



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

**“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN REDES
GPON Y XGPON PARA BRINDAR SERVICIO TRIPE PLAY EN
PYMES”**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y
REDES**

AUTOR: LUIS EZEQUIEL MORA SINCHE

DIRECTOR: ING. MARCO VIVNICIO RAMOS VALENCIA

Riobamba – Ecuador

2023

©2023, Luis Ezequiel Mora Sinche

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Luis Ezequiel Mora Sinche, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 20 de marzo de 2023

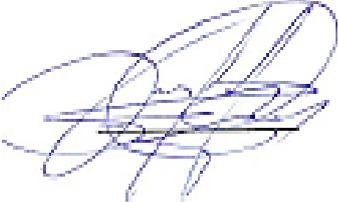
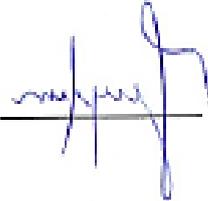


Luis Ezequiel Mora Sinche

060485824-1

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA TELECOMUNICACIONES

El tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto de Investigación **EVALUACIÓN DE PARÁMETROS DE CALIDAD EN REDES GPON Y XPON PARA BRINDAR SERVICIO TRIPLE PLAY EN PYMES**, realizado por el señor: **LUIS EZEQUIEL MORA SINCHE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación

| | FIRMA | FECHA |
|--|--|--------------|
| Ing. Nancy del Rocío Velasco Erazo PRESIDENTE DEL TRIBUNAL |  | 20/03/2023 |
| Ing. Marco Vinicio Ramos Valencia DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN |  | 20/03/2023 |
| Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa ASESOR DEL TRIBUNAL |  | /03/2023 |

DEDICATORIA

Con inmenso cariño dedico esta tesis a Dios por permitirme culminar, quien ha sido una guía durante todos estos años y me ha otorgado la sabiduría, conocimiento y valentía necesaria para seguir adelante en las circunstancias más adversas que más se ha necesitado, de la misma manera a mi familia quienes han sido el pilar fundamental para alcanzar uno de los sueños anhelados, en especial a mi padres Alfonso y Leonor que siempre me han estado dando palabras de aliento, animo, apoyo y sobre todo por el inmenso esfuerzo que han estado haciendo todos estos años en esta etapa académica; también cabe mencionar a mi hermano Geovanny y mis hermanas que han estado a mi lado compartiendo los éxitos y fracasos.

Luis

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento más sincero a Dios y al Espíritu Santo que han estado a mi lado dando la fuerza, valentía y misericordia para poder alcanzar esta meta propuesta, en especial a mis padres y mi familia por el gran esfuerzo y el apoyo permanente que me han estado inculcando con principios, consejos y valores bíblicos desde que inicie mis estudios hasta llegar a la meta alcanzada ya que sin esa ayuda no hubiera cumplido dicho anhelo.

A mis compañeros y amigos que han estado en la formación profesional a lo largo de estos años la cual ha sido una ayuda incondicional.

Agradezco a mi director de tesis Ing. Vinicio Ramos que gracias a su valioso tiempo y ayuda que supo guiarme hasta culminar el presente trabajo de titulación.

Luis

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|------------------------------|-------------------------------|
| ÍNDICE DE TABLAS..... | viii |
| ÍNDICE DE ILUSTRACIONES..... | ix |
| ÍNDICE DE ANEXOS..... | xi |
| RESUMEN | xii |
| SUMARY | xiii |
| INTRODUCCIÓN | ¡Error! Marcador no definido. |

CAPÍTULO I

| | | |
|---------------|---|-----------|
| 1. | MARCO TEÓRICO REFERENCIAL..... | 7 |
| 1.1. | Redes FTTX..... | 7 |
| 1.1.1. | <i>Arquitectura de redes ópticas (FTTX).....</i> | <i>7</i> |
| 1.1.2. | <i>Tipos de redes ópticas (FTTX).....</i> | <i>8</i> |
| 1.2. | Redes ópticas pasivas (PON)..... | 9 |
| 1.2.1. | <i>Tipos de redes PON.....</i> | <i>9</i> |
| 1.3. | Estructura de red PON (FTTH) | 11 |
| 1.3.1. | <i>Elementos de una red PON (FTTH)</i> | <i>12</i> |
| 1.4. | GPON | 16 |
| 1.4.1. | <i>Características de la red GPON.....</i> | <i>17</i> |
| 1.4.2. | <i>Formatos de trama</i> | <i>18</i> |
| 1.4.3. | <i>Recomendaciones UIT-T G.984.X.....</i> | <i>20</i> |
| 1.5. | XG-PON..... | 22 |
| 1.5.1. | <i>Fases del estándar XG-PON.....</i> | <i>23</i> |
| 1.5.2. | <i>Características del estándar XG-PON.....</i> | <i>24</i> |
| 1.5.3. | <i>Formato de Tramas.....</i> | <i>24</i> |
| 1.5.4. | <i>Recomendación UIT-T G.987.X.....</i> | <i>27</i> |
| 1.6. | Comparación de parámetros entre GPON vs XG-PON..... | 29 |
| 1.7. | Parámetros de calidad en servicios de Triple Play..... | 30 |
| 1.7.1. | <i>Calidad de servicio en Voz.....</i> | <i>32</i> |
| 1.7.2. | <i>Calidad de servicio en Video.....</i> | <i>32</i> |
| 1.7.3. | <i>Calidad de servicio en la transmisión de datos</i> | <i>33</i> |

CAPÍTULO II

| | | |
|-------------|-------------------------------------|-----------|
| 2. | MARCO METODOLÓGICO | 34 |
| 2.1. | Tipos de investigación | 34 |

| | | |
|--------|---|----|
| 2.1.1. | <i>Investigación documental</i> | 35 |
| 2.1.2. | <i>Investigación descriptiva</i> | 35 |
| 2.2. | Marco Metodológico | 36 |
| 2.2.1. | <i>Fase 1: Investigación Documental</i> | 37 |
| 2.2.2. | <i>Fase 2: Simulación</i> | 37 |
| 2.2.3. | <i>Fase 3: Evaluación</i> | 43 |
| 2.2.4. | <i>Fase 4: Resultados</i> | 46 |

CAPITULO III

| | | |
|--------|---|----|
| 3. | MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS | 48 |
| 3.1. | Escenario 1: Red GPON Usuario más cercano | 48 |
| 3.1.2. | <i>Análisis Transmisión Datos y Voz</i> | 51 |
| 3.1.3. | <i>Análisis de la recepción de video</i> | 53 |
| 3.2. | Escenario 2: Red Gpon Usuario más lejano | 56 |
| 3.2.1. | <i>Análisis Transmisión Datos y Voz</i> | 58 |
| 3.2.2. | <i>Análisis de la recepción de video</i> | 60 |
| 3.3. | Escenario 3: Red XGPON Distancia Corta | 63 |
| 3.3.1. | <i>Análisis Transmisión Datos y Voz</i> | 65 |
| 3.3.2. | <i>Análisis de la recepción de video</i> | 68 |
| 3.4. | Escenario 4: Red XGPON Distancia Larga | 70 |
| 3.4.1. | <i>Análisis Transmisión Datos y Voz</i> | 73 |
| 3.2.3. | <i>Análisis de la recepción de video</i> | 75 |
| | CONCLUSIONES | 79 |
| | RECOMENDACIONES | 80 |
| | BIBLIOGRAFÍA | |
| | ANEXOS | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|--------------------|--|----|
| Tabla 1-1: | Perdidas de acuerdo con el número de divisiones | 14 |
| Tabla 2-1: | Diferentes clases de GPON con sus pérdidas respectivas | 17 |
| Tabla 3-1: | Diferentes clases del XG-PON con sus respectivas atenuaciones..... | 24 |
| Tabla 4-1: | Principales parámetros de calidad para la comparación..... | 29 |
| Tabla 5-1: | Métodos para la categorización del tráfico según QoS | 31 |
| Tabla 1-2: | Parámetros de calidad de servicio | 37 |
| Tabla 2-2: | Parámetros de configuración redes propuestas | 44 |
| Tabla 3-2: | Ancho de banda de referencia | 47 |
| Tabla 1-3: | Valores dispositivos que generan pérdida | 48 |
| Tabla 2-3: | Parámetros de configuración escenario 1 | 48 |
| Tabla 3-3: | Cálculo de pérdidas Escenario 1 | 49 |
| Tabla 4-3: | Parámetros de configuración escenario 2 | 56 |
| Tabla 5-3: | Cálculo de pérdidas Escenario 2..... | 57 |
| Tabla 6-3: | Parámetros de configuración escenario 3 | 63 |
| Tabla 7-3: | Cálculo de pérdidas Escenario 3..... | 64 |
| Tabla 8-3: | Parámetros de configuración escenario 4 | 70 |
| Tabla 9-3: | Cálculo de pérdidas Escenario 4..... | 71 |
| Tabla 10-3: | Costos de equipos para red óptica | 78 |

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 1-1: | Redes de acceso de banda ancha FTTH..... | 7 |
| Ilustración 2-1: | Esquema de una topología PON | 9 |
| Ilustración 3-1: | Esquema de una red EPON..... | 11 |
| Ilustración 4-1: | Esquema de una red PON (FTTH)..... | 11 |
| Ilustración 5-1: | Divisor óptico de 1:32..... | 13 |
| Ilustración 6-1: | Tipos de conectores ópticos | 15 |
| Ilustración 7-1: | Esquema de una red GPON | 16 |
| Ilustración 8-1: | Estructura de la trama Downstream..... | 19 |
| Ilustración 9-1: | Estructura de la trama Upstream..... | 19 |
| Ilustración 10-1: | Esquema de la red XG-PON | 23 |
| Ilustración 11-1: | Estructura de la trama downstream..... | 26 |
| Ilustración 12-1: | Estructura de la trama Upstream..... | 27 |
| Ilustración 1-2: | Metodología proyecto de titulación | 36 |
| Ilustración 2-2: | Diagrama de Simulación..... | 38 |
| Ilustración 3-2: | Interfaz de OptiSystem | 38 |
| Ilustración 4-2: | Herramientas de OptiSystem | 39 |
| Ilustración 5-2: | Diseño del Transmisor OLT | 40 |
| Ilustración 6-2: | Diseño de la red ODF | 40 |
| Ilustración 7-2: | Diseño de la red de dispersión | 41 |
| Ilustración 8-2: | Diseño de la red ONU..... | 43 |
| Ilustración 9-2: | Configuración de los transmisores en la OLT | 44 |
| Ilustración 10-2: | Configuración de las pérdidas en los conectores | 45 |
| Ilustración 11-2: | Configuración del filtro | 45 |
| Ilustración 12-2: | Configuración frecuencia de operación del receptor. | 45 |
| Ilustración 13-2: | Diagrama red para servicio Triple Play | 46 |
| Ilustración 1-3: | Potencia de salida OLT Escenario 1 | 49 |
| Ilustración 2-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 1 | 50 |
| Ilustración 3-3: | Señales recibidas Demultiplexadas escenario 1 | 50 |
| Ilustración 4-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 1 | 51 |
| Ilustración 5-3: | Gráfica BER Voz y Datos Escenario 1 | 52 |
| Ilustración 6-3: | Diagrama del ojo Voz y Datos Escenario 1 | 52 |
| Ilustración 7-3: | Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 1 | 53 |
| Ilustración 8-3: | Señal recibida Voz y Datos Escenario 1 | 54 |
| Ilustración 9-3: | Gráfica BER Video Escenario 1 | 54 |

| | | |
|--------------------------|---|----|
| Ilustración 10-3: | Diagrama del ojo video Escenario 1 | 55 |
| Ilustración 11-3: | Jitter en diagrama del ojo video Escenario 1 | 55 |
| Ilustración 12-3: | Potencia de salida OLT Escenario 2 | 56 |
| Ilustración 13-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 2 | 57 |
| Ilustración 14-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 2 | 58 |
| Ilustración 15-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 2..... | 58 |
| Ilustración 16-3: | Gráfica BER voz y datos Escenario 2..... | 59 |
| Ilustración 17-3: | Diagrama del ojo Voz y Datos Escenario 2 | 59 |
| Ilustración 18-3: | Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 2..... | 60 |
| Ilustración 19-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 2..... | 61 |
| Ilustración 20-3: | Gráfica BER Video Escenario 2 | 61 |
| Ilustración 21-3: | Diagrama del ojo video escenario 2..... | 62 |
| Ilustración 22-3: | Jitter en diagrama del ojo video Escenario 2 | 62 |
| Ilustración 23-3: | Potencia de salida OLT Escenario 3 | 63 |
| Ilustración 24-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 3 | 64 |
| Ilustración 25-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 3 | 65 |
| Ilustración 26-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 3..... | 65 |
| Ilustración 27-3: | Gráfica BER voz y datos Escenario 3..... | 66 |
| Ilustración 28-3: | Diagrama del ojo voz y datos Escenario 3..... | 67 |
| Ilustración 29-3: | Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 3..... | 67 |
| Ilustración 30-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 3..... | 68 |
| Ilustración 31-3: | Gráfica BER Video Escenario 3 | 69 |
| Ilustración 32-3: | Diagrama del ojo video Escenario 3 | 69 |
| Ilustración 33-3: | Jitter en diagrama del ojo video Escenario 3 | 70 |
| Ilustración 34-3: | Potencia de salida OLT Escenario 4 | 71 |
| Ilustración 35-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 4 | 72 |
| Ilustración 36-3: | Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 4 | 72 |
| Ilustración 37-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 4..... | 73 |
| Ilustración 38-3: | Gráfica BER voz y datos Escenario 4..... | 73 |
| Ilustración 39-3: | Diagrama del ojo voz y datos Escenario 4..... | 74 |
| Ilustración 40-3: | Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 4..... | 75 |
| Ilustración 41-3: | Señal recibida voz y datos Escenario 4..... | 75 |
| Ilustración 42-3: | Gráfica BER Video Escenario 4 | 76 |
| Ilustración 43-3: | Diagrama del ojo video Escenario 4 | 76 |
| Ilustración 44-3: | Jitter en diagrama del ojo video Escenario 4 | 77 |

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DESCRIPCIÓN OLT HUAWEI MA5608T

ANEXO B: ONU HUAWEI ZTE F660 V8.0

ANEXO C: DISEÑO DE LA RED PON

RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo de Integración Curricular fue evaluar los parámetros de calidad en redes GPON y XG-PON para brindar el servicio triple play (audio, video y datos) en pymes. En primer lugar, se realizó el estudio de las redes de fibra hasta la x (FTTx), tomando en consideración la topología y arquitectura de cada una; de la misma manera se realizó el análisis de las diferentes redes PON (APON, BPON, EPON), en donde se enfatizó el estudio comparando de los principales elementos, características y propiedades de los estándares ITU-T G.984.X e ITU-T G.987.X en el cual se basa este proyecto de investigación. Se realizó el análisis del servicio triple play para pymes y de esta manera determinar los parámetros de calidad (QoS), se formó un estudio lógico a través de la entrevista a un Proveedor de Servicios de Internet (ISP), para desarrollar el diseño lógico de la red troncal (Feeder), red distribución y red de dispersión con los parámetros establecidos para pymes, de tal manera que se detallan los equipos necesarios; con la ayuda del software Optisystem se diseñó y simuló el enlace, posteriormente se evaluó las redes y los niveles de recepción, para la red GPON del usuario más lejano es de -20.88dBm y para el más cercano -15.68dBm, de la misma manera para la red XGPON el usuario más cercano de -15.68dBm y el más lejano de -20.88dBm, valores que están por encima del umbral; concluyendo que el servicio Triple Play en las Pymes posee un mayor ancho de banda para la transmisión y recepción de información, pero los parámetros de calidad son los mismos debido a que se encuentran establecidos según la recomendación. Se recomienda realizar pruebas de conectividad con diversos usuarios en las redes para evaluar el comportamiento del servicio ofertado por el ISP.

Palabras clave: <FIBRA ÓPTICA>, <SERVICIO TRIPLE PLAY>, <FIBRA HASTA LA X (FTTx)>, <PARAMETROS DE CALIDAD (QoS)>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>.



0434-DBRA-UPT-2023

SUMMARY

The objective of this degree work was to evaluate the quality parameters in GPON and XGPON networks to provide the triple play service (audio, video and data) in SMEs. In the first place, the study of fiber networks up to x (FTTx) was carried out, taking into account the topology and architecture of each one; In the same way, the analysis of the different PON networks (APON, BPON, EPON) was carried out, where the study was emphasized by comparing the main elements, characteristics and properties of the ITU-T G.984.X and ITUT standards. T G.987.X on which this research project is based. The analysis of the triple play service for SMEs was carried out and in this way determine the quality parameters (QoS), a logical study was formed through the interview with an Internet Service Provider (ISP), to develop the logical design of the trunk network (Feeder), distribution network and dispersion network with the parameters established for SMEs, in such a way that the necessary equipment is detailed; With the help of the Optisystem software, the link was designed and simulated, later the networks and reception levels were evaluated, for the GPON network of the farthest user it is -20.88dBm and for the closest -15.68dBm, in the same way for the XGPON network the closest user of -15.68dBm and the farthest of -20.88dBm, values that are above the threshold; concluding that the Triple Play service in SMEs has a greater bandwidth for the transmission and reception of information, but the quality parameters are the same because they are established according to the recommendation. It is recommended to carry out connectivity tests with various users in the networks to evaluate the behavior of the service offered by the ISP.

Keywords: <OPTIC FIBER>, <TRIPLE PLAY SERVICE>, <FIBER UP TO X (FTTx)>, <QUALITY PARAMETERS (QoS)>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>.



Ing. Wilson Rojas

C.I 0602361842

INTRODUCCIÓN

En el mundo actual la tecnología se ha convertido en un arma fundamental en las acciones que ejecutan diariamente las empresas o personas debido a la necesidad de contar con acceso a los servicios triple play las 24 horas del día, sin embargo a más de ello dicho servicio de internet debe garantizar QoS es decir debe ser óptimo evitando problemas como el jitter, tasa de bits erróneos y retardos para poder lograr realizar las diferentes actividades de forma rápida ganando con ello tiempo y dinero que es lo que se busca satisfacer con el presente proyecto de investigación al evaluar los parámetros de calidad en redes GPON y XGPON para brindar servicio triple play en PYMES considerando a estas dos tecnologías por ser las más comercializadas al día de hoy pero sobre todo por su capacidad en el tema de ancho de banda, número de usuarios, velocidad y alcance.

El desarrollo del presente proyecto se lo ha dividido en tres capítulos que se lo detalla a continuación:

El primer capítulo se basa en el marco teórico referencial donde se describe los conceptos de redes FTTx con sus diferentes arquitecturas, redes ópticas pasivas (PON) entre ellas APON, BPON, EPON, GPON y XGPON siendo las dos últimas los temas principales de estudio razón por la cual se puntualiza sus características, recomendaciones UIT-T G.984.X y UIT-T G.987.X respectivamente, los elementos que las componen desde la OLT hasta llegar al usuario final (ONT) y los parámetros de calidad a tener en cuenta para brindar los servicios triple play.

En el segundo capítulo se desarrolló el marco metodológico tomando en consideración el tipo de investigación y las fases para el desarrollo del proyecto el cual inicia con la investigación documental para con estos conceptos proceder a la simulación de un escenario propuesto que seguidamente es evaluado en base a los parámetros QoS llegando de esta forma al último paso que fue la obtención de resultados y el análisis de estos.

El tercer capítulo muestra el marco de resultados su análisis y discusión donde se comparó a las dos tecnologías GPON y XGPON con respecto a potencia, Factor Q, BER y diagrama del ojo para de esta manera determinar cuál es la más adecuada para brindar el servicio triple play en pymes en este análisis se tomó también en consideración tanto los enlaces para los usuarios más lejanos y cercanos de los escenarios propuestos en el capítulo II.

ANTECEDENTES

En la actualidad debido a la rápida evolución de las tecnologías tradicionales hacia las Redes de Nueva Generación (NGN) basadas en fibra óptica, los prestadores de servicios de telecomunicaciones han llegado a la necesidad de migrar sus antiguas redes con la finalidad de mejorar la calidad del servicio, por los elevados requerimientos en la calidad de servicio de parte de los usuarios. Una característica principal de una red NGN es brindar servicios de triple play en banda ancha, para que los usuarios residenciales logren acceder a servicios como televisión de alta definición, juegos interactivos, *streaming* de medios, películas por Internet, entre otros. En el ámbito empresarial se puede utilizar de manera simultánea a servicios de videoconferencia o consultas de datos con mayor velocidad y fiabilidad. En el país, el servicio de Internet de triple play a través de conexiones por fibra óptica ha desarrollado un crecimiento acelerado, donde para el segundo semestre del año 2018 las conexiones a través cobre solo llegaron al 42,81%, mientras las conexiones por fibra óptica van en aumento alcanzando un 27,62%, a través de cable coaxial disminuyó considerablemente 21,02% y por último con tan solo 8,55% existe una comunicación inalámbrica (ARCOTEL, 2018).

En el país existen varios proveedores de servicio de internet más conocido como ISP (Internet Service Provider), se encargan de realizar conexiones para tener conectividad entre usuarios finales o empresas al internet o nube de dominio público, el medio de transmisión que más demanda tiene en la actualidad es la fibra óptica, por tal motivo la tecnología a utilizar es GPON que un futuro se pueda migrar a la tecnología XG-PON. Debido al mayor número de proveedores, existe una alta competitividad en cuanto a precios, calidad, garantía de servicio, entre otros. Sin embargo, el ISP que sobresale de las otras es garantizar que los parámetros de calidad (QoS) logren llegar en óptimas condiciones al usuario final, es decir al responder con todos los parámetros se ofrece mayor velocidad, estabilidad, seguridad y disponibilidad entre otros factores (Pasto, 2019).

