia del Guayas. *Tesis*. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/20555>

García Y., A. (2014). GPON y GPON Doctor: Introducción y Conceptos Generales. Telnet-RI. Recuperado de <http://www.ccapitalia.net/descarga/docs/2012-gpon-introduccion-conceptos.pdf>

ITU. (2003). G.984.2 : Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. Recuperado 14 de mayo de 2018, de <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2/en>

Kang, H., Kim, C., & Yoo, T. (2001). Architectural design of an ONU controller for the ATM-PON. En *Joint 4th IEEE International Conference on ATM(ICATM'01) and High Speed Intelligent Internet Symposium*.

ICATM 2001 (Cat. No.00EX486) (pp. 209-211). Seoul, South Korea: IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICATM.2001.932087>

Lam, C. F. (2007). *Passive optical networks principles and practice*. London: Academic.

Nam Jae-Hyun, Jang Jong-Wook, & Lee Jung-Tae. (1998). Design of the MAC frame structure regardless of contention in ATM-PON. En *ICCT'98. 1998 International Conference on Communication Technology. Proceedings (IEEE Cat. No.98EX243)* (Vol. vol.2, p. 5). Beijing, China: Publishing House of Constr. Mater. <https://doi.org/10.1109/ICCT.1998.741248>

Robles C., I. L. (2017). Simulación de la tecnología RoF empleando GPON para el mejoramiento del servicio de internet móvil en redes LTE. Recuperado de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7375>

Vallejo, P. (2018). Arquitectura de redes: Planta externa. Recuperado de http://pedrovallejo.blogspot.com/2016/09/planta-externa_3.html



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Camino Coca, Armando Vicente** con C.C: 120592014-1 autor del trabajo de titulación: Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem, 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, 24 de septiembre del 2018

f. _____

Nombre: **Camino Coca, Armando Vicente**

C.C: 120592014-1

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Evaluación del modelado de una red GPON/FTTH con multiplexación por división de longitud de onda utilizando OptiSystem		
AUTOR(ES)	Ing. Camino Coca, Armando Vicente		
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		
TITULO OBTENIDO:	Magister en Telecomunicaciones		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	24 de septiembre del 2018	No. DE PÁGINAS:	62
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fundamentos de comunicaciones, Sistemas de Transmisión Ópticos		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Comunicaciones, Redes, GPON, AON y FTTH.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>En el presente documento se realiza el análisis de las arquitecturas y comportamiento del rendimiento de las redes de accesos FTTH y FTTC hacia el cliente final evaluando el servicio de telefonía e internet de acuerdo con su infraestructura. Para que sea factible esta hipótesis, se presentaran pruebas simuladas en OPTYSYSTEM y tiempo real mediante equipos de medición que pueden indicar los parámetros óptimos para dejar una red operando en buen estado, con el fin de verificar un buen rendimiento del servicio. Finalmente, el presente estudio indica y recomienda la mejor tecnología para una red de acceso de fibra óptica entre FTTH y FTTC para satisfacer las necesidades de los usuarios como cliente final. Este documento nos servirá de mucha utilidad como guía o herramienta al momento de realizar un despliegue a larga distancia en cualquier parte de las zonas rurales o marginales para comercial los servicios de telecomunicaciones, aclarando nuestros conocimientos de una forma clara y concisa.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: 0982496279	E-mail: sibuna_18@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):			