Al brindar servicios de triple play (voz, video y datos), la infraestructura de la red se vuelve un poco compleja debido a varios aspectos de cómo llevar los tres servicios en un mismo hilo de fibra óptica, pero gracias a la multiplexación se resolvió el problema que en la actualidad se hace más eficiente y utilizada. Los proveedores de internet para dar un mejor servicio están implementando redes de banda ancha que el principal protocolo a transmitir es IP (Protocolo de Internet), pero sin darse cuenta de que han aumentado una calidad de servicio mucho más eficiente y ágil, pero en ciertas ocasiones existen intermitencias que se intenta resolver en las ISP. (Altamirano, 2017).

Según lo que plantea Alves (Alves, 2010) en las investigación realizadas con las redes NGN-PON se encuentran las Redes Ópticas Pasivas como son GPON y XG-PON que admiten entregar soluciones de acceso con mucha más capacidad que las redes tradicionales, de esta manera se pueden brindar servicios de Triple Play (Voz, Internet, Televisión) con alta tasa de transmisión y calidad de servicio hacia el usuario, la cual nos conlleva una implementación en gastos reducidos en comparación con otras tecnologías. GPON optimiza la relación inversión-cobertura, con una capacidad de transmisión de 2.5 Gbps, en donde esta tecnología se puede coexistir en la misma red implementado con la tecnología XG-PON dando como resultado una red más óptima y de mayor capacidad de transmisión de 10 Gbps, conforme la demanda del mercado o el crecimiento de las tecnologías.

El presente proyecto se dirigirá a PYMES donde el servicio de Triple Play es de gran importancia en torno a las exigencias de las políticas de las empresas, una red que brinda el servicio mencionado no puede presentar fallas en cuanto a los servicios tales como la latencia, caídas repentinas de los enlace y velocidad, específicamente en el área donde es de gran necesidad la cual causaría pérdida de información y económica. Por tal motivo el servicio de internet es afectado por pérdida de paquetes de datos y saturación en los enlaces de última milla, dificultando que los usuarios posean una calidad en servicios de telecomunicaciones que actualmente ya no es un lujo sino una necesidad por parte de todas las PYMES, razón por la cual al evidenciar todos estos problemas y además la necesidad por parte de los usuarios finales busca mejorar sus servicios en base a las exigencias de la creciente demanda insatisfecha optando por analizar los parámetros de calidad en el enlace de una red de acceso GPON y XGPON que utilice bajo el estándar G.984.X y G.987.X la cual soporta los servicios Triple Play entre otras.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo la evaluación de parámetros de calidad en redes GPON Y XGPON mejorará al brindar servicio triple play en PYMES?

¿Será que los estándares de la tecnología GPON y XGPON es adecuada para comparar los parámetros de calidad?

¿Es factible proponer el mejoramiento de los parámetros de calidad al brindar servicio triple play en redes escalables de Fibra Óptica para PYMES?

¿Cuáles son las diferencias al simular distintos escenarios de las tecnologías GPON y XGPON a través Optisystem?

¿Será que un diseño utilizando una red PON obtendrá mejores resultados?

JUSTIFICACIÓN

Justificación teórica

La calidad de servicio se ha originado para satisfacer las necesidades tanto de la empresa ISP como la PYMES, con el avance de la tecnología se han creado muchos parámetros los cuales necesitan ser cumplidos, pero para ello se debe hacer un análisis exhaustivo para poder encontrar sus errores y así poder ofrecer parámetros óptimos de Calidad del Servicio de Acceso a Internet (Latencia, Velocidad de transmisión, Ancho de banda, etc.).

La red GPON y XGPON es capaz de transportar todos los servicios que necesitan un gran ancho de banda como video bajo demanda, HDTV, juegos interactivos, video conferencias, aplicaciones en la nube, etc. Por lo que ofrece velocidades Hasta de 2,5 Gbps de forma asimétrica, en la actualidad la tasa de transmisión que más se utiliza en el sentido descendente es de 2,488 Gbps y en sentido ascendente de 1,244 Gbps, aunque existen velocidades de 100 Mbps por usuarios que se pueden utilizar con unos pequeñas configuraciones , el alcance máximo entre los equipos del nodo y los equipos terminales es de 20 km, en cuanto al divisor de potencia que en este caso es el splitter solo puede alcanzar una relación de 1:64 de un mismo hilo de fibra (Batagelj et al. 2012).

Esta investigación va dirigida tanto a los usuarios que actualmente poseen PYMES y también al personal del área corporativa de la empresa que brindan el servicio Triple Play mediante fibra óptica, quienes se encuentran brindando el servicio ya mencionado se requieren que el internet no tenga intermitencias pero debido a que hoy en día estamos viviendo en la era tecnológica de las telecomunicaciones donde cada instante la demanda va creciendo y se observan servicios que se han popularizado entre los usuarios los mismos que ocasionan un mayor consumo de ancho de banda tales como: televisión en alta definición, telefonía, VoIP, video conferencias, etc., estos puntos se convierten en una problemática para las redes presentes y se evidencia la necesidad de realizar la evaluación de los parámetros de calidad de la red GPON y XGPON que permitirá observar la diferencia entre una red que soporte un buen QoS de tal forma que a las PYMES puedan contar con una conexión de internet confiable y de altas velocidades indispensable para la vida laboral; además beneficiará a la empresa permitiendo ampliar su cobertura, mantenerse en desarrollo ante el mercado competitivo y sobre todo garantizar los servicios ofertados.

Justificación aplicativa

El constante crecimiento y expansión de población mundial ha conllevado a un incremento significativo en la demanda por parte de los usuarios que a diario van en aumento los servicios solicitados, razón por la cual se requieren mayores velocidades y mayores anchos de banda es por eso que el tráfico de información que presentan las redes actuales necesitan la creación de medios de transmisión con niveles de velocidad altos y mayor rendimiento en el menor tiempo posible, es así que las redes ópticas pasivas PON presentan ventajas para la transmisión de grandes distancias además de presentar una oferta triple play de voz y video.

El principal motivo de realizar la evaluación de la red GPON bajo el estándar G.984.x y la red XGPON bajo el estándar G.987.x para las empresas ISP que brindan servicio triple play radica en las necesidades de las PYMES que muestran inconvenientes al recibir los servicios de VOIP, video conferencias, datos, etc. Debido a que la empresa ha ido creciendo y a su vez construyéndose nuevas redes de acceso FTTH sin ser certificadas por el estándar por lo que causan la pérdida de información en la transmisión de datos debido a las distancias de los enlaces sin las normas establecidas, razón por la cual se vio la necesidad de evaluar la calidad de servicio mediante el parámetro BER, Latencia y atenuación. La calidad de servicio es una forma de medición en la integridad de las señales recibidas que se basa en la cantidad o el porcentaje de los bits transmitidos que se reciben incorrectamente. Básicamente, cuantos más bits incorrectos existan, más se verá afectada la calidad de la señal. La tasa de errores de bits es un indicador eficaz del rendimiento completo de extremo a extremo, ya que engloba el receptor y el transmisor, así como los medios entre ambos.

El presente proyecto se realizará la evaluación completa de los parámetros de calidad y demostrar cuál de las tecnologías es mejor el diseño para las PYMES, al comienzo del proyecto se estudiará los estándares y determinaran los parámetros que son necesarios para la simulación y demostrando que red PON es más útil al momento que brindar servicio de triple Play a las PYMES. Esta evaluación se realizará al simular varios escenarios con el simulador Optisystem el cual se demostrará una de las dos tecnologías a diseñar es más eficiente que la otra, es decir que al momento de determinar una red PON que posea mejor los parámetros mencionados esa red será la que beneficie a las empresas ISP como a las PYMES. Por lo tanto, la necesidad de los usuarios de contar con un servicio de calidad está llevando a las empresas a realizar cuantiosas inversiones, es por eso que se propone realizar la evaluación en las redes GPON y XGPON para seleccionar la tecnología que mejor se adecue a las necesidades de la misma, evitando gastos innecesarios.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar los parámetros de calidad en redes GPON Y XGPON para brindar servicio triple play en PYMES

Objetivos específicos

- Estudiar los estándares y las características de las redes GPON y XGPON, comparando los parámetros de calidad que utilizan las tecnologías.
- Determinar los parámetros de calidad óptimos para brindar el servicio triple play en redes escalables de Fibra Óptica para PYMES.
- Simular distintos escenarios de las tecnologías GPON y XGPON a través Optisystem según los requerimientos de calidad en servicio triple play.
- Diseñar la red PON con los parámetros óptimos de calidad que garantizan los servicios triples play en PYMES.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1. Redes FTTX

Las redes de acceso de fibra definida por la recomendación ITU-T G.984.1 admite la utilización de cables tanto de fibra y cobre como medio de transmisión, debido a que la fibra óptica puede alcanzar a diferentes lugares relativos. FTTX llamado fibra a la X o Fiber to the X es una expresión colectiva que se utiliza para representar varios tipos de arquitecturas de red de banda ancha, es decir la "X" en "FTTx" simboliza hasta el lugar donde llega la fibra en particular que a su vez puede ser una casa, un gabinete o cualquier local de usuario final. Con respecto a las otras redes posee ventajas como tasas de transmisión, menor consumo de energía, velocidad y la capacidad; por tal motivo las viejas redes establecidas en cobre están siendo sustituidas por FTTx. Por lo tanto, existen varias arquitecturas como fibra hasta el hogar (FTTH), fibra hasta el edificio (FTTB), fibra hasta el nodo (FTTN) y fibra hasta la acera (FTTC) (Borzycki, 2018, pp. 5-7).

1.1.1. Arquitectura de redes ópticas (FTTX)

La arquitectura FTTX halla la utilización en la conexión de última milla. La red se extiende desde las instalaciones del usuario final (dispositivos finales) hasta el borde de la red del operador (OLT) tal como se observa en la Ilustración 1-1.

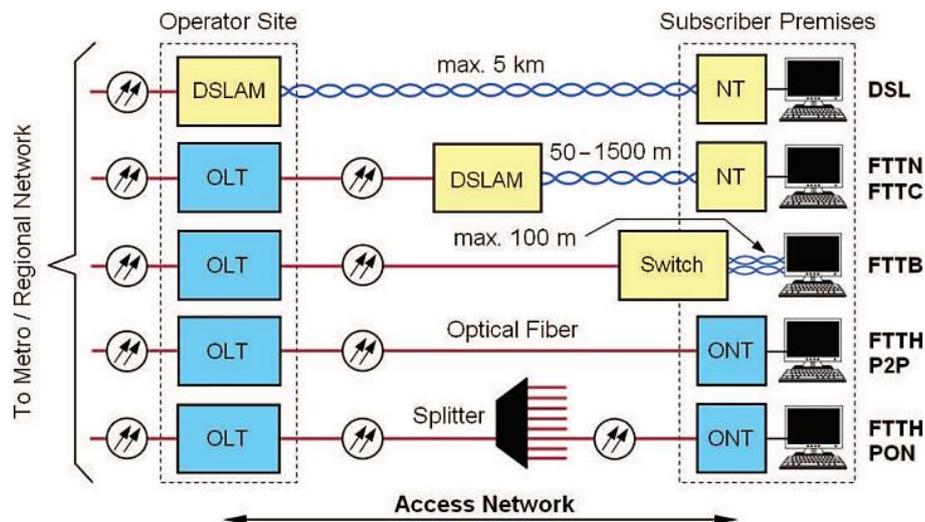


Ilustración 1-1: Redes de acceso de banda ancha FTTX

Fuente: (Borzycki, 2018, p. 6)

1.1.2. Tipos de redes ópticas (FTTX)

Los tipos de las redes ópticas son:

Redes FTTN

FTTN distinguido como la fibra hasta el nodo, en el cual la fibra óptica termina al llegar al primer armario de la calle, de aquel lugar el recorrido hasta las instalaciones del cliente se realiza conexión con cable coaxial y par trenzado, esta última conexión obtiene la distancia hasta aproximado de 1500 metros; con esta conexión se obtiene un rango de velocidades de datos a 20–40 Mbps y se utiliza para brindar servicios de telecomunicaciones como audio, video y datos, más conocido como triple play. FTTN es semejante a FTTC (Keiser, 2006, pp. 173-177).

Redes FTTC

Esta red es semejante a FTTN, más conocido como fibra hasta la casa; donde el primer armario o poste de la calle está más cerca de las instalaciones del usuario, con una distancia de 300 m, el cual utiliza la última milla el cable de cobre de gran ancho de banda, como par trenzado cortos y Wi-Fi inalámbrico. Alcanza velocidades de datos de hasta 100 Mbps (Keiser, 2006, pp. 173-177).

Redes FTTB

Se denomina fibra hasta el edificio, donde la fibra óptica que llega hasta el borde del edificio de vivienda múltiple, la conexión final con el espacio reducido individual se realiza a través de medios alternativos, similares a la tecnología de postes o bordillos que explico anteriormente. La transmisión de datos es 1 Gbps, usualmente se obtiene 100 Mbps (Keiser, 2006, pp. 173-177).

Redes FTTH

Es aquella red que se nombra fibra hasta el hogar, es decir la fibra óptica extiende desde la OLT hasta ONT; esta arquitectura ofrece servicios de triple play (audio, video y datos) en las instalaciones del cliente, el recorrido de fibra óptica que empieza por OLT donde en el trayecto se divide la potencia por medio de equipos dando lugar un divisor en el rango de 8–128 fibras de distribución llegando a las instalaciones del cliente, estableciendo una red óptica pasiva (PON). La velocidad de transición de datos llega a 1,25 Mbps (Keiser, 2006, pp. 173-177).

1.2. Redes ópticas pasivas (PON)

Una red PON, es un sistema que utiliza la fibra óptica como medio de transmisión para transportar datos, la cual consta de un terminal de red óptica (OLT), que comúnmente se localiza en la oficina central de una empresa de comunicaciones y varias unidades de red óptica (ONU) cerca de los usuarios finales. La palabra pasivo se refiere al uso de dispositivos que no tiene requerimientos de energía ni partes electrónicas activas una vez que la señal se transmite a través de la red. Es decir que los elementos que componen la red óptica (entre el transmisor y el receptor) no tienen alimentación (Villacís, 2013, p. 27).

La red PON se reduce en la siguiente expresión: “El principio básico de PON es compartir la terminación de línea óptica central (OLT) y la fibra alimentadora a través de tantas unidades de red óptica (ONU) como sea práctico dada la óptica rentable” (Llallukka y Raatikainen, 2006, p. 20).

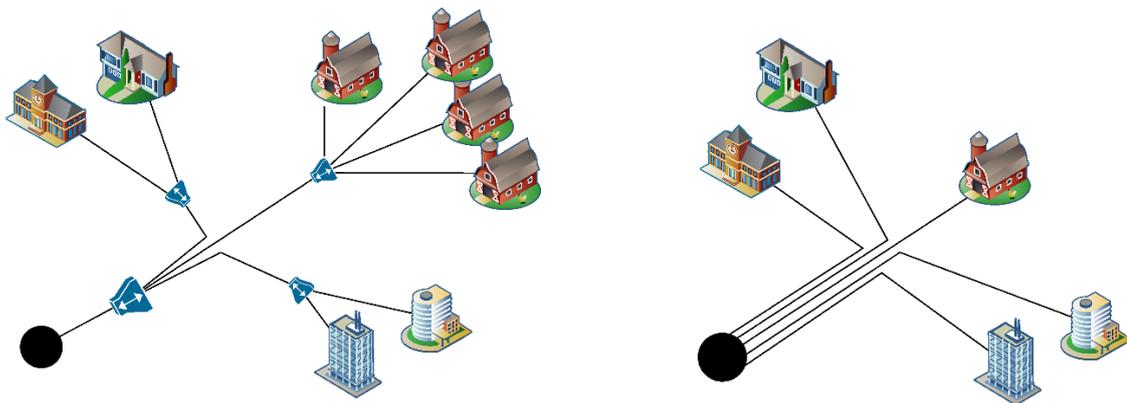


Ilustración 2-1: Esquema de una topología PON

Fuente: Horvath et al., 2020, p. 3

En la Ilustración 2-1 se puede observar, en la parte izquierda una topología punto a multipunto; mientras que, en la parte derecha se puede apreciar una topología punto a punto donde la diferencia radica que, la primera topología utiliza divisores potencia y es la más utilizada.

1.2.1. Tipos de redes PON

En la familia de redes PON existen varias tecnologías, en la actualidad existe una tecnología que domina y se ha convertido en un estándar dominante, a continuación, se detallan las más principales.

APON (Asynchronous Transfer Mode Passive Optical Network)

APON basada en la tecnología ATM que fue establecida por FSAN (*Full Service Access Network*), representa el primer estándar de una red pasiva óptica que fue aprobada en la Recomendación G.983.1 por la UIT en el año de 1998. APON especifica la manera de transmisión asíncrono como el protocolo de capa de enlace de datos (capa 2), tal que proporciona un estándar de red para la transmisión simultánea de servicios de voz y datos, con una velocidad descendente y ascendente de 622 Mbps y 155 Mbps respectivamente (Pasto, 2019, p. 27).

En la transmisión de datos en la dirección descendente, la celda ATM se compone de 53 bytes, en la cual está distribuida en el encabezado 5 bytes y 48 bytes a datos. Para el sentido ascendente cambia ya que se utiliza ráfagas de 54 celdas ATM (Marchukov, 2011, p. 31).

BPON (Broadband Mode Passive Optical Network)

Esta tecnología BPON conocida como banda ancha, la cual está definido por la UIT en la Recomendación G.983 que fue aprobado en el año 2001. La aprobación de esta Recomendación indujo a optar la multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Esta tecnología es en base al estándar anterior descrita (APON) y utiliza las mismas tasas de transferencia para la transmisión. La solución es la capacidad de enlazar múltiples canales en una sola fibra óptica para no ser transmitido por separado. BPON es una tecnología de generación pasada tiene la capacidad de soportar alta tasa de datos, voz y video para los usuarios finales en pequeñas empresas y viviendas residenciales, por el motivo que es flexible y escalable dando así una característica solida de QoS (Chi et al., 2009, p. 2).

EPON (Ethernet passive optical network)

El concepto de la tecnología EPON es *Ethernet* desarrollada por el Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE) con el estándar Ethernet 802.3ah y posteriormente publicó en septiembre del año 2004. A diferencia de las tecnologías anteriores el tráfico mediante celdas ATM cambia a Ethernet es decir al tráfico IP que utiliza la multiplexación WDM con un alcance de hasta 20 km. La tasa de transferencia de bits o la velocidad alcanza a 1,25 Gbits/s, tanto en sentido ascendente y descendente (Altamirano, 2017, pp. 14-15).

EPON es absolutamente compatible con otros estándares de Ethernet, por lo que no se requiere conversión ni encapsulación cuando se conecta a redes basadas en Ethernet en cualquiera de los

extremos. Se utiliza la misma trama Ethernet con una carga útil de hasta 1518 bytes (Marchukov, 2011, pp. 34-35).

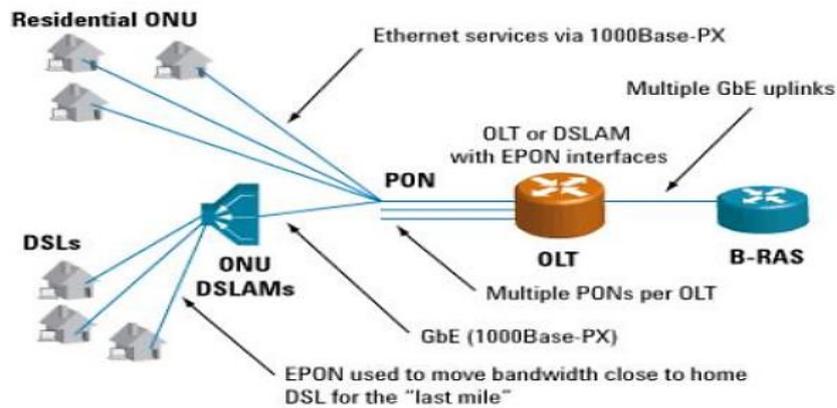


Ilustración 3-1: Esquema de una red EPON

Fuente: (Marchukov, 2011, p. 34)

1.3. Estructura de red PON (FTTH)

PON transmite tráfico mediante acceso múltiple por división de tiempo (TDMA) y los datos ascendentes y descendentes utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Por lo tanto, es una arquitectura que alcanza una distancia de 20 km y proporciona servicios (Telefonía IP, IPTV o Vídeo RF e internet) hasta 64 usuarios finales con una sola línea óptica. Como se observa en la figura 4-2, esta red contiene elementos como terminales de línea óptica (OLT), terminal de red óptica (ONT) y red de distribución óptica (ODN) (Tomás y Payá, 2019, p. 14).

A continuación, se explica los diferentes elementos que contiene la red PON:

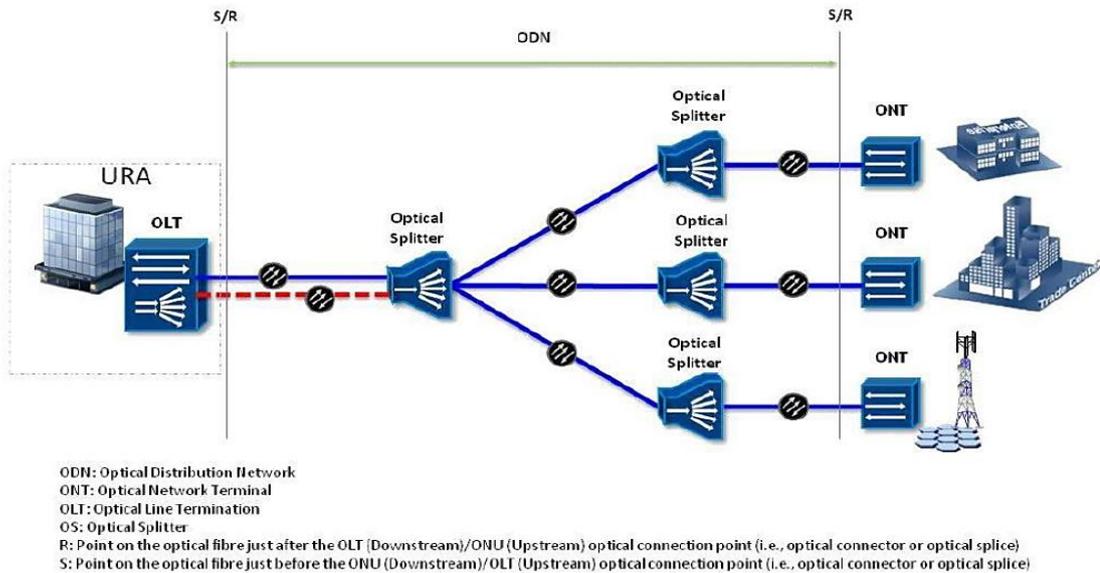


Ilustración 4-1: Esquema de una red PON (FTTH)

Fuente: (Tomás y Payá, 2019, p. 14)

1.3.1. Elementos de una red PON (FTTH)

Los elementos de una red PON son los siguientes:

OLT (Optical Line Terminal)

La OLT es un dispositivo que utiliza como puesto final de su ISP de una estructura PON y convierte en señal eléctrica la señal óptica en forma de haces de luz que se envían de la ONU. También facilita la interfaz entre una red PON y la red central (ISP), es decir una OLT es un equipo ISP. Estos equipos habitualmente aceptan hasta 72 puertos. Este dispositivo es sustancial de la implementación, ya que aquí se vinculan los servidores que dan servicio Triple Play a los usuarios. Desde la OLT se conecta el cable primordial de la fibra óptica por donde se envía y recibe todo el tráfico de la red. Este dispositivo trabaja una fuente de alimentación de 110 o 220 voltios (Juan, 2018).

ONT (Optical Network Terminal)

La ONT es el dispositivo que utiliza como punto final de la cadena de telecomunicaciones de la red PON en su extremo, es decir en el sitio donde se encuentra el cliente. También se conoce como unidad de red óptica (ONU). ONU y ONT son semejantes con la diferencia que utilizan indistintamente, en pocas palabras, una ONT/ONU son dispositivo que se encuentran al lado del usuario y enviará sus señales de vuelta a la OLT.

La ONT interviene como un módem óptico y se comunica con su ISP a través de un cable de fibra óptica. La ONT recibe, analiza y envía datos del usuario en sentido ascendente a la OLT y recibe datos en el canal ascendente (Juan, 2018).

ODN (Optic Distribution Network)

ODN es una red FTTH que contiene equipos y componentes de la instalación en redes PON, y su función es proveer un canal de transmisión óptica entre OLT y ONU. Desde el punto de vista práctico, el ODN se consigue dividir en cuatro partes, el subsistema de cable óptico de alimentación, el subsistema de cable óptico de distribución, el subsistema de cable óptico de línea doméstica y el subsistema de terminal de fibra óptica desde la oficina central hasta el extremo del cliente. La sección de alimentación desde el ODF (marco de distribución óptica) de la sala de la oficina central hasta el punto de distribución del cable óptico se emplea como cable óptico troncal para lograr una cobertura de larga distancia; la sección de distribución desde el punto de distribución del cable óptico hasta el punto de acceso del usuario es hasta el área del usuario a lo

largo del cable óptico alimentador Llevando a cabo la distribución más cercana de fibra óptica (Tomás y Payá, 2019).

Divisor óptico (*Splitter*)

Como medio de transmisión entre la OLT y ONU es la fibra óptica, por tal razón el divisor divide la potencia de la señal para dar servicio a varios dispositivos desde una sola fibra de entrada. Donde el divisor óptico pasivo maneja una serie de guías de onda de dióxido de silicio para dividir una fibra de uno a dos o más hilos. Cada enlace de fibra que ingresa en el divisor puede dividirse en una cantidad determinada de fibras, por lo tanto, el número de salidas en el divisor establece la cantidad de divisiones que ocurren. Esto admite que varios usuarios compartan cada fibra (Agalliu et al., 2018, pp. 2-3).

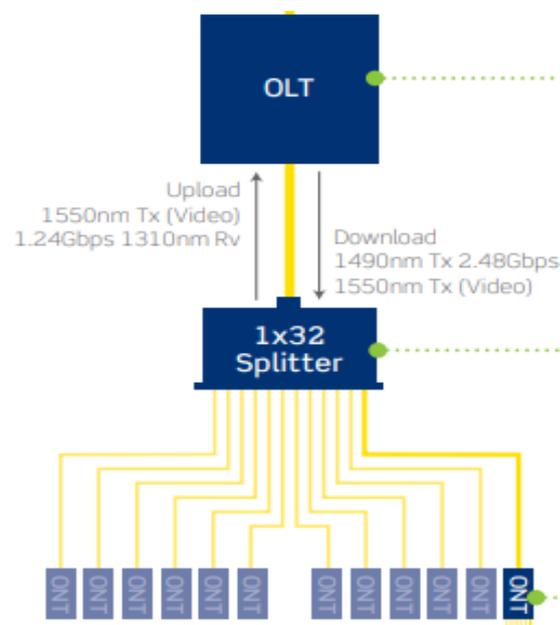


Ilustración 5-1: Divisor óptico de 1:32

Fuente: (McCloud, 2020, p. 4)

El *splitter* tiene las características de un amplio rango de longitud de onda, disminución en pérdida de inserción y uniformidad, dimensiones mínimas, alta confiabilidad, política de protección y supervivencia de red compatible (McCloud, 2020, p. 4).

Aproximadamente -3dB de pérdida ocurre en cada división, de tal modo, la máxima cantidad de divisiones que va a tener un *splitter* es de 64 hilos de fibra con una atenuación de 18.07 dB como se muestra en la Tabla 1-1:

Tabla 1-1: Perdidas de acuerdo con el número de divisiones

| Numero de divisiones | Splitter (1: N) | Perdida Típica (dB) | Máxima Perdida(dB) |
|-----------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 2 | 1:2 | 3,01 | 3,8 |
| 4 | 1:4 | 6,02 | 7,2 |
| 8 | 1:8 | 9,03 | 10,3 |
| 16 | 1:16 | 12,0 | 13,5 |
| 32 | 1:32 | 15,04 | 16,7 |
| 64 | 1:64 | 18,07 | 20,4 |
| 128 | 1:128 | 21,08 | 22,8 |

Fuente: (Agalliu et al., 2018, pp. 2-3)

Conectores

Son conectores que termina los extremos del cable de fibra óptica, de modo que exista una conexión y desconexión con otros dispositivos semejantes, siendo más eficaz que los empalmes tradicionales, su función principal es mantener la conexión. Para que exista una comunicación sin perdidas de información las fibras de vidrio microscópicas conviene alinearse correctamente por completo (Pasto, 2019, p. 34).

Los conectores de fibra óptica facilitan una técnica para unir los extremos de dos fibras ópticas. Esa articulación no es para siempre, pero se consigue abrir y cerrar algunas veces. Estos conectores ópticos son importantes para la red en los que es preciso tener flexibilidad en cuanto a la configuración y prueba de la red acceso. Existen varios tipos de conectores cuya utilización dependerá del tipo de aplicación y dispositivo, a continuación, se describirá algunas de ellas (Chomycz, 2015, pp. 137-147).

- **Conector LC (Conector Lucent):** Desarrollado por Lucent Technologies, el conector de fibra óptica LC se ha convertido en el Conector de fibra omnipresente para las aplicaciones de telecomunicaciones ópticas actuales, principalmente para conexiones con transceptores de fibra SFP y SFP+. El conector de fibra LC tiene una férula de 1,25 mm, lo que lo forma perfecto para cableado de alta densidad. Hay conector LC monomodo y conector LC multimodo dependiendo de la fibra óptica a utilizar. Y según la construcción del conector, el conector LC también se puede dividir en conector LC dúplex y simplex.

- **Conector SC (Suscriptor Conector):** A diferencia del conector LC, los conectores de fibra SC usan una férula redonda de 2,5 mm para retener una fibra monomodo (SMF). Y tiene un cuerpo conector de forma cuadrada. Debido a su excelente trabajo, estos conectores siguen siendo el segundo conector más común. El conector de fibra SC es ideal para comunicaciones de datos y telecomunicaciones aplicaciones que incluyen punto a punto y redes ópticas pasivas.
- **Conector ST (Straight Tip):** El conector de fibra ST fue creado y autorizado por ATT y es uno de los conectores más populares. Posee una atenuación de inserción de alrededor de 0,25 dB y retiene la fibra con una férula de cerámica de 2,5 mm con resorte que se conserva en su lugar con una montura de bayoneta de media vuelta. El conector de fibra ST se usa generalmente en aplicaciones de larga y corta distancia, como campus y aplicaciones de fibra multimodo de construcción, entornos y aplicaciones militares de redes corporativas.
- **Conector FC (Ferrule Conector):** El conector de fibra FC fue el primer conector de fibra óptica en utilizar una férula de cerámica, pero a diferencia de los conectores SC y LC con cuerpo de plástico, emplea un accesorio tipo tornillo redondo. Fabricado en acero niquelado o inoxidable. La cara del extremo del conector FC se fundamentó en una guía de formación para una inserción adecuada y luego se aprieta al adaptador/conector empleando un collar roscado. A pesar de la complejidad tanto en la fabricación como en la instalación, el conector FC sigue siendo el conector de elección para una medición precisa para equipos como OTDR, así como la elección de fibra monomodo.



Ilustración 6-1: Tipos de conectores ópticos

Fuente: (Pasto, 2019, p. 34)

1.4. GPON

GPON con sus siglas en inglés Gigabit-capable passive optical network, son redes que dependen de cables ópticos para entregar información que no solo envía tráfico Ethernet, sino también ATM y TDM (PSTN, ISDN, E1 y E3), es decir el modo de transferencia asíncrono (ATM) para voz, Ethernet para datos y encapsulación patentada para voz. Este estándar es una red óptica pasiva de punto a multipunto ofrece una relación de hasta 1:64 en una sola fibra.

Definido por la organización ITU en la recomendación ITU-T G.984.X, fue aprobado en el año 2003, ha alcanzado una tasa de transmisión de 2.48 Gbps de bajada y 1.24 Gbps de subida. GPON permite servicios de triple play es decir que admite voz, videos y datos, dando como resultado gran ancho de banda y largo alcance (hasta 20 km) (Holik et al., 2019, p. 4).

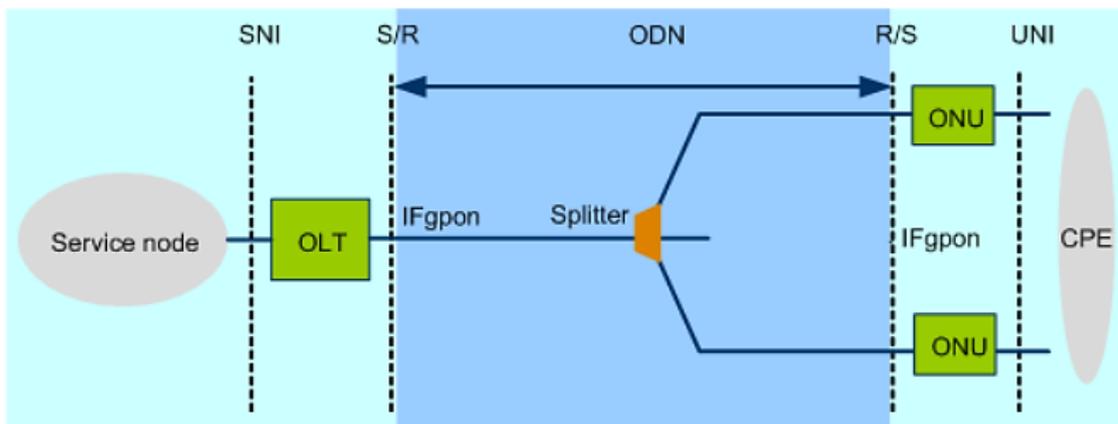


Ilustración 7-1: Esquema de una red GPON

Fuente:(Geng, 2018)

A continuación se encuentra el significado del siguiente esquema:(Geng, 2018)

- **IFgpon:** Interfaz GPON
- **SNI:** interfaz de nodo de servicio
- **UNI:** interfaz de usuario a red
- **CPE:** Equipo en las instalaciones del cliente

En la Ilustración 7-1 se observa un sistema GPON consta de un terminal de línea óptica (OLT) que conecta varios terminales de red óptica (ONT/ONU) mediante una red de distribución óptica pasiva (ODN).

1.4.1. Características de la red GPON

La red GPON utiliza rangos de velocidad de transmisión. En dirección descendente, se pueden emplear 1244 o 2488 Mbps, y se admiten 155, 622, 1244 y 2488 Mbps en sentido ascendente. La opción más común es una variante asimétrica con una tasa de descarga de 2488 Mbps y de carga de 1244 Mbps. Con las versiones anteriores, las velocidades se permiten de 155 Mbps y 622 Mbps; por lo tanto, se conserva la compatibilidad. Los siguientes rangos de longitud de onda están reservados para la transferencia: dirección descendente, el rango es de 1480 nm a 1500 nm, y en el sentido ascendente, el rango es de 1260 nm a 1360 nm. Para la transmisión de señales de video, se puede agregar un rango adicional de longitudes de onda de 1550 a 1560 nm (Horvath et al., 2020, p. 11).

Las características principales se describen a continuación: (Ali et al., 2021, p. 4)

- Protocolo GPON es compatible con el servicio de triple play, además de varias opciones de velocidad de datos efectuadas en el mismo protocolo.
- Habilidades en Operación, Administración, Mantenimiento y Provisión (OAMP), especialmente con servicios de extremo a extremo.
- Multicas, calidad y una transmisión de alta seguridad está disponible cuando está en el sentido descendente del protocolo estándar. Se establece una longitud de onda para la transmisión de datos (internet, VOIP, IPTV, etc.) de bajada 1480 nm y para el tráfico de subida 1310 nm. Cuando usa el WDM para el servicio de broadcast de video RF (HDTV y video bajo demanda) se utiliza otra longitud de onda de 1550 nm.
- La cobertura de al menos 20 km, con soporte para trayectos moderados de hasta 60 km de manera lógica, GPON puede presentar 1,2 Gbps en sentido ascendente y 2,4 Gbps en sentido descendente.

De acuerdo con la recomendación G.652 existen varias clases del estándar GPON, la característica principal es el rango de atenuación donde no puede sobrepasar en el momento de la implementación, tal como se observa en la Tabla 2-1.

Tabla 2-1: Diferentes clases de GPON con sus pérdidas respectivas

| Clase | Atenuación min. | Atenuación máx. | Recomendación | Año |
|-------|-----------------|-----------------|---------------|-----|
|-------|-----------------|-----------------|---------------|-----|

| | | | | |
|---------------|----|----|----------------------|------|
| GPON clase A | 5 | 20 | G.982.2 | 2003 |
| GPON clase B | 10 | 25 | G.982.2 | 2003 |
| GPON clase C | 15 | 30 | G.982.2 | 2003 |
| GPON clase B+ | 13 | 28 | G.982.2 (Enmienda 1) | 2006 |
| GPON clase C+ | 17 | 32 | G.982.2 (Enmienda 1) | 2008 |

Fuente: (Yäätte, 2012, p. 14)

1.4.2. Formatos de trama

El estándar GPON emplea un tipo de capa levemente modificado que impide la compatibilidad con versiones anteriores. El proceso de tramas se estableció sobre la división del tiempo. Por lo tanto, las tramas están fijadas por un intervalo de tiempo de 125 μ s mas no por tamaño de bit. Estableció la comunicación bidireccional como full-duplex, pero la transmisión ascendente y descendente es diferente; sin embargo, las unidades de datos siempre transmiten de manera individual empleando la técnica de encapsulación GEM. La dimensión de las tramas GEM no es fijo porque forma de un encabezado de 5 bytes y datos transmitidos de 0 a 4095 bytes. Si el tamaño máximo de tramas excede con los datos del usuario procede a fragmentar en varias tramas. Además de la información de trama, el encabezado también posee mensajes PLOAM que admiten el monitoreo de red (Llallukka y Raatikainen, 2006, p. 37; Holik et al., 2019, p. 4).

Downstream

La trama descendente (*Downstream*) posee una duración de 125 μ s y una longitud de 38880 bytes, la cual radica un bloque PCBd (control físico descendente) y carga útil. La trama es transmitida por medio de OLT que consta del encabezado GTC y MWmap. Donde PCBd consta a algunos elementos tal como se observa en la Ilustración 8-1: (Holik et al., 2019, pp. 4-5).

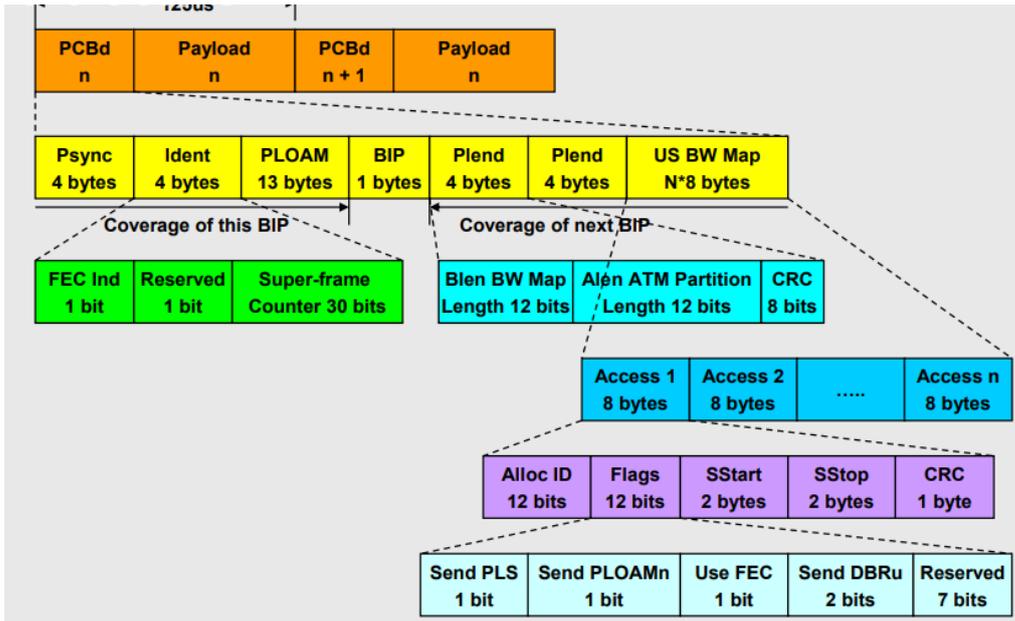


Ilustración 8-1: Estructura de la trama *Downstream*

Fuente: (Huawei, 2022)

Upstream

Esta trama ascendente (*Upstream*) que emite la ONU contiene una duración fija de 125 μ s y una longitud de 19440 bytes. Se envían una serie de tramas en forma de ráfagas, la cual cada ráfaga posee capa física (PLOu). El envío de la ONU es actualizada por OLT que envía una trama con un campo BWmap (mapa de ancho de banda) (Holik et al., 2019, pp. 4-5).

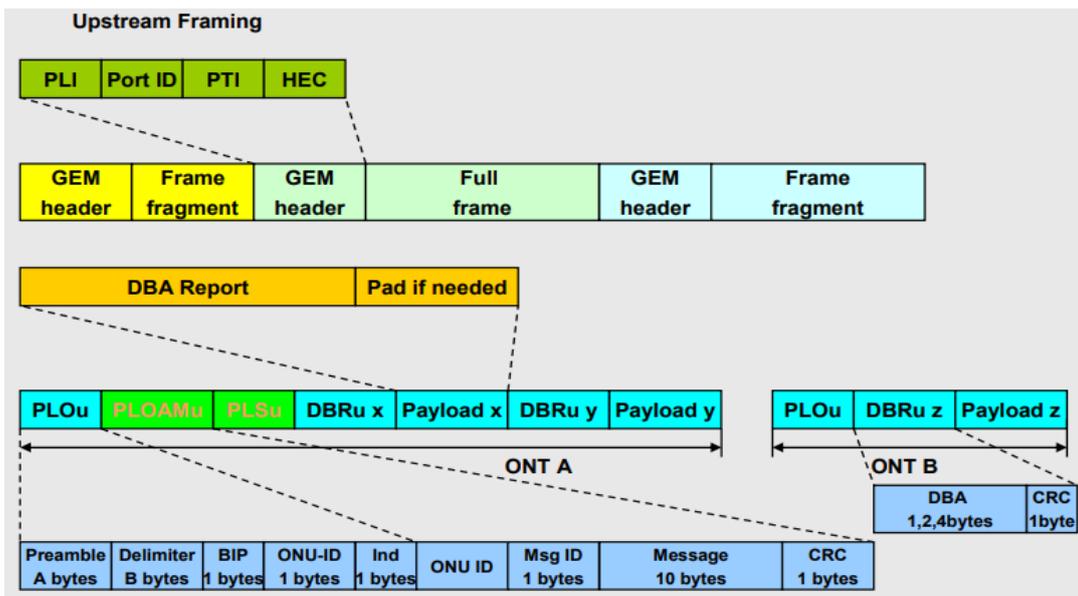


Ilustración 9-1: Estructura de la trama *Upstream*

Fuente: (Huawei, 2022)

1.4.3. Recomendaciones UIT-T G.984.X

La Recomendación por sus siglas ITU-T G.984.x (x=1,2,3,4,5,6,7) establecida por la Unión Internacional de Telecomunicaciones, es una familia de recomendaciones que especifica las redes de acceso a las telecomunicaciones de la red GPON. Salieron las primeras recomendaciones en los años 2003 y 2004, pero con el avance de la tecnología y alta demanda siguieron estableciendo nuevas actualizaciones. A continuación, se resume las características más importantes de la serie G.984.x:

ITU-T G.984.1

La Recomendación UIT-T G.984.1 refiere una red de acceso de fibra óptica flexible capaz de ser compatible con los requerimientos de ancho de banda de los servicios comerciales y residenciales, donde cubre los sistemas con velocidades de 2,4 Gbps en dirección descendente y de 1,2 Gbps y 2,4 Gbps en dirección ascendente. Tanto en dirección ascendente y descendente con capacidad gigabit se refieren a los sistemas de red GPON (ITU-T, 2018). Esta Recomendación presenta las normas y características generales para el diseño e implementación en una red GPON establecidas en los requisitos de servicio de los operadores.

ITU-T G.984.2

La Recomendación UIT-T G.984.2 alcanza a los sistemas con tasa de transmisión nominales de 1,2441 Gbps y 2,4883 Gbps en dirección descendente; y 155,520 Mbps, 622,080 Mbps, 1,2441 Gbps y 2,4883 Mbps en dirección ascendente. Esta Recomendación plantea los requerimientos de la capa física y especificaciones para la capa dependiente de medios físicos (PMD). También describe un sistema de desarrollo evolutivo y mantiene los requisitos descritos en G.983.1, para garantizar la continuidad con los sistemas que existente y la infraestructura de fibra óptica. Por último, refiere a diferentes presupuestos ópticos mejorados que admiten una extensión de atenuación de 4dB como el B+, C+ y D; para ampliar esa capacidad (ITU-T, 2019).

UIT-T G.984.3

En la Recomendación UIT-T G.984.3 relata sobre el entramado de la capa de convergencia de transmisión (GTC) para dispositivos pasivos con capacidad Gigabit en la tasa de transición. Las Redes ópticas tiene una familia de redes de acceso flexibles con capacidad de proveer una gama de banda ancha y banda estrecha en servicios al usuario. Donde los sistemas funcionan a velocidades de 1. 2441 Gbps y 2.4883 Gbps de bajada, y 155.52 Mbps, 622.08 Mbps, 1,24416

Gbps y 2,48832 Gbps de subida. También describe la operación, administración y mantenimiento (OAM) del canal de mensajería en la capa física, de esta manera se podrá apreciar el método de activación de los elementos de la red GPON como es la ONU con su respectiva seguridad y corrección de errores (ITU-T, 2014).

UIT-T G.984.4

La Recomendación UIT-T G.984.4 describe la interfaz de control y gestión (OMCI) de terminación de red óptica (ONT) para redes GPON en la cual admite la interoperabilidad de múltiples proveedores entre la terminal de línea óptica OLT y la ONT. Al especificar las entidades tramitadas de una base de información de gestión (MIB) cual sea protocolo que se utiliza para la comunicación entre la OLT (terminación de línea óptica) y la ONT (terminación de red óptica) (ITU-T, 2008). La OMCI acoge la gestión de la configuración ONT, fallos y el rendimiento para el funcionamiento de la red G-PON y para diferentes servicios, incluidos como: (ITU-T, 2008)

- Adaptación del modo de transferencia asíncrono (ATM);
- Adaptación del método de encapsulación G-PON (GEM);
- Servicio de emulación de circuitos y Ethernet, incluida la LAN con puente MAC;
- Servicios de voz
- Multiplexación por División de Longitud de Onda (MDW).

Estos servicios descritos anteriormente están en las ONT de fibra óptica hasta el hogar o negocio (red FTTH); sin embargo, también se aborda el soporte para unidades de red óptica (ONU).

UIT-T G.984.5

La Recomendación UIT-T G.984.5 define rangos de longitud de onda reservados para señales de servicio adicionales que se intercalarán mediante multiplexación por división de longitud de onda (WDM) en futuras redes G-PON para extender el valor de las redes de distribución óptica (ODN). También define rangos de longitudes de onda adicionales reservadas para señales de servicio adicionales que se superpondrán a través de WDM cuyas asignaciones de longitudes de onda toma como referencia la recomendación G.983 (ITU-T 2007). También define y proporciona algunas especificaciones que se describen en los siguientes puntos:

- Rangos de longitudes de onda (Descendente: 1480 nm – 1500 nm, Ascendente: 1290 nm – 1330 nm) y tolerancia en unidades de red óptica (ONU).

- Filtro de WDM discreto que combina y aísla las señales en sentido ascendentes y descendente en redes G-PON y las bandas de mejoradas en la OLT.
- Asignación de longitudes de onda para servicios NGA y servicios de distribución de vídeo.
- Técnicas para calcular el aislamiento solicitado para dispositivos WDM/CE/CEM.
- Banda de mejora de video descendente: 1550 nm – 1560 nm

1.5. XG-PON

Este estándar de la familia PON es una red de la próxima generación que es la versión mejorada de la red GPON, más conocido como 10G-PON que viene definidos por la UIT en la Recomendación G.987.x (X=1,2,3,4,5). La primera versión de este conjunto de normas describe las características básicas de la red XG-PON y fue aprobado en el año 2010. El estándar XG-PON, donde X es un número romano que muestra una tasa de transmisión de 10 Gbps. Desde el año 2007, se han estado elaborando estudios para desplegar una nueva generación de redes ópticas pasivas liderada por FSAN junto con la ITU. El principal objetivo es para concretar los requisitos para la PON de próxima generación, que se completó durante el año 2009. En consecuencia, de este estudio, se definió el estándar XG-PON. Esta red acogió muchas características de la red GPON, existen algunas diferencias como es el caso de la distancia que alcanza 40 km (Horvath et al., 2020, pp. 13-14).

XG-PON ha sido elaborado para varios despliegues de escenarios y de esta manera atender a varios clientes, como por ejemplos residenciales, negocio y área celular. Para atender a estos usuarios, enumera distintos servicios a proporcionar, como Telefonía, Internet de alta velocidad, backhaul móvil, etc.(Arokkiam et al., 2017, p. 5). Es decir, los servicios triples play que también otorga la red GPON.

En la siguiente figura se observa una topología de la red XG-PON, en el cual se puede apreciar que el esquema es similar a la red anterior que es la red GPON, donde los elementos para el diseño e implementación y los modos de transmisión (modulación tanto para downstream y *upstream*) se pueden coexistir entre sí sin mayor problema.

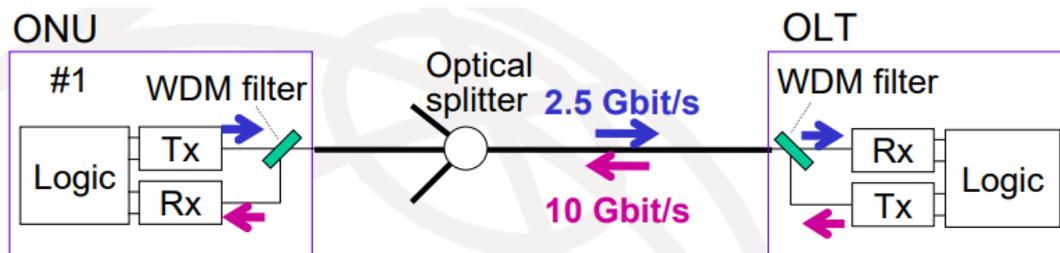


Ilustración 10-1: Esquema de la red XG-PON

Fuente: (Bourgart, 2010)

1.5.1. Fases del estándar XG-PON

La red XG-PON está dividida en dos fases que son: XG-PON1 y XG-PON2 donde la principal diferencia es la velocidad y para la implementación de este sistema es necesario realizar en dos fases, es decir primero la migración de la tecnología GPON a XG-PON1 por la capacidad que soporta la infraestructura y luego a XG-PON2; por motivos económicos para los proveedores y que la tecnología no es tan factible por lo equipos que implementan por tal razón han abandonado la investigación de esta última tecnología (XG-PON2). A continuación, se describirá las dos fases de esta red.

XG-PON1

Los detalles generales del estándar XG-PON1 fueron terminados en octubre en el año 2009 y publicado en marzo del año 2010. Los detalles principales son el rango de longitud de onda para enviar la señal en sentido descendente es de 1575 nm a 1580 y en sentido ascendente es de 1260 nm a 1280nm, porque es la única banda de longitud de onda que el sistema puede otorgar servicios de vídeo de superposición de RF. La tasa de transición o más conocido como la velocidad alcanzan a 10 Gbps en dirección descendente y la velocidad de subida es de 2.5 Gbps (Batagelj et al., 2012, p. 3).

XG-PON2

La entidad FSAN y UIT-T aún no ha logrado una aprobación sobre la orientación de XG-PON2, por motivos que no está claro si la fragmentación va a ser soportada en dirección upstream en esa tasa de transmisión y qué impactos tendría en el DBA (*Dynamic bandwidth Assignment*) o se podría plantear un algoritmo para los sistemas NG-PON1. En algunos casos los expertos ven como un progreso mínimo por los cambios que son similares en los protocolos de *framing*, TC y gestión. Opera en velocidades de 10 Gbps tanto para el sentido upstream y downstream (Batagelj et al., 2012, p. 4).

En el caso de esta tesis solo se centrará en la red XG-PON1 por la descripción anterior.

1.5.2. Características del estándar XG-PON

Algunas características son similares al estándar anterior por tal razón se describirán las más importantes a continuación: (Ortega y Kevin, 2018, p. 42; Bourgart, 2010)

- Conserva una velocidad de 2.5 Gbps y 10 Gbps en dirección ascendente y descendente respectivamente.
- Esta red alcanza una distancia máxima de 40 km y 60 km de manera lógica
- El divisor de potencia óptica o más conocido como *splitter* tiene una relación de 1:128 siendo esto la capacidad máxima.
- El mecanismo de transmisión se basa en multiplexado en el tiempo, donde en dirección descendente utiliza TDM, mientras en dirección ascendente se emplea TDMA
- Conserva principios de la capa TC y asignación dinámica de ancho de banda
- Requerimientos QoS y gestión de tráfico
- Con la recomendación G.988 permite la Operación remota de la ONU a través de OMCI
- Los Mecanismos de seguridad mejoran la eficiencia que poseía con el estándar anterior
- Opciones mejoradas de ahorro de energía y sincronización que habilitan dispositivos móviles y aplicaciones de transporte de retorno
- ODN más eficiente y supervisión del rendimiento

Una de las principales características es el rango de atenuación donde se puede observar las pérdidas máximas y pérdidas mínimas de acuerdo con la clase del estándar tal como se observa en la tabla 3-2.

Tabla 3-1: Diferentes clases del XG-PON con sus respectivas atenuaciones

| Clase | Atenuación min. | Atenuación máx. | Recomendación | Año |
|-----------|-----------------|-----------------|---------------|------|
| XG-PON N1 | 14 | 29 | G.987.2 | 2010 |
| XG-PON N2 | 16 | 31 | G.987.2 | 2010 |
| XG-PON E1 | 18 | 33 | G.987.2 | 2010 |
| XG-PON E2 | 20 | 35 | G.987.2 | 2010 |

Fuente: (Yañe, 2012, p. 14)

1.5.3. Formato de Tramas

La capa TC del sistema XG-PON se establecerá básicamente en el protocolo TC del estándar GPON. Por lo tanto, esta nueva capa denomina XG-PON TC que se designa con las siglas XGTC que fueron diseñados para simplificar la arquitectura existente que se encuentran introducido en G-PON, que este caso el modo de transferencia ATM quede obsoleto. Por otra parte, realizaron algunas mejoras como el caso del canal PLOAM al hacerse más flexible y admitir múltiples mensajes en un mismo cuadro, con esta mejora se amplía la longitud del mensaje, de tal manera que todas las comunicaciones solicitan varios PLOAM que fue lo contrario del estándar anterior (Effenberger et al., 2009, p. 3).

La capa XGTC está integrado por tres subcapas denominada subcapa de adaptación de servicio, subcapa de trama y la subcapa de adaptación PHY. La subcapa de adaptación del servicio está destinado a los conceptos de trama del método de encapsulación XG-PON (XGEM frame) y XGEM Port-ID, la cual permite las funciones de la unidad de datos de servicio (SDU) (datos de usuario, trama y tráfico del OMCI) fragmentación y reensamblaje. La subcapa de trama contiene la estructura de los 125 μ s en la trama XGTC; es compatible con las funciones de encapsulación y delimitación de ráfagas, procesamiento en las operaciones, administración y mantenimiento (OAM). La subcapa de adaptación PHY contiene los asuntos de corrección de errores en el envío (FEC), codificación de línea y sobrecarga de las ráfagas (Effenberger et al., 2009, p. 4).

Existen tramas tanto para downstream y upstream donde a continuación se explicará los más principal y la diferencia con el estándar anterior

Downstream

Esta trama descendente es similar al estándar GPON, en la cual constituye con un encabezado y sección de cara útil. Posee una duración de trama de 125 μ s con una longitud de 155520 bytes, donde opera con una tasa de transmisión de 9.9532 Gbps. Existen campos en la trama tal como se observa en la figura 7-2, como es el caso del PCBd, es el encargado que cuando llena con sobrecarga empieza a controlar e informar a la ONU y se envía una transmisión desde la OLT a las ONU. El encabezado la trama tiene una longitud de 24 bytes y se subdivide en 3 campos, PSync, PON-ID y Súper trama de conteo, estos tres campos tienen una longitud de 8 bytes. La Sincronización física (PSync) es utilizado por la ONU para sincronizar el flujo de bits entrante (Horvath et al., 2020, p. 17).

El campo Lend se denomina campo Longitud descendente y tiene 3 campos, Blen, Pleno y HEC. Campo BWMap Length (Blen), da una indicación al mapa del ancho de banda de longitud, este campo tiene una longitud de 11 bits. El siguiente campo es Plen tiene la longitud del PLOAM

mensajes y está compuesto por 8bits. El último campo en la partición Len, tiene 13 bits y proporciona funciones de detección y corrección de errores para el encabezado (Alves, 2010, p. 66).

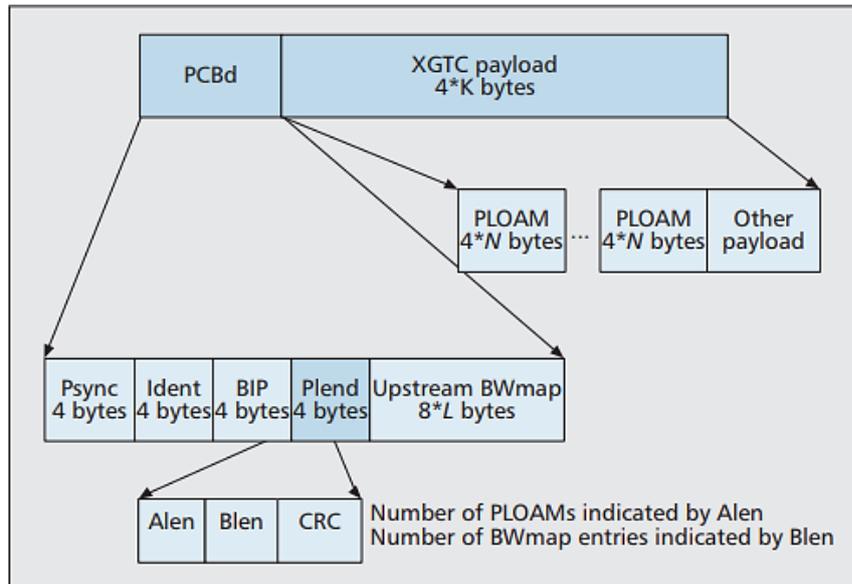


Ilustración 11-1: Estructura de la trama *downstream*

Fuente: (Effenberger et al., 2009)

Upstream

La estructura de la trama ascendente XG-PON es idéntica que el estándar G-PON. El formato de la trama en sentido ascendente es completamente distinto sin embargo la duración de la trama es la misma (125 μ s) y contiene un encabezado y una sección de carga útil como en la trama descendente. El campo de la sobrecarga de la capa física Upstream se denomina PLOu. Los dos primeros campos del PLOu se rellenan con un Preámbulo y Bytes delimitadores. El campo ONU-ID contiene el ID exclusivo de la ONU emisora. El campo se utiliza para remitir un informe de estado de la ONU en tiempo real a la OLT. El DBRu es un campo de 4 bytes que transmite el informe de asignación dinámica de ancho de banda del T-CONT para la carga útil que habiendo enviado en los siguientes campos de carga útil de la trama actual de la ONU (Alves, 2010, p. 68).

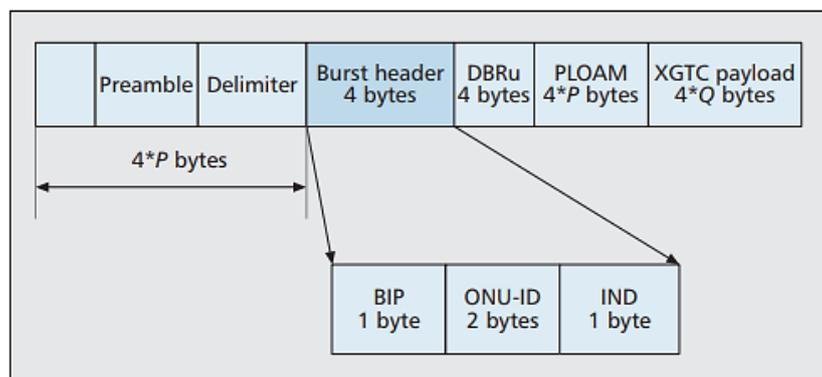


Ilustración 12-1: Estructura de la trama *Upstream*

Fuente: (Effenberger et al., 2009)

1.5.4. Recomendación UIT-T G.987.X

XG-PON es un estándar con capacidad de transmitir 10 Gbps, lo que lo hace transición de ancho de banda en redes PON y puede acoplarse con cualquier tipo de red FTTx. El objetivo primordial de este estándar es coexistir con las redes GPON, también ofrece al usuario el desarrollo de servicios de nueva generación como: videoconferencias, IPTV, HDTV, servicios triples play, entre otros. Esta recomendación que describe definiciones, conjunto de protocolos, especificaciones, acrónimos y abreviaturas en la serie UIT-T G.987.x (x=1,2,3,4), que se encuentra formado por cuatro documentos técnicos que se describirán a continuación.

UIT-T G.987.1

La Recomendación UIT-T G.987.1 explica los requerimientos generales de los dispositivos pasivos con capacidad de 10 Gbps del estándar XG-PON, con el fin de guiar y motivar la capa física y la especificación de la capa de convergencia de transmisión. Estos requisitos generales incluyen ejemplos de servicios, requerimientos de capa física, interfaces de red de usuario (UNI) e interfaces de nodo de servicio (SNI), así como la implementación principal y las configuraciones requeridas por los operadores de red. También contiene el sistema y requisitos operativos para satisfacer las necesidades de apoyo a diversos negocios y aplicaciones residenciales. Esta recomendación también determinó la migración de escenario de la red GPON a la red XG-PON ya que existe coexistencia entre los dos estándares (ITU-T 2016a).

UIT-T G.987.2

La Recomendación UIT-T G.987.2 refiere a los requisitos y especificaciones de la capa dependiente de medios físicos (PMD). Las bandas de mejora de longitud de onda se representan en la Recomendación UIT-T G.987.1 y la capa de convergencia de transmisión (TC) se describe en Recomendación UIT-T G.987.3. Esta Recomendación refiere a un sistema que representa un desarrollo evolutivo desde los sistemas descritos en la serie ITU-T G.984. Donde esta recomendación conserva los requisitos de la Recomendación ITU-T G.984.1 para garantizar la máxima continuidad con sistemas e infraestructura de fibra óptica existentes. En esta serie se crearon dos enmiendas (ITU-T, 2016).

La enmienda 1 continúa con el mantenimiento y la evolución de la capa dependiente de medios físicos (PMD). Incluye actualizaciones técnicas y correcciones para cambiar referencias de XG-PON1 a XG-PON, sustituyendo la máscara del diagrama de ojo para el transmisor ONU, y corrigiendo la máscara de tolerancia X/S para la ONU.

La enmienda 2 a diferencia de la enmienda 1 cambia al momento de sustituir la máscara del diagrama de ojo para el transmisor ONU, actualización de la especificación descendente DD40, de tal manera que siga corrigiendo la máscara de tolerancia X/S para la ONU y actualización de la máscara de tolerancia X/S para OLT.

UIT-T G.987.3

En la Recomendación UIT-T G.987.3 hace referencia a un capa que es de mayor importancia como es la convergencia de transmisión que se utiliza el estándar XG-PON en una familia de sistemas de red de acceso flexible que se comunican en una de las arquitectura más conocidas de fibra óptica como el de punto a multipunto que ha ido evolucionando con el paso del tiempo y es una de las más utilizadas actualmente, porque nos brinda servicios de buena calidad en las bandas tanto ancha y estrecha (ITU-T, 2014). Asimismo, esta recomendación nos describe el método de encapsulación, trama de la capa de convergencia de transmisión, subtrama de adaptación PHY, canal de mensaje PLOAM, activación de la ONU y la seguridad del estándar XG-PON. De la misma manera existen dos enmiendas que son: (ITU-T, 2014)

La enmienda 1 aumenta el concepto ITU-T G.987.3 de asignación de ancho de banda dinámica cooperativa (DBA) y trama general de DBA, que se han desarrollado en el contexto de ITU-T G.989.3, y amplía el número máximo de la serie de asignación de ráfagas por ONU en un BWmap a 16. La enmienda 2 alinea la tabla de clases de la red de distribución óptica (ODN). También corrige algunos pequeños errores gráficos en las figuras de la recomendación anterior.

UIT-T G.987.4

La Recomendación UIT-T G.987.4 explica la arquitectura y los parámetros de interfaz con alcance ampliado al utilizar la capa física del dispositivo de extensión, como un regenerador o amplificador óptico en el enlace de fibra entre la OLT y ONU. También hace referencia a la extensión óptica de los esquemas y arquitecturas con los otros estándares (GPON), conversión de longitud de onda, modo continuo, 1: N y extensores de alcance de tipo combinado. El alcance máximo es de hasta 60 km de manera lógica con presupuestos óptico de pérdida de más de 28,5 dB (ITU-T, 2012).

1.6. Comparación de parámetros entre GPON vs XG-PON

Al constante crecimiento de la demanda por parte de los usuarios ya sea para una empresa o el hogar, se requieren mayor velocidad y ancho de banda, por tal razón una vez que se tenga implementado el estándar GPON puede migrar hacia la red XG-PON ya que hay coexistencia entre ambas partes, donde el estándar XG-PON nos ofrece una mejora con respecto al otro estándar.

Debido a que existen compatibilidad entre los dos estándares o es decir que pueden coexistir ambas redes tanto en infraestructura, así como los métodos de transmisión, y de esta manera no sea afectado los servicios al usuario final, se identificó los principales parámetros para la comparación y observar la diferencia entre ambos estándares tal como se observa en la siguiente Tabla 4-1:

Tabla 4-1: Principales parámetros de calidad para la comparación

| Identificación | Característica | G-PON | XG-PON |
|------------------------------------|---|-----------------------------|------------------------------|
| Estándar/recomendación | | UIT-T G.984.x | UIT-T G.987.x |
| Año de aprobación | | 2003 | 2010 |
| Fibra óptica | Cantidad para transmisiones | 2 | 1 |
| Velocidad de transmisión (Canales) | Downstream | 2.4 Gbps | 10 Gbps |
| | Upstream | 1.2 Gbps | 2.5 Gbps |
| Longitud de onda | Downstream | 1480 nm - 1500 nm | 1575 nm - 1580 nm |
| | Upstream | 1260 nm - 1360 nm | 1260 nm - 1280 nm |
| Capas | Subcapa de adaptación y entramada en la capa TC | Si | Si, además la subcapa PHY |
| Tramas | Método de encapsulación | Método de encapsulación GEM | Método de encapsulación XGEM |
| Autenticación | OLT-ONU a través del canal OMCI | Si | Si |
| Encriptación | Algoritmo AES | Si | Si |
| Distancia (OLT- | Nivel lógico | 20 km | 40 km |

| | | | |
|------------------------|---|--------------------------|-----------------------------|
| ONU) | Nivel físico | 40 km | 60 km |
| Atenuación | Con respecto a la Distancia | 27.5 dB | 28.5 dB |
| Relación de splitter | Nivel lógico | 1:128 | 1:128 a 1:256 |
| | Nivel físico | 1:64 | 1:64 |
| FEC | Campos FEC en todas las tramas de todas las subtramas | Opcional | Obligatorio |
| Line de condigo | | NRZ (OOK) | NRZ(OOK) |
| ODN | Clases de ODN soportadas | A, B y C (15/20/25 dB) | A, B, C y C++ (15/20/25 dB) |
| Formato de transmisión | | Ethernet, ATM, TDM (GEM) | Ethernet, ATM, TDM (XGEM) |
| Coexistencia | | Video RF | GPON, video RF |

Fuente:(Ortega y Kevin, 2018, p. 48; Sarango, 2015, p. 65)

1.7. Parámetros de calidad en servicios de Triple Play

La calidad de servicio QoS hace referencia a un conjunto de requisitos que se deben cumplir para garantizar las transmisiones en las redes de datos, estos requisitos están dados en función de parámetros como: *jitter*, paquetes perdidos y retardo, en términos generales. Para esto, se han especificado varias herramientas tecnológicas que permiten un desarrollo similar en las redes de computadoras al igual que en las redes telefónicas, esto permite un mejor desempeño en los dos casos (Chico, 2022, p. 22).

Los requerimientos de calidad de servicio varían de acuerdo con lo que solicite el usuario durante las solicitudes de servicios multimedia. En otras palabras, la calidad de servicio es diferente en cada transmisión de datos y están determinadas por la ITU-T/P.800 1996 donde se garantiza que el servicio sea óptimo desde el inicio de la sesión, hasta la finalización de la misma, y dentro del proceso se evalúan ciertos parámetros como: Seguridad, Confiabilidad, Grado de respuesta de las diversas aplicaciones.

El trabajo de investigación de Chico (2021), establece que, además de la calidad de servicio puede existir una mala Calidad de servicio (QoS), cuando existe:

- **Voz:** desconexión de las llamadas, interrupción, incomprensión, efectos de entrecortado.

- **Video:** imágenes ralentizadas, audio asincrónico, mala calidad, movimientos erráticos.
- **Datos:** tiempos altos de respuesta, descargas y subidas de archivos sin respuesta, ventanas sin abrir.

Se habla calidad de servicio como una serie de cualidades medibles de las redes y servicios de telecomunicaciones, como el tiempo que se tarda en realizar una llamada telefónica (desde que el usuario marca hasta que suena el teléfono en el otro extremo), pueden especificarse en términos cuantitativos o estadísticos tales como: ancho de banda, latencia, *jitter*, pérdida de paquetes en la red; asegurando un grado de fiabilidad preestablecido que cumpla los requisitos de tráfico, en función del perfil y ancho de banda para un determinado flujo de datos (Baquero, 2020, p. 13).

Uno de los objetivos de la calidad de servicio es ayudar a categorizar el tráfico (CT) y de este modo, asignar el ancho de banda adecuado para que el servicio posea la mínima latencia y de ser el caso, el retardo sea casi imperceptible ante el usuario. Para la gestión se utilizan diversos métodos los cuales se presenta a continuación:

Tabla 5-1: Métodos para la categorización del tráfico según QoS

| | |
|--|---|
| Gestión de colas | Por la naturaleza que tiene la transmisión de aplicaciones multimedia a través de la red, propicia que la cantidad de tráfico no exceda la velocidad de la conexión haciendo varias colas para los diferentes servicios. |
| Clasificación de paquetes | -Para manipular los tráficos y otorgarles QoS, se utilizan los procedimientos básicos de clasificación y asignación de prioridad. |
| Medición y flujo de formación de tráfico | -En muchas ocasiones es necesario limitar la cantidad de tráfico de una aplicación a través de varias interfaces. Estas funcionalidades de control vienen determinadas por las herramientas de límites de tasa y las herramientas de formación. |
| Gestión de colas de altas velocidades | Se basa en la manera que los protocolos operan, con el fin de no llegar a la congestión de la red. |
| Metodologías de Estimación de Calidad de Servicio Percibida | Es la calidad percibida por el usuario independientemente de lo que la red transporte. Las medidas de calidad percibida pueden realizarse usando métodos objetivos o subjetivos. |

1.7.1. Calidad de servicio en Voz

La QoS en servicio de VoIP es quizá una de las más precisas en cuanto al tiempo, pues debe ser transmitida lo más cercano al tiempo real, y es la más sensible a ciertos elementos que perturban su calidad, tales como: retraso, pérdida de paquetes y *jitter*. Es así como Sabando (2014) establece los parámetros mínimos de falla en el servicio:

- El retraso, debe considerarse que la calidad en una comunicación telefónica debe ser del tipo PSTN (*Public Switched Telephone Network*), para lo cual la latencia no debe superar los 150 ms, de lo contrario los abonados que intervienen en la comunicación deban interrumpir la conversación o darla por terminada (Sabando, 2014, p. 39).
- La pérdida de paquetes, un aspecto más significativo en aplicaciones que no pueden reenviar sus datos al ocurrir un error y esto ocurre en muchas aplicaciones de tiempo real que no cuentan con tiempo para ello. Estadísticamente se considera que un 1% de pérdidas es admisible al propagar voz y aquellas mayores provocan una reducción de la calidad de voz o el fin de la comunicación (Sabando, 2014, pp. 39-40).
- En VoIP se trata el *jitter* con una memoria *buffer* por la que pasa la llamada produciendo un retraso perceptible. El valor de *jitter* admisible depende del productor, pero si es más de 30 ms es posible que la comunicación se pierda. También puede producirse un eco de voz si los usuarios durante una conversación telefónica IP escuchan que su propia voz en los teléfonos distorsionando la llamada. Para mantener el eco admisible en las comunicaciones de voz, se emplea la supresión y la anulación de eco en la red. La anulación se ejecuta con procesamiento digital de señales para dominar el eco (Sabando, 2014, p. 40).

1.7.2. Calidad de servicio en Video

En el caso de la transmisión de video, puede existir tramas estáticas o imágenes con retraso mostrado en la pantalla. En el caso de video bajo demanda, el retraso suele ser menos, debido a que la información pasa por una memoria de tipo *buffer* de igual forma Sabando (2014), establece que:

- Para servidores de video es admisible un retraso de 6 segundos, sin embargo, tramas comprimidas presentan retrasos de 180 ms con MPEG2 (*Moving Picture Experts Group*) y 100 ms con MPEG4 (Sabando, 2014, p. 40).
- En redes IP la congestión y el ruido eléctrico en el medio de propagación también producen la pérdida de paquetes, un valor admisible es del 2%. Una transmisión de video en tiempo real se soporta en paquetes y se produce en andanadas por lo que las memorias *buffers* se saturan y luego se desocupan provocando cambios en el retraso de propagación, esto es *jitter* de tiempo que puede orientarse y ampliar la memoria tomada de *buffer* y podría incrementarse la latencia (Sabando, 2014, p. 41).
- El método de compresión MPEG es muy susceptible al *jitter* y a la pérdida de datos. Adicionalmente a las dificultades temporales hay paquetes con datos cruciales para decodificación, como los de señalización y sincronismo, los cuales, si se pierden o se reciben fuera de la serie, el decodificador no podrá convertir apropiadamente el video (Sabando, 2014, p. 41).

1.7.3. *Calidad de servicio en la transmisión de datos*

Para la transmisión de datos a través del protocolo HTTP y HTTPS, la pérdida de algunos datos no afecta la información, debido a que, la reorganización sin pérdida de los paquetes en el destino. La navegación *WEB* no se ve usualmente afectada por el retraso o el *jitter*, ya que, esta comunicación no se da obligatoriamente en tiempo real. Frente a esto Sabando (2014) manifiesta que:

- Es necesario establecer determinados elementos de calidad de servicio para garantizar que la pérdida de datos no perturbe el tráfico al producirse atasco en la red, los cuales se fundamentan en la instalación de marcas de determinadas clases de flujo de datos para ordenarlo con una primacía menor que la de otra clase de tráfico (Sabando, 2014, pp. 41-42).
- La aplicación de FEC (*Forward Error Correction*) permite reducir las pérdidas, sin embargo, debido a que estas conexiones se crearon para datos, probablemente no soportarían la atenuación de audio y video. Es necesario gestionar la calidad de servicio y establecimiento del ancho de banda para neutralizar el jitter, para lo cual se efectúan exámenes para saber la cantidad de jitter que puede sentir una red y la forma enfrentarlo. Usualmente se emplea una

memoria temporal para jitter que adiciona retrasos mínimos a los paquetes receptados para que todos tengan similar y admisible latencia (Sabando, 2014, p. 42).

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

En el presente capítulo se procede con la explicación de la metodología utilizada para el desarrollo de la investigación. Además, el marco metodológico posee ciertos procesos debidamente estructurados en orden secuencial, para la selección de parámetros a medir en el servicio de calidad en Triple Play. Finalmente, se establecerá el escenario propuesto que permita la obtención de resultados que se detallarán más adelante.

2.1. Tipos de investigación

Los tipos de investigación utilizados fueron:

2.1.1. Investigación documental

La investigación documental es una de las técnicas de la investigación cualitativa que se encarga de recolectar, recopilar y seleccionar información de las lecturas de documentos, revistas, libros, grabaciones, filmaciones, periódicos, artículos resultados de investigaciones, memorias de eventos, entre otros; en ella la observación está presente en el análisis de datos, su identificación, selección y articulación con el objeto de estudio (Reyes y Carmona, 2020, p. 1).

La investigación documental también se la conoce como investigación bibliográfica y está caracterizada por el uso de datos como fuente de información, este tipo de investigación busca dirigir la investigación a través del uso de información ya existente en varias fuentes y autores. Este tipo de investigación está sustentado en el conocimiento científico del estudio a desarrollar, esto ayuda a que la revisión bibliográfica se haga de manera ordenada y por lo tanto sea entendible para el lector.

Esta metodología se utilizó para entender el funcionamiento del servicio de triple play, así como también de los componentes y características del mismo, y de esta forma realizar el análisis de los parámetros de calidad que debe poseer la transmisión de datos multimedia, voz y datos. Además, dicha metodología ayudó a comprender como adaptar la investigación al *software OptySistem*, y de esta forma conocer si la red cumple o no, con los parámetros de calidad del servicio en *pymes*, los cuales fueron tomadas del trabajo realizado por Sani (2022) denominado “Diseño, evaluación de una red FTTH utilizando *Optisystem* y estrategia para la obtención de concesión que permita brindar servicio triple play”.

2.1.2. Investigación descriptiva

La investigación descriptiva posee un grado de nivel dos, en la cual la función principal es recolectar datos e informaciones de los aspectos que más sobresalen como es las características, propiedades, aspectos o dimensiones de las personas, agentes e instituciones de los procesos sociales. Frente a esto, Gay en el año 1996 indica que la investigación descriptiva, es la recolección de datos para alcanzar una hipótesis o responder a preguntas de una situación específica en el campo que se está realizando el estudio. Esta investigación se le conoce por determinar e informar las características que posee los objetos (Esteban, 2020, p. 2).

Este tipo de investigación también se la conoce como diagnóstica o de levantamiento de información, ayuda a la toma de decisiones correctivas y es muy sutil para denotar la precisión

de un suceso. También ayuda al investigador a visualizar de forma más amplia los conceptos, variables o componentes existentes dentro del proyecto y para una mejor obtención de resultados.

Se encarga de puntualizar las características de la población que se está estudiando. En el año de 1994 Mario Tamayo y Tamayo definieron a la investigación científica como un registro, análisis e interpretación de la naturaleza actual y la composición o procesos de los fenómenos. El enfoque se hace sobre conclusiones dominantes o sobre cómo una persona, grupo o cosa se conduce o funciona en el presente (Guevara et al., 2020, p. 166)

Gracias al uso de la investigación descriptiva se pudo obtener los parámetros necesarios para la evaluación del escenario planteado en el cual se realizaron las pruebas de conectividad y calidad en el servicio triple play, una vez obtenido los resultados se procedió con el posterior análisis e interpretación de los mismos estos se presentan más adelante en el capítulo III, y están basados en los parámetros planteados por Sani (2022).

2.2. Marco Metodológico

Para el desarrollo de la investigación, además del uso de la metodología documental y descriptiva se desarrolló el estudio en 4 fases, mismas que se presentan en la Ilustración 1-2 a continuación:

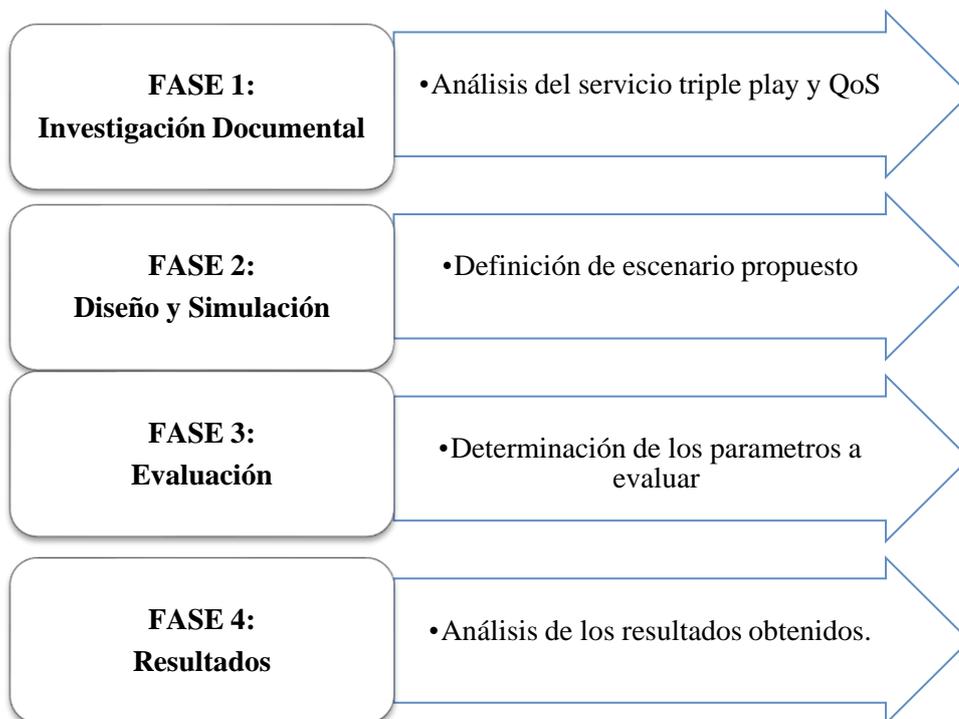


Ilustración 1-2: Fases del proyecto

Realizado por: Mora Luis, 2022

2.2.1. Fase 1: Investigación Documental

La investigación documental se encuentra detallada en el capítulo I del trabajo de investigación, en él se encuentra toda la información acerca del servicio Triple Play, así como también los parámetros a ser evaluados dentro de la calidad de servicio.

El tráfico multimedia podría perder una pequeña cantidad de píxeles, mismos que pueden ser impredecibles para el ojo humano, pero tampoco puede ser mucho ya que podría visualizarse de forma borrosa o a su vez el servicio se pausaría. Para el cálculo del ancho de banda se necesita en la aplicación de definición seleccionar el tiempo y tamaño de la trama que nos dará como resultado el ancho de banda necesario para la transmisión de información (Sacan, 2021, p. 54). Los parámetros de calidad del servicio Triple Play se presenta en la Tabla 1-2.

Tabla 1-2: Parámetros de calidad de servicio

| Parámetros | Voz | Video | Datos |
|---------------------|------------|------------|--------|
| Jitter | 30 ms | 30 ms | Mínimo |
| Perdida de Paquetes | Menor a 1% | Menor a 1% | Mínimo |
| Latencia | 150 ms | 6 seg | Mínimo |

Realizado por: Mora Luis, 2022

Entre las dos tecnologías a comparar existe diferencia en el ancho de banda ofertado pues en el caso de la red GPON se trabaja a 2.4 Gbps con una distancia máxima de 20 Km, mientras que en la red XGPON el ancho de banda es de 10 Gbps a una distancia de hasta 100 Km, dichos parámetros fueron considerados para la simulación de la red.

2.2.2. Fase 2: Diseño y Simulación

Con respecto al proceso de simulación se procedió con el diseño de la red para las pruebas de calidad de servicio de triple play. Es importante resaltar que, la calidad de servicio está planteado de acuerdo con la recomendación ITU-G 984.x y 987.x de la Unión Internacional de Telecomunicaciones, razón por la cual los parámetros establecidos en la Fase 1, son universales para el servicio de triple play.

En la Ilustración 2-2 se muestra el diagrama de simulación que se implementó en el *software OptiSystem*.

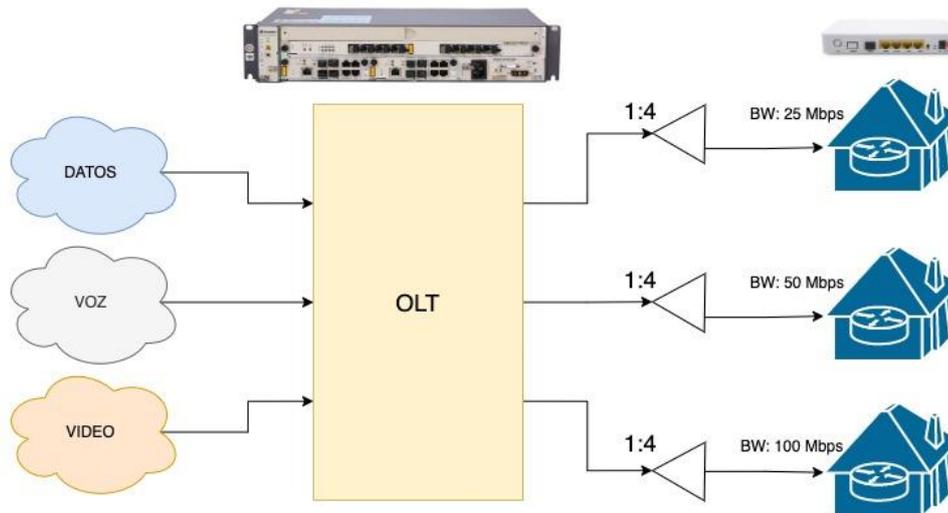


Ilustración 2-2: Diagrama de Simulación

Realizado por: Mora Luis, 2022

Para el diseño y simulación del escenario planteado, se usó del *software OptiSystem* desarrollado por *Optywave*, este posee diversas características para la simulación de redes de telecomunicaciones, la interfaz se la aprecia en la Ilustración 3-2:

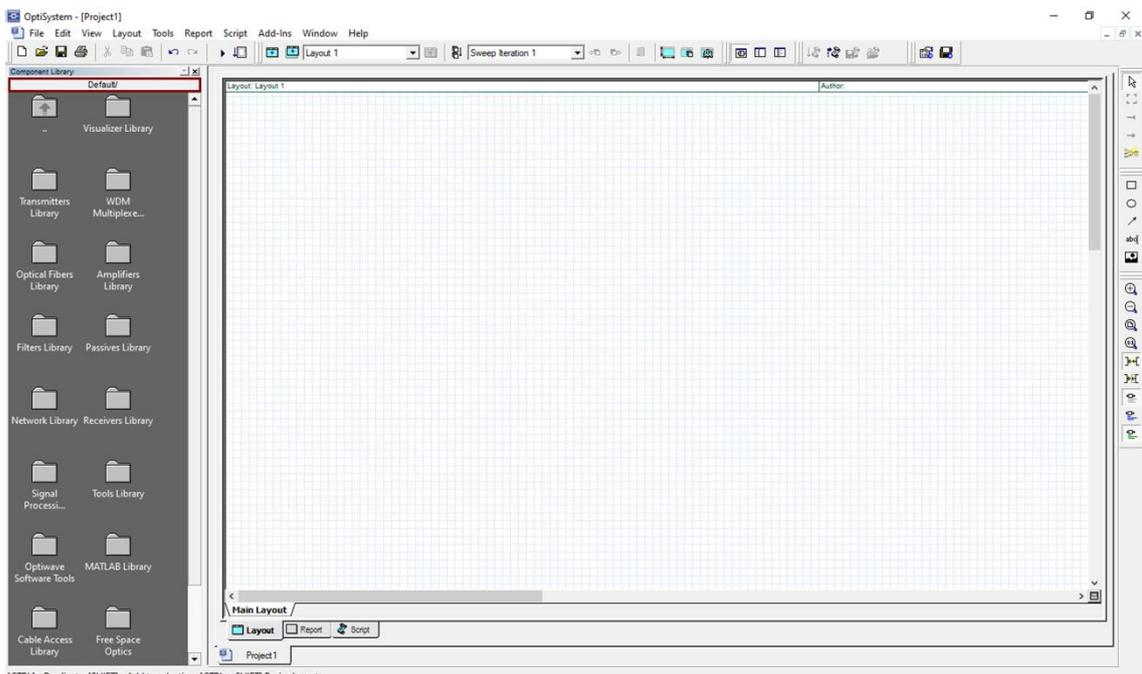


Ilustración 3-2: Interfaz de OptiSystem

Realizado por: Mora Luis, 2022

El *software* posee varias herramientas para la simulación de redes Gpon y XG-pon, del presente proyecto usa las siguientes herramientas:

- **Transmitters Library:** Para la configuración de la OLT, en donde se estableció los parámetros de salida de cada línea, a través de un WDM.
- **Optical Fibers Library:** Permite el uso de la fibra que se utilizó para el diseño de la red Gpon FTTH.
- **Receivers Library:** Aquí se encuentran los componentes de la ONT, en donde se evaluó el rendimiento de la red.

En la Ilustración 4-2 se evidencia las herramientas usadas para la simulación de la red PON FTTH dentro del *software OptiSystem*:

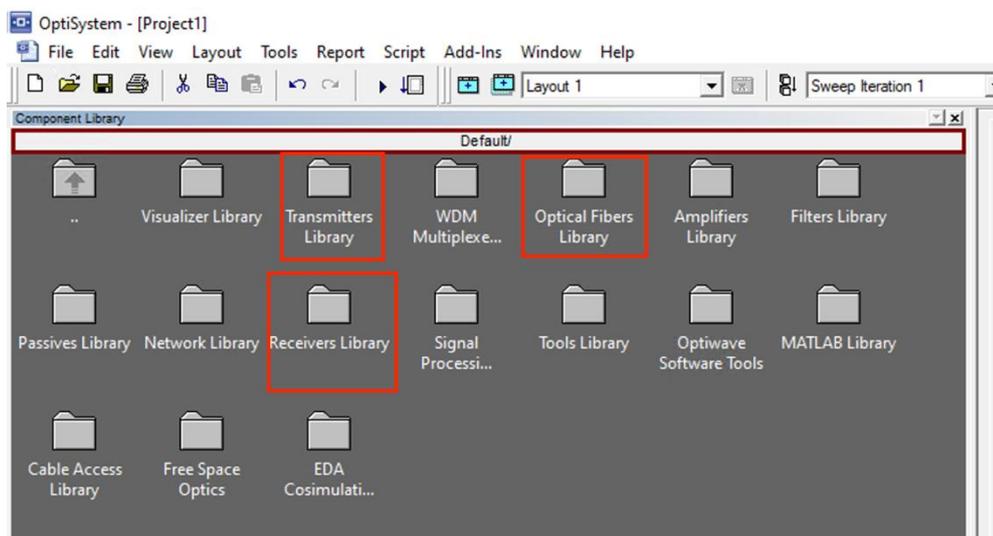


Ilustración 4-2: Herramientas de OptiSystem

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 5-2 se evidencia el diseño de la red OLT para la red, misma que, cuenta con un generador de señales para el envío de Voz y Datos, y otro para el envío de Video:

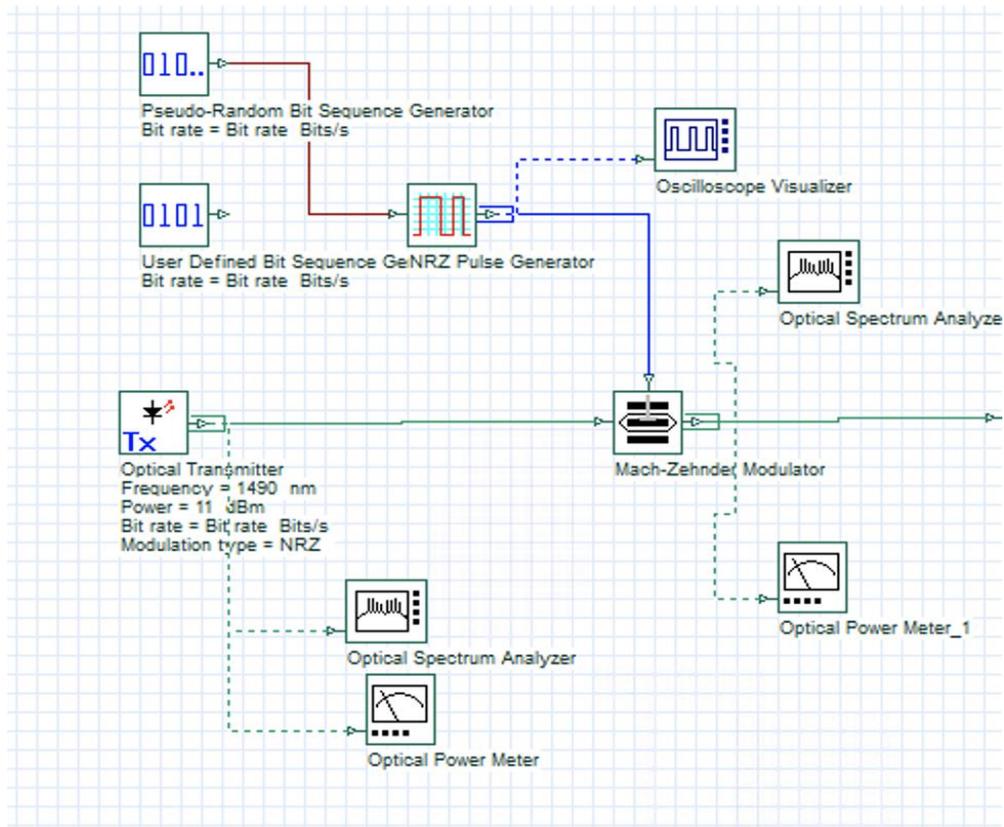


Ilustración 5-2: Diseño del Transmisor OLT

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 6-2 se aprecia el diseño de la red Feeder configurada desde el Multiplexor, quien se encarga de unir las señales generadas para que lleguen al primer *splitter* (Manga) que tiene un divisor de potencia de 1:8.

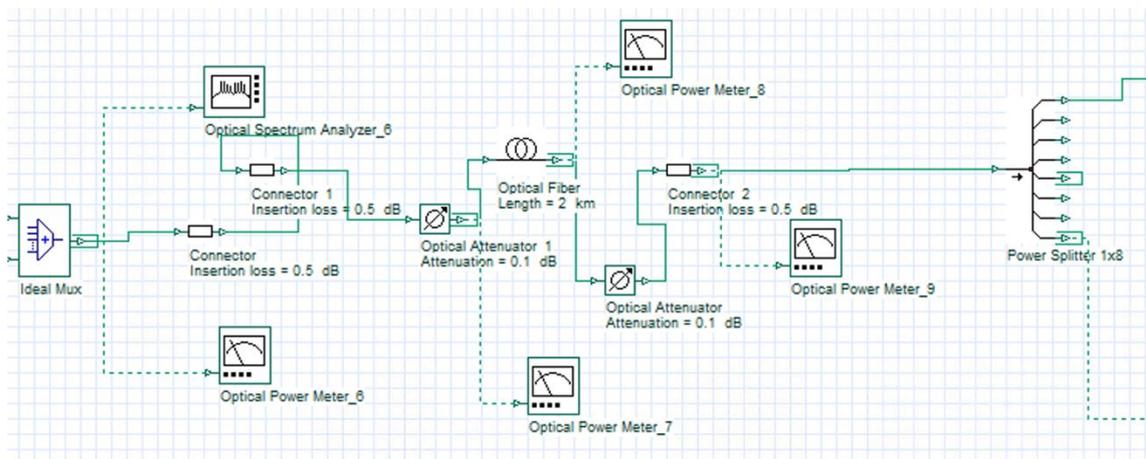


Ilustración 6-2: Diseño de la red Feeder

Realizado por: Mora Luis, 2022

A continuación, en la Ilustración 7-2 se muestra el desarrollo de la red de distribución que está conectada desde el primer *splitter* (Manga) hasta la segundo *splitter* (NAP), donde esta es un *splitter* de 1 a 4. Esto se debe a que, el ancho de banda mínimo para un servicio triple play en una Pymes, debe ser igual a 75 Mbps.

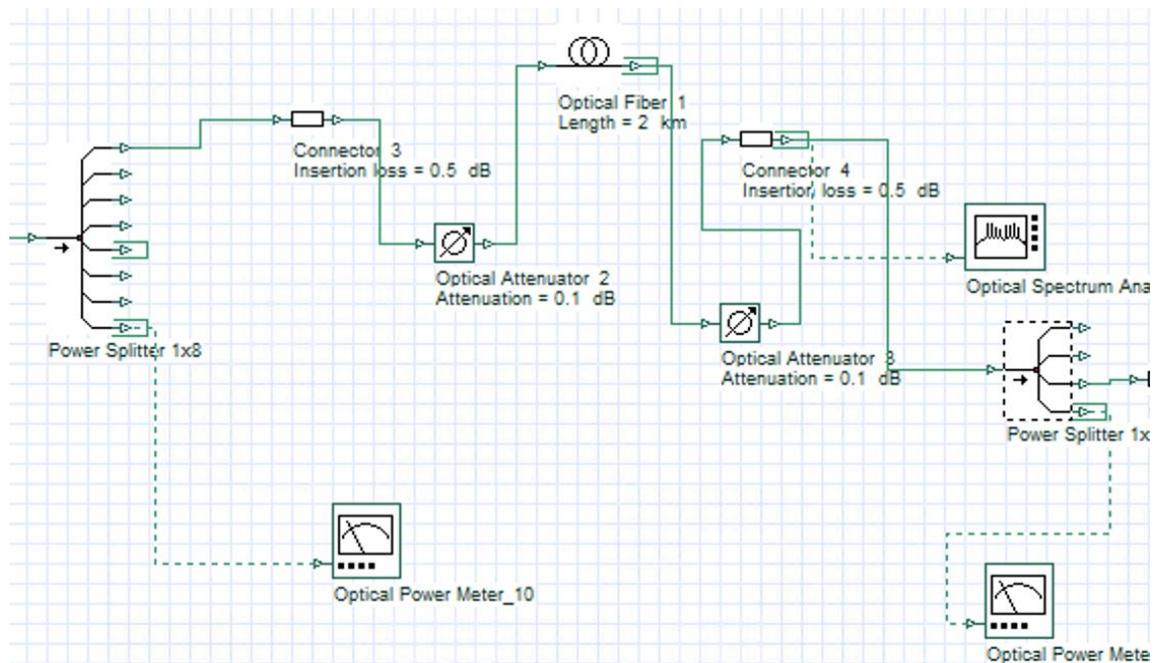


Ilustración 7-2: Diseño de la red de distribución

Realizado por: Mora Luis, 2022

El desarrollo de la red de dispersión se presenta en la Ilustración 8-2 que está conectada desde el segundo *splitter* (NAP) hasta la roseta óptica (usuario final) que este caso como es un diseño lógico vamos a representar hasta la entrada de demultiplexor, donde este ultimo es el encargado de separar las señales que llegan en un mismo hilo de fibra óptica en dos diferentes señales tanto como para audio, datos y video.

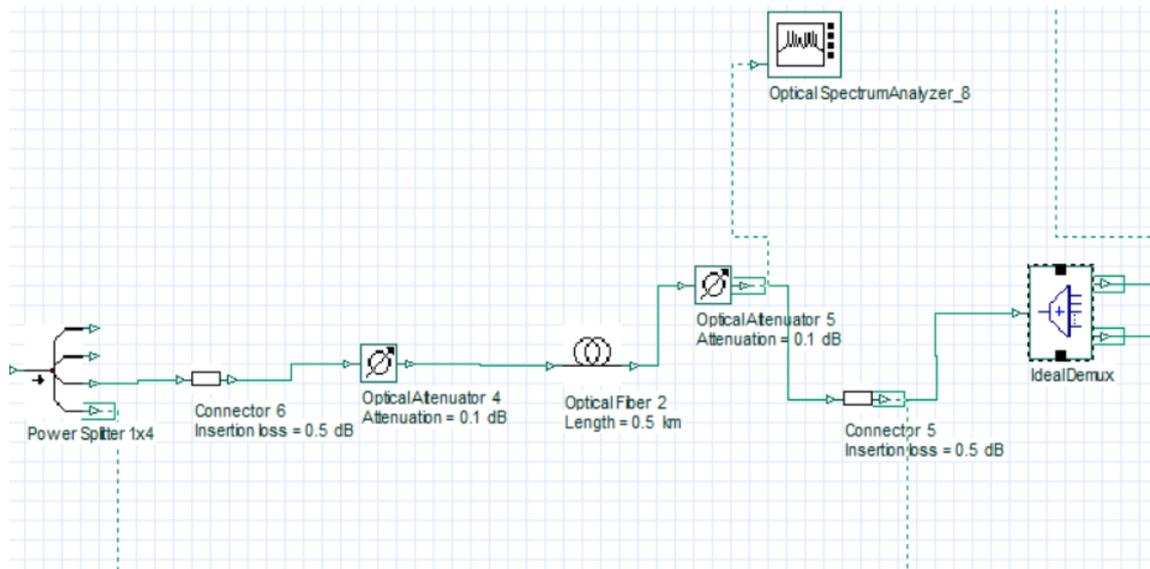


Ilustración 8-2: Diseño de la red de dispersión

Realizado por: Mora Luis, 2022

La red ONU se presenta en la Ilustración 9-2 donde están los dos receptores para la recepción de las señales de audio y datos por una parte y la otra que es la señal de video, cada una de estas se encuentran conectadas a un filtro *Butterworth* que permite corregir las señales recibidas en la transmisión, de esta manera obtener las señales de manera separadas y dar una comunicación más óptima y eficiente.

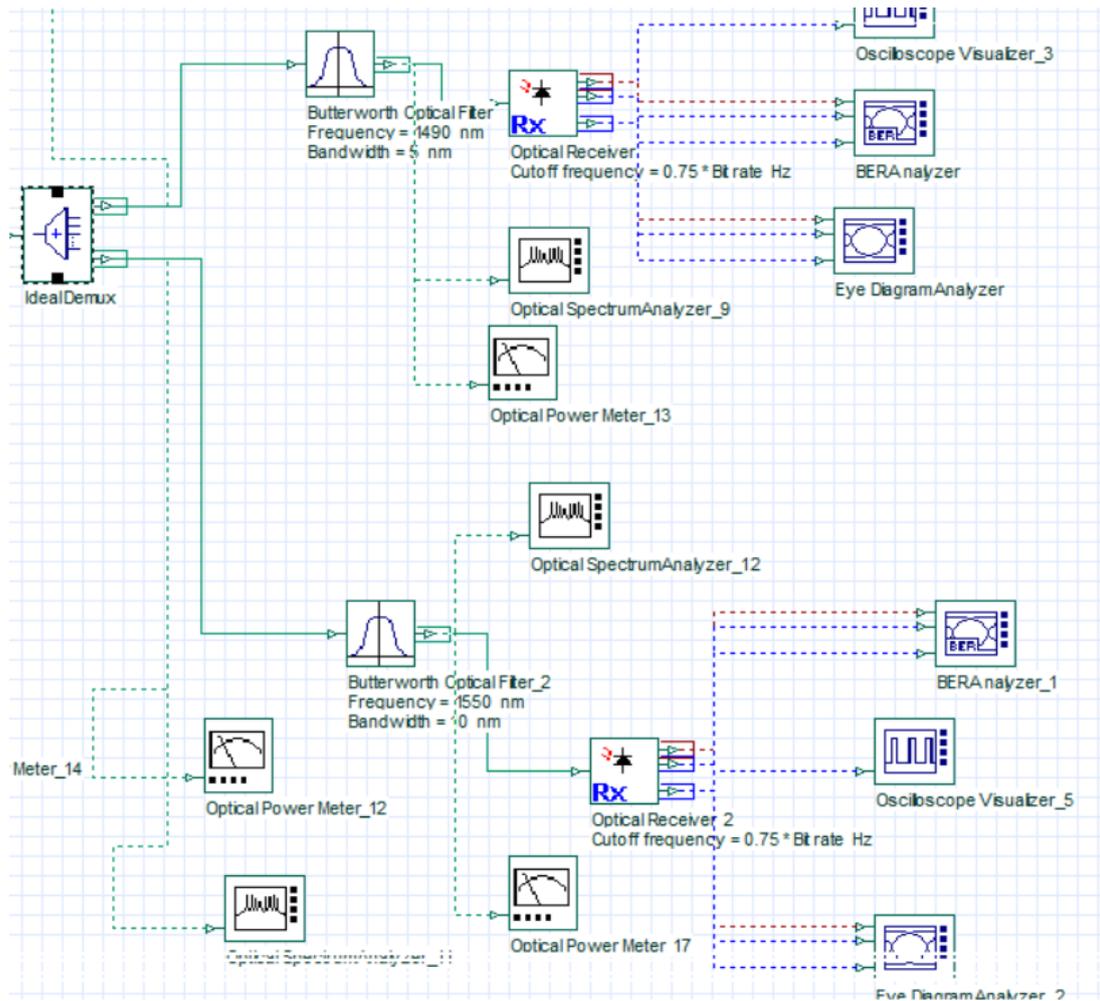


Ilustración 9-3: Diseño del receptor ONU

Realizado por: Mora Luis, 2022

2.2.3. Fase 3: Evaluación

Para la evaluación se procedió con establecer los parámetros de configuración que tendrá cada uno de los escenarios propuestos, estos son:

- Escenario 1: Red GPON Distancia Corta
- Escenario 2: Red GPON Distancia Larga
- Escenario 3: Red XGPON Distancia Corta
- Escenario 4: Red XGPON Distancia Larga

En la Tabla 2-2 se evidencia los parámetros de configuración que tiene cada uno de los escenarios, en cuanto a distancias, ancho de banda, longitudes de onda de los servicios triple play ofertados desde la OLT hacia los usuarios ONU, de igual forma se aprecia la potencia de transmisión que posee el sistema a fin de garantizar un servicio de calidad.

Tabla 2-2: Parámetros de configuración redes propuestas

| Parámetros | Escenario 1 | Escenario 2 | Escenario 3 | Escenario 4 |
|------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Distancia | 5 Km | 20 Km | 5 Km | 20 Km |
| Tipo de fibra | Monomodo | Monomodo | Monomodo | Monomodo |
| Longitud de Onda Datos y Voz | 1490 nm | 1490 nm | 1577 nm | 1577 nm |
| Longitud de Onda Video | 1550 nm | 1550 nm | 1550 nm | 1550 nm |
| Velocidad de transmisión | 2.4 Gbps | 2.4 Gbps | 10 Gbps | 10 Gbps |
| Potencia de transmisión | Max 5dBm | Max 5dBm | Max 5dBm | Max 5dBm |
| Potencia de recepción | ≅-24 dBm | ≅-24 dBm | ≅-24 dBm | ≅-24 dBm |

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 10-2 se aprecia la configuración de los transmisores ubicados en la OLT, en donde se define el valor de la longitud de onda para la propagación de la señal, ya sea de voz, datos o video, respectivamente:

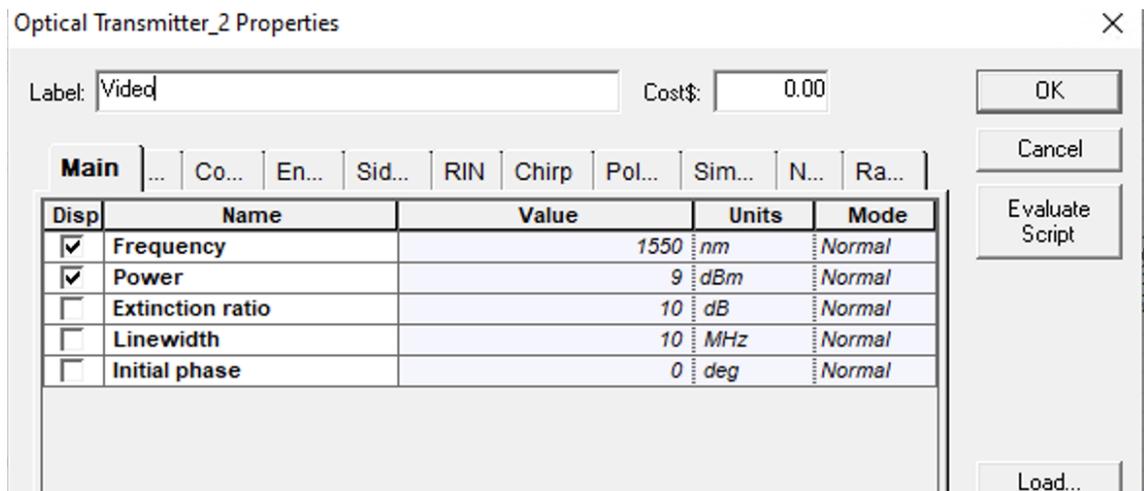


Ilustración 10-2: Configuración de los transmisores en la OLT

Realizado por: Mora Luis, 2022

Cada uno de los conectores poseen pérdidas de propagación, estos valores deben ser configurados según el tipo de conector, como se evidencia en la Ilustración 11-2:

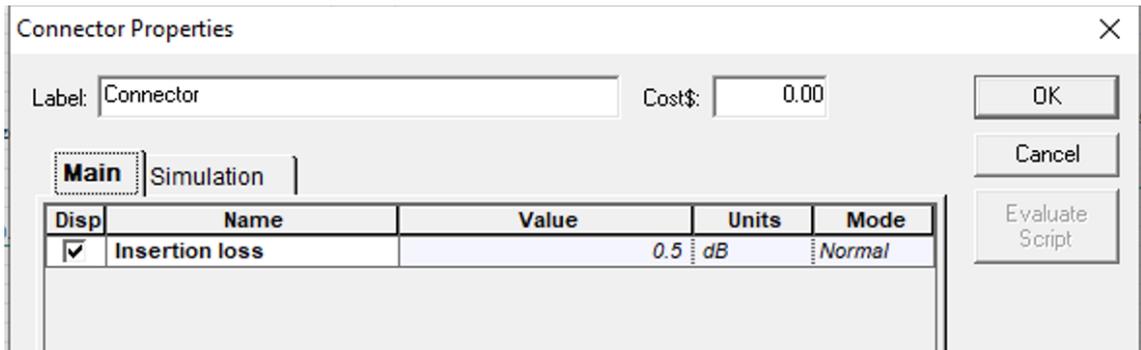


Ilustración 11-2: Configuración de las pérdidas en los conectores

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 12-2 se aprecia la configuración del filtro *Butterword* utilizado para mejorar la recepción de cada una de las señales recibidas.

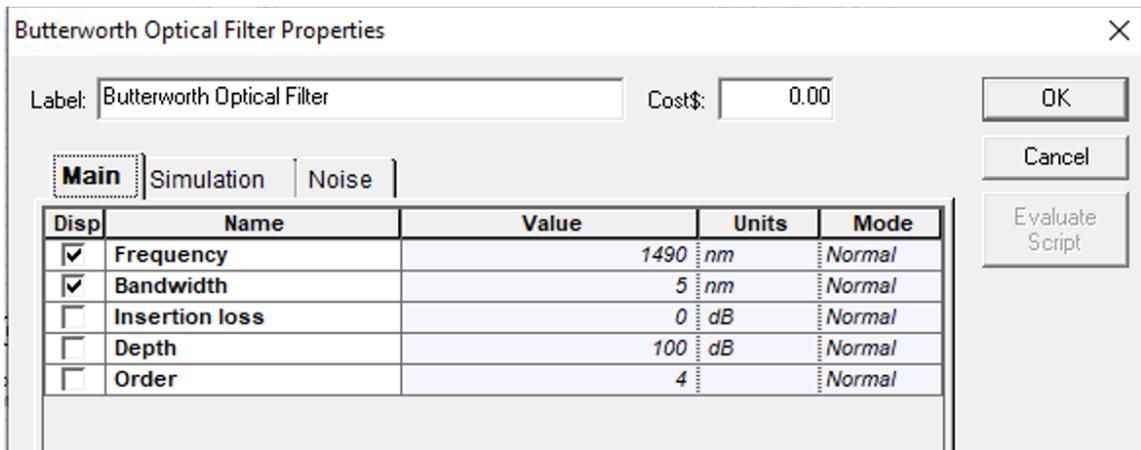


Ilustración 12-2: Configuración del filtro

Realizado por: Mora Luis, 2022

Finalmente, es importante configurar la frecuencia en la que irá a trabajar el receptor, esta deberá ser la misma que el transmisor, como se aprecia en la Ilustración 13-2:

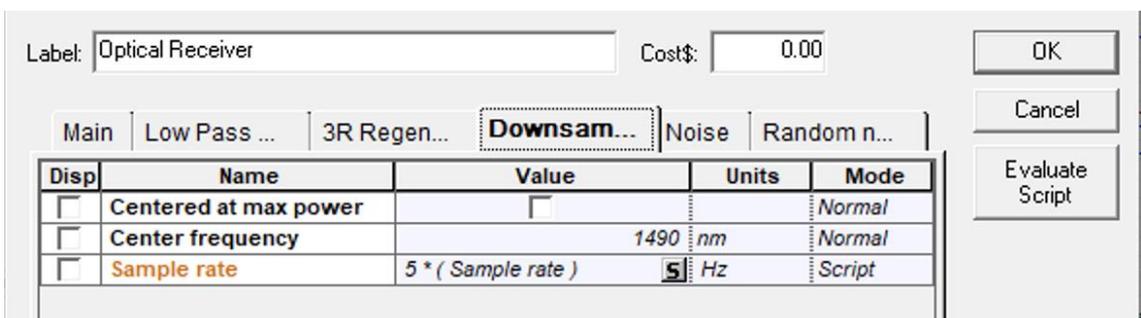


Ilustración 13-2: Configuración frecuencia de operación del receptor.

Realizado por: Mora Luis, 2022

2.2.4. Fase 4: Resultados

El diagrama final de la red diseñada se muestra en la Ilustración 14-2 en la cual se ha creado subsistemas en cada uno de los diagramas de conexión, todo ello para un mejor entendimiento y análisis de cada una de las partes.

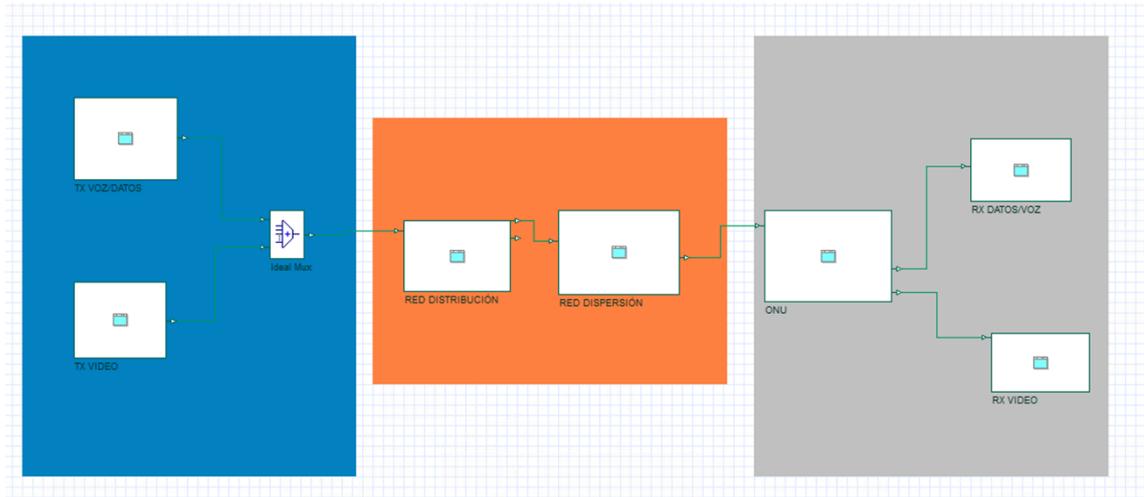


Ilustración 14-1: Diagrama red para servicio Triple Play

Realizado por: Mora Luis, 2022

Para el cálculo se debe evaluar el valor de la potencia de recepción, el cual viene dado por la fórmula:

$$PR_x = PT_x - LC - LF - LS$$

Ecuación 1-1: Potencia de recepción

Donde:

PR_x: Potencia de Recepción

PT_x: Potencia de transmisión (Configurada en OLT)

LC: Pérdida por conectores

LF: Pérdida por fusiones

LS: Pérdida por *spliteo*

El ancho de banda de referencia establecido en el proyecto de investigación está basado en los planteados por la empresa de ISP 'Zona Informática', la cual provee el servicio dentro de la Provincia de Manabí con los datos presentados a continuación:

Tabla 3-2: Ancho de banda de referencia

| Localidad | Bramadora |
|--------------------------|------------------|
| Usuarios Total | 600 |
| Pymes | 38 |
| Ancho de Banda Min Pymes | 50 Mbps |
| Ancho de Banda Min Pymes | 80 Mbps |
| Home | 562 |
| Ancho de Banda Min Home | 20 Mbps |
| Ancho de Banda Min Home | 80 Mbps |

Realizado por: Mora Luis, 2022

Los resultados del comportamiento de la red comparados con los valores teóricos realizados se los presenta en el capítulo III. De igual forma, se analiza los resultados obtenidos con el fin de conocer si cumple o no cumple con los parámetros de calidad del servicio Triple Play.

CAPITULO III

3. MARCO DE RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se encuentra el análisis de los resultados obtenidos de la evaluación de parámetros de calidad en redes GPON y XG-PON para brindar servicio tripe play en *pymes*. Dicho análisis se basa en los cuatro escenarios planteados en el Capítulo II, en estos se analiza los usuarios más cercanos y lejanos que reciben el servicio, para dicha simulación y con el objetivo de asemejarse a las redes reales se utilizó componentes que generan pérdidas en la comunicación, estos se muestran en la Tabla 1-3 mostrada a continuación:

Tabla 1-3: Valores dispositivos que generan pérdida

| Dispositivo | Cantidad | Pérdida Unidad | Pérdida Total |
|----------------------|----------|----------------|--------------------|
| Conectores | 7 | 0,5 dB | 3,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 6 | 0,5 dB | 0,6 dB |
| Splitter 1 a 8 | 1 | 9,7 dB | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 1 | 6,6 dB | 6,6 dB |
| Multiplexor | 1 | 0 dB | 0 dB |
| Demultiplexor | 1 | 0 dB | 0 dB |
| Fibra | 2 | 0,25 dB * KM | Según el escenario |

Realizado por: Mora Luis, 2022

Los valores establecidos son los máximos valores de pérdida permitidos de acuerdo con la recomendación ITU 984 y 987, han sido configurados con los valores más elevados a fin de asemejarlos a los casos reales, los cuales fueron diseñados en base a las peores condiciones de implementación lo que ocasiona el mayor valor de pérdidas. A continuación, se presenta el análisis de los 4 escenarios propuestos:

3.1. Escenario 1: Red GPON Usuario más cercano

El escenario 1 está configurado para el servicio triple play del usuario más cercado, los datos de configuración del escenario 1 se presentan en la Tabla 2-3:

Tabla 2-3: Parámetros de configuración escenario 1

| Parámetros | Escenario 1 |
|---------------|-------------|
| Distancia | 5 Km |
| Tipo de fibra | Monomodo |

| | |
|------------------------------|-----------------|
| Longitud de Onda Datos y Voz | 1490 nm |
| Longitud de Onda Video | 1550 nm |
| Velocidad de transmisión | 2.4 Gbps |
| Potencia de transmisión | Max 5dBm |
| Potencia de recepción | $\cong -24$ dBm |
| Conectores | 3,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,6 dB |
| Atenuación por distancia | 1,38 dB |
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 1-3 se muestra el valor de la potencia de salida desde la OLT, el cual es equivalente a 5,318 dBm:

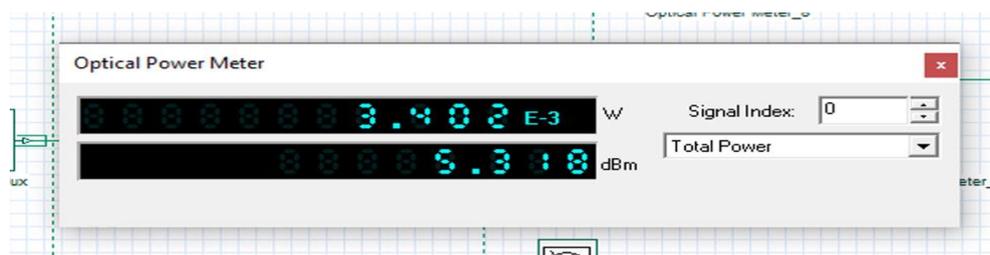


Ilustración 1-3: Potencia de salida OLT Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia la potencia de salida es aproximada al valor ideal establecido en la recomendación. A continuación, se presenta el cálculo de las pérdidas para su posterior llegada a la ONU:

Tabla 3-3: Cálculo de pérdidas Escenario 1

| Parámetros | Escenario 1 |
|--------------------------|-----------------|
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |
| Conectores | 2,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,4 dB |
| Atenuación por distancia | 1,75 dB |
| TOTAL | 20,35 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

El valor total de las pérdidas es equivalente a 20,35 dBm, este valor debe ser restado a la potencia de transmisión para obtener el valor de la potencia de llegada a la ONU; antes del Demultiplexor este debe ser mayor a los 28 dB por la configuración del equipo.

$$P_{RX} = P_{TX} - \text{Total}$$

$$P_{RX} = 5,318 - 20,35$$

$$P_{RX} = -15,032 \text{ dB}$$

Este valor debe ser aproximado con el valor recibido en la red de dispersión, antes de ingresar a la ONU, como se evidencia en la Ilustración 2-3:

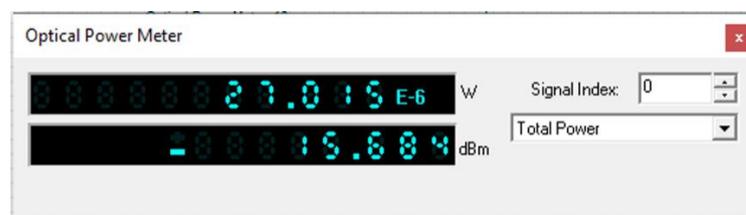


Ilustración 2-3: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia el valor de la potencia de llegada es aproximado al valor calculado. De igual forma, este es superior a los -28 dB, el cuál es el máximo valor de la ONU. La Ilustración 3-3 evidencia las señales recibidas Demultiplexadas:

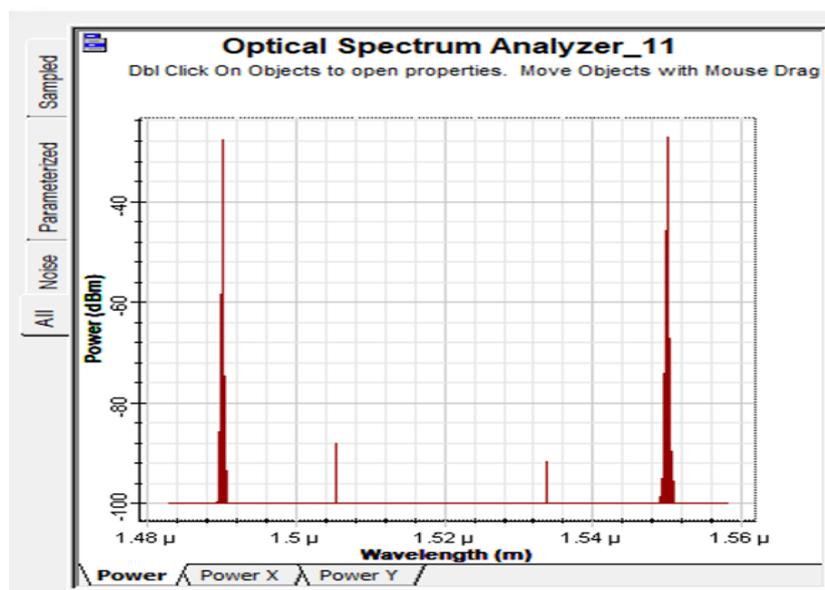


Ilustración 3-3: Señales recibidas Demultiplexadas escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia en la figura, la ONU recibe las dos señales enviadas tanto de 1490 nm, así como también de 1550 nm. Sin embargo, estas tienen ruidos, razón por la cual es necesario aplicar el filtro de *Butterworth* para la corrección de las mismas.

3.1.2. Análisis Transmisión Datos y Voz

La señal recibida se la aprecia gracias al analizador de espectro ubicado en el equipo de recepción, este posee la señal recibida de 1490 nm, equivalente a la señal producida desde la OLT, ello se evidencia en la Ilustración 4-3:

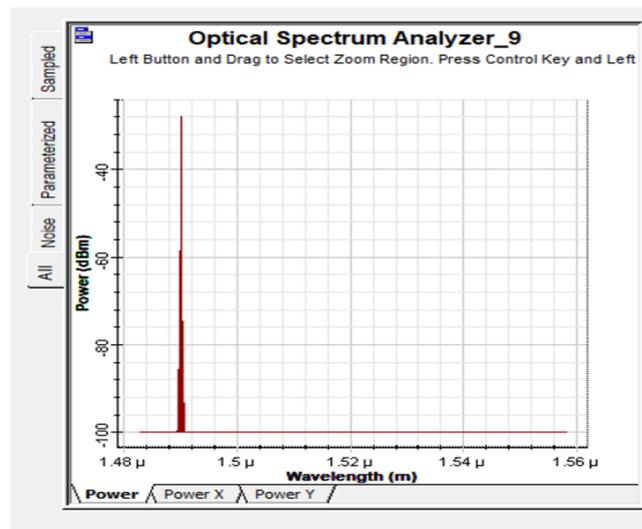


Ilustración 4-3: Señal recibida voz y datos Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

La Ilustración 5-3 muestra el diagrama BER que hace referencia a la relación error por *bit*, que tiene la comunicación de fibra óptica:

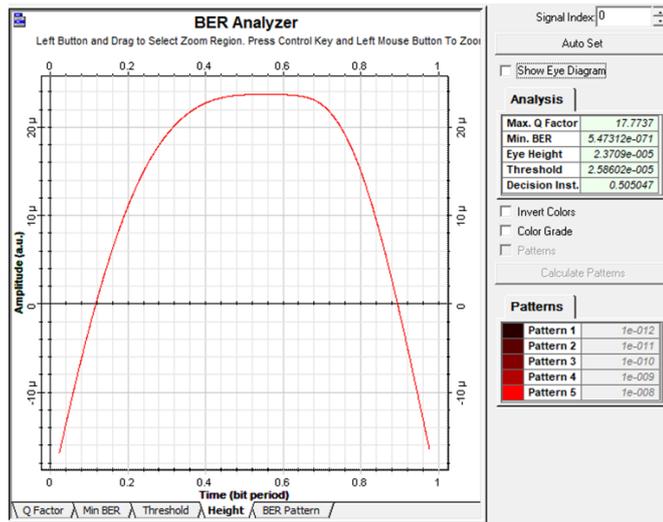


Ilustración 5-3: Gráfica BER Voz y Datos Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia en la Ilustración el factor de calidad Q está en 17,7737 al compararlo con la normativa que plantea que el valor debe ser superior a 6 se interpreta que la señal recibida es de alta calidad. Por otra parte, también se muestra que, por cada trama de 256 *bits* enviados desde la OLT existe 5,47312e-071 *bits* errados, razón por la cual se reafirma el criterio que la señal recibida no ha recibido pérdidas sustanciales en la transmisión.

En la Ilustración 6-3 se aprecia el diagrama del ojo de la red para el usuario más cercano en la Red Gpon.

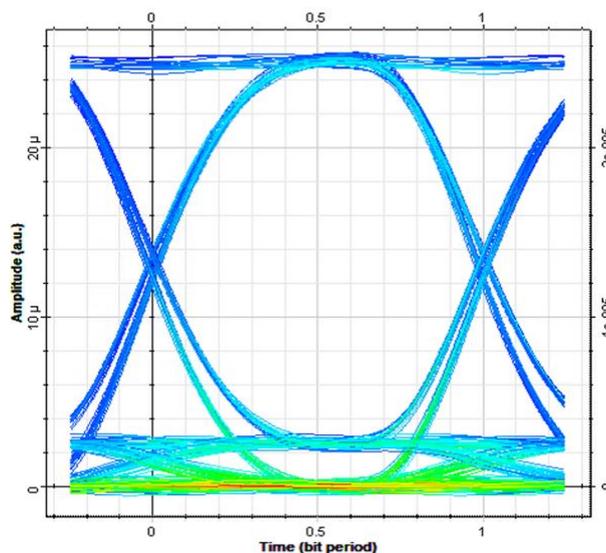


Ilustración 6-3: Diagrama del ojo Voz y Datos Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia, la apertura del diagrama es sumamente amplia, por lo que, el ancho de banda es suficiente para ofrecer el servicio de calidad, sin interferencias. Por otra parte, al realizar *zoom* se aprecia el *jitter* generado en la red.

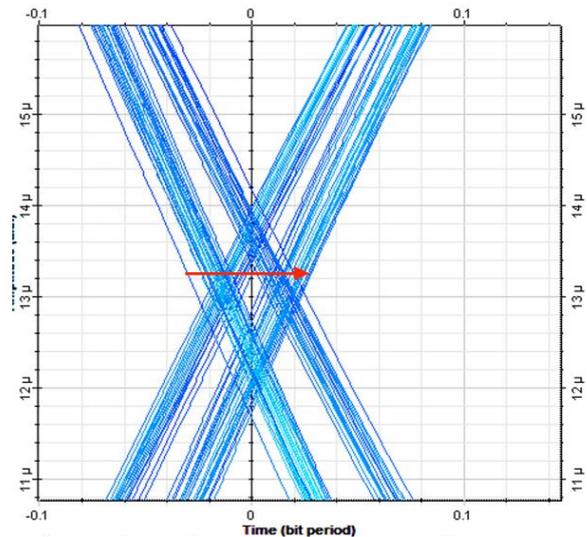


Ilustración 7-3: Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia el valor del *jitter* es aproximadamente 0,08 milisegundos, al compararlos con el estándar planteado que establece el valor en 5ms, se determina que, la recepción de datos y voz no posee interferencias ni pérdidas significativas. A continuación, se realiza el análisis de la recepción de video.

3.1.3. Análisis de la recepción de video

En la Ilustración 8-3 se aprecia la señal de video recibida en la ONU, esta no presenta ruidos gracias al filtro configurado:

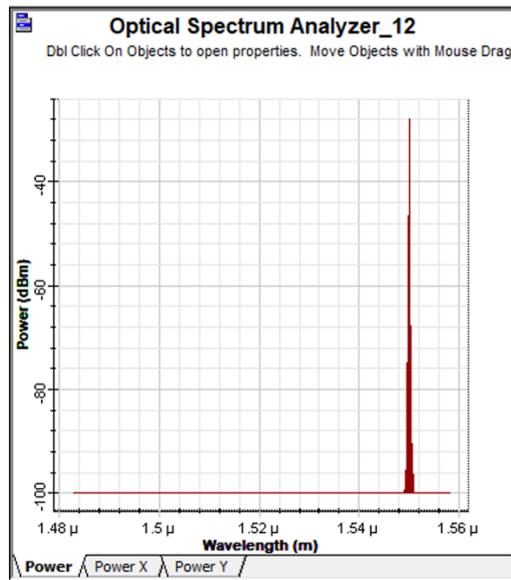


Ilustración 8-4: Señal recibida Voz y Datos Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

La señal recibida está en 1550 nm, y no presenta alteraciones de la transmisión de la misma. A continuación, se presenta el diagrama BER, para el análisis del factor de calidad Q y el error de *Bit* mínimo.

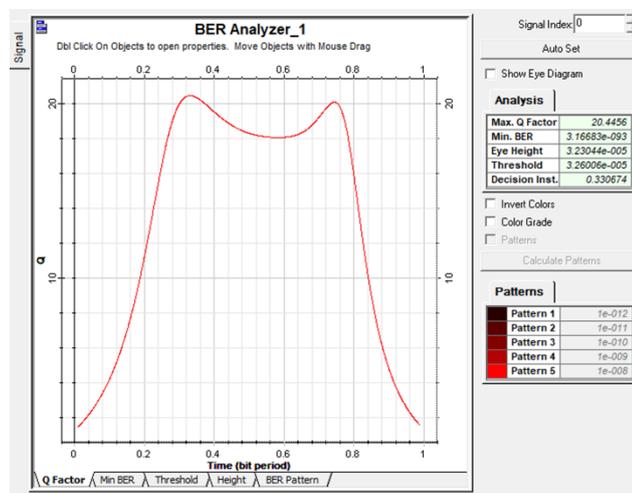


Ilustración 9-3: Gráfica BER Video Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se indica el factor de calidad es de 20,44 este es más de tres veces que, el valor por defecto de la recomendación para este tipo de redes. Así también, el error mínimo de *bit* es 3,16044e-93. En la Ilustración 10-3 se aprecia el diagrama del ojo:

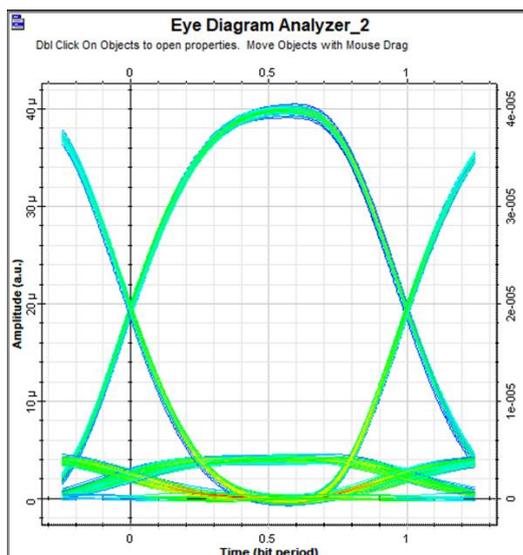


Ilustración 10-3: Diagrama del ojo video Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia, el diagrama presentado muestra una amplia apertura para la señal, lo que ocasiona que la red tenga una adecuada comunicación y sea inmune a las interferencias ocasionadas en la red. Por otra parte, se presenta el análisis de *Jitter* del servicio de video.

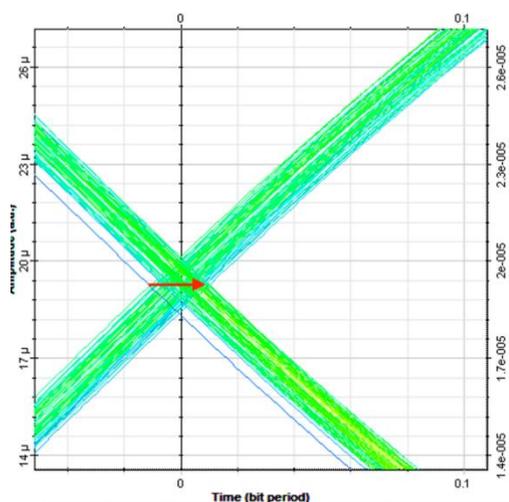


Ilustración 11-3: Jitter en diagrama del ojo video Escenario 1

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia en la Ilustración, el *jitter* es de 0,04 ms aproximadamente, el cual, de acuerdo con la recomendación y los factores de calidad establecidos por la misma, el retraso es mínimo en la transmisión del servicio de video.

3.2. Escenario 2: Red Gpon Usuario más lejano

El escenario 2 está configurado para el servicio triple play del usuario más cercado, los datos de configuración del escenario 1 se presenta en la Tabla 4-3:

Tabla 4-2: Parámetros de configuración escenario 2

| Parámetros | Escenario 2 |
|------------------------------|-----------------|
| Distancia | 25 Km |
| Tipo de fibra | Monomodo |
| Longitud de Onda Datos y Voz | 1490 nm |
| Longitud de Onda Video | 1550 nm |
| Velocidad de transmisión | 2.4 Gbps |
| Potencia de transmisión | Max 5 dBm |
| Potencia de recepción | $\cong -28$ dBm |
| Conectores | 3,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,6 dB |
| Atenuación por distancia | 1,38 dB |
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 12-3 se muestra el valor de la potencia de salida desde la OLT el cual es equivalente a 5,318 dBm:

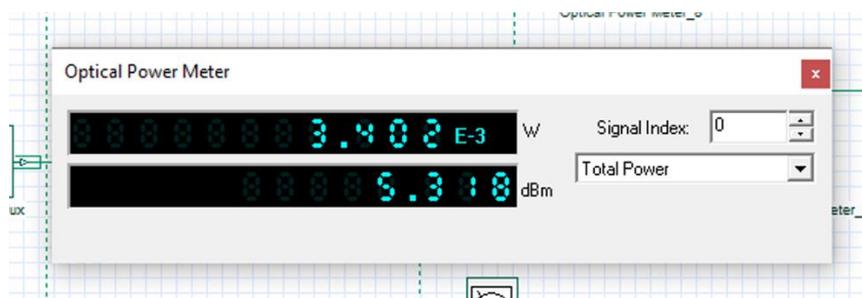


Ilustración 12-3: Potencia de salida OLT Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia la potencia de salida es aproximada al valor ideal establecido en la recomendación. A continuación, se presenta el cálculo de las pérdidas para su posterior llegada a la ONU:

Tabla 5-2: Cálculo de pérdidas Escenario 2

| Parámetros | Escenario 2 |
|--------------------------|-----------------|
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |
| Conectores | 2,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,4 dB |
| Atenuación por distancia | 6,25 dB |
| TOTAL | 25,45 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

El valor total de las pérdidas es equivalente a 25,45 dB este valor debe ser restado a la potencia de transmisión para obtener el valor de la potencia de llegada a la ONU; antes del Demultiplexor este debe ser mayor a los 28 dB por la configuración del equipo.

$$P_{RX} = P_{TX} - \text{Total}$$

$$P_{RX} = 5,318 - 25,45$$

$$P_{RX} = -20,132 \text{ dB}$$

Este valor debe ser aproximado con el valor recibido en la red de dispersión, antes de ingresar a la ONU, como se muestra en la Ilustración 13-3:

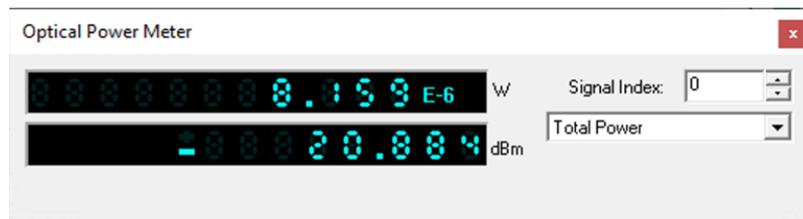


Ilustración 13-2: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia el valor de la potencia de llegada a la red de dispersión es de 20,884 dicho valor se mantiene en los rangos aceptables para la red, el cual es el máximo valor de la ONU. Igualmente, en la Ilustración 14-3 se evidencia las señales recibidas Demultiplexadas:

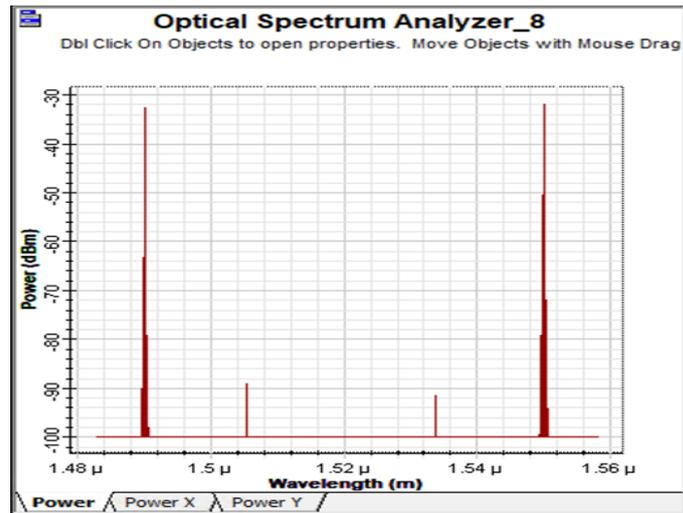


Ilustración 14-1: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se muestra en la figura, la ONU recibe las dos señales enviadas tanto de 1490 nm, así también de 1550 nm. Sin embargo, estas tienen ruido, por lo que es necesario aplicar el filtro de *Butterworth* para la corrección de las mismas.

3.2.1. Análisis Transmisión Datos y Voz

La señal recibida se la aprecia por el analizador de espectro ubicado en el equipo de recepción, este tiene la señal recibida de 1490 nm, misma que equivalente a la señal producida desde la OLT (ver Ilustración 15-3).

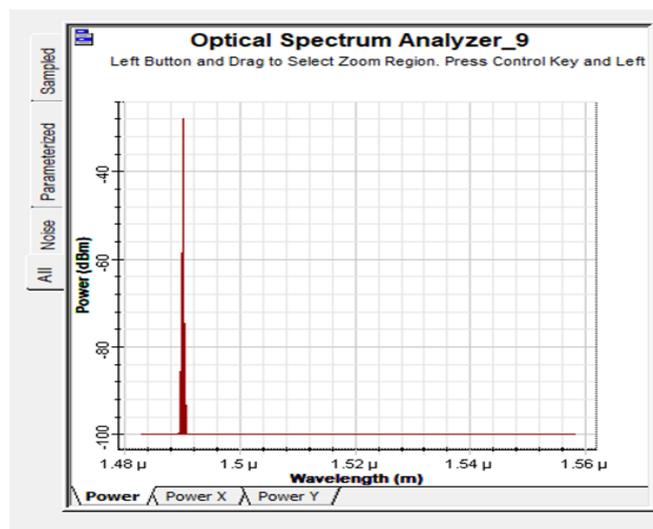


Ilustración 15-1: Señal recibida voz y datos Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

La Ilustración 16-3 muestra el diagrama BER que hace referencia a la relación error por *bit*, que tiene la comunicación de fibra óptica:

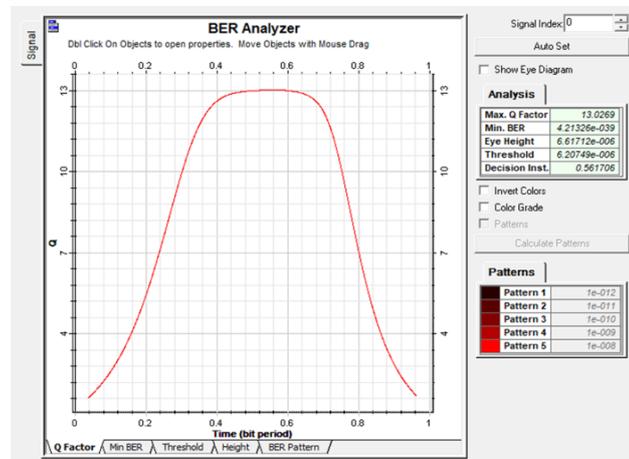


Ilustración 16-1:Gráfica BER voz y datos Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

El factor de calidad Q está en 13,0269 al compararlo con la normativa, el valor debe ser superior a 6 por lo que, se interpreta que la señal recibida es de alta calidad. Por otra parte, se muestra que por cada trama de 256 *bits* enviados desde la OLT existe 4,21325e-039 *bits* errados de modo que, se reafirma el criterio que la señal no ha recibido pérdidas sustanciales en la transmisión.

En la Ilustración 17-3 se aprecia el diagrama del ojo de la red para el usuario más cercano en la Red Gpon.

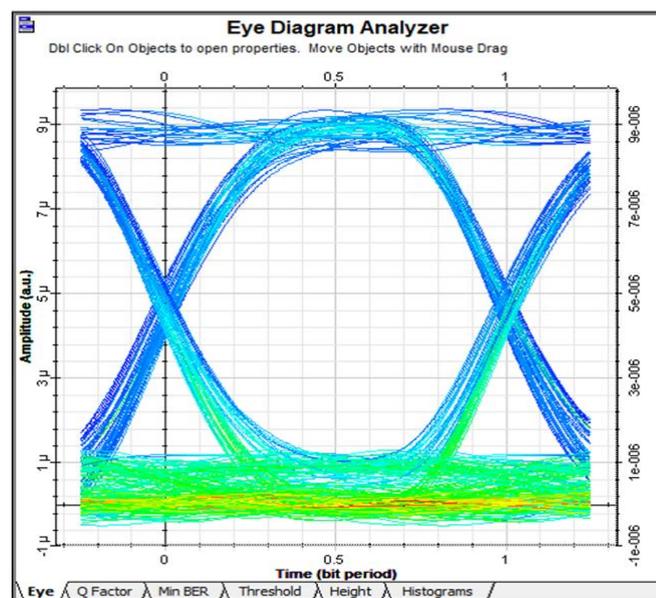


Ilustración 17-1: Diagrama del ojo Voz y Datos Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

La apertura del diagrama es sumamente amplia, por lo que, el ancho de banda es suficiente para ofrecer el servicio de calidad, sin interferencias. Por otra parte, al realizar *zoom* se aprecia el *jitter* generado en la red (ver Ilustración 18-3)

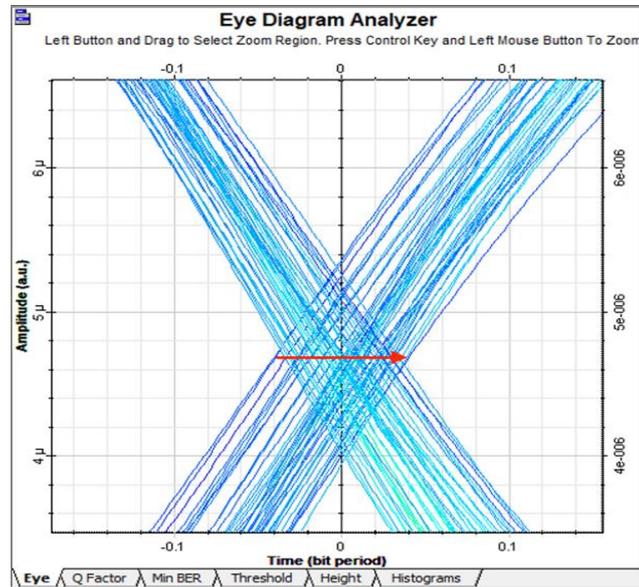


Ilustración 18-1: Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia el valor del *jitter* es aproximadamente 0,08 milisegundos, al compararlos con el estándar planteado que establece el valor en 5ms. Se determina que, la recepción de datos y voz no posee interferencias, ni pérdidas significativas. A continuación, se realiza el análisis de la recepción de video.

3.2.2. *Análisis de la recepción de video*

En la Ilustración 19-3 se observa la señal de video recibida en la ONU, esta no presenta ruidos gracias al filtro configurado:

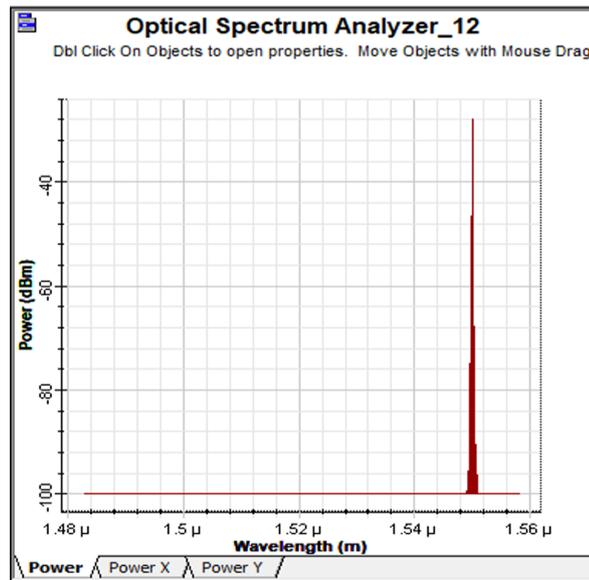


Ilustración 19-1: Señal recibida voz y datos Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

La señal recibida está en 1550 nm, y no presenta alteraciones de la transmisión de la misma, a continuación, se observa el diagrama BER, para el análisis del factor de calidad Q y el error de *Bit* mínimo.

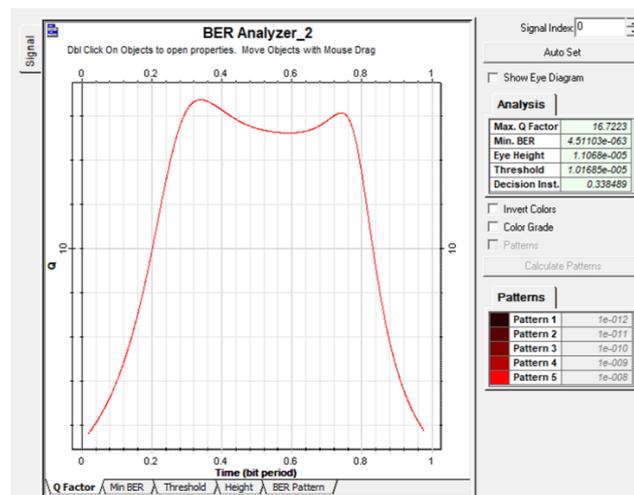


Ilustración 20-1: Gráfica BER Video Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

El factor de calidad es de 16,7223 este es más de tres veces que el valor por defecto de la recomendación para este tipo de redes, así también el error mínimo de bit es 4,51103e-063. En la Ilustración 21-3 se aprecia el diagrama del ojo:

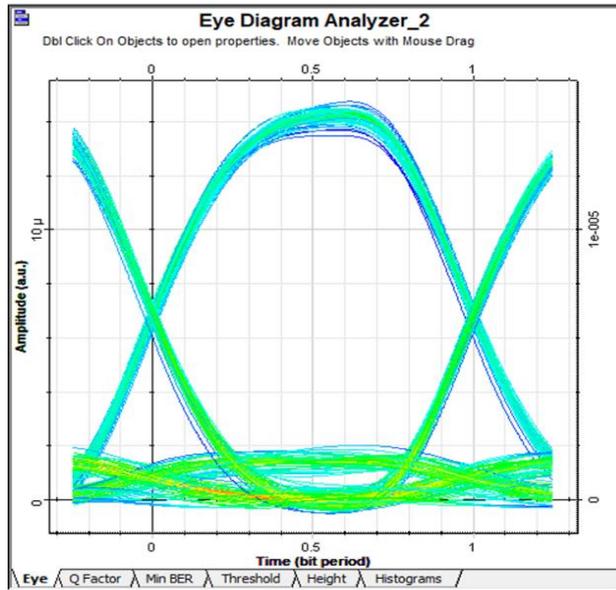


Ilustración 21-1: Diagrama del ojo video escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia, el diagrama presentado muestra una amplia apertura para la señal, lo que ocasiona que la red tenga una adecuada comunicación y sea inmune a las interferencias ocasionadas en la red. Por otra parte, se presenta el análisis de *jitter* del servicio de video.

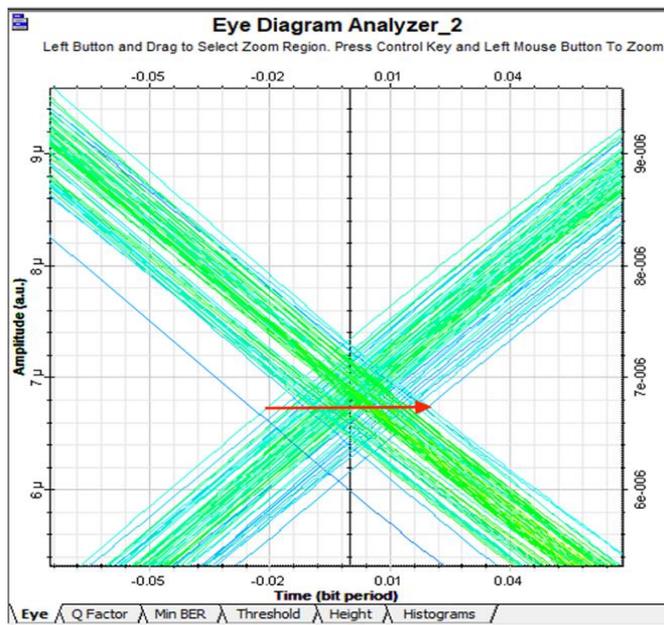


Ilustración 22-1: Jitter en diagrama del ojo video Escenario 2

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia el *jitter* es de 0,04 ms aproximadamente el cual de acuerdo con la recomendación y los factores de calidad establecidos por la misma se evidencia que el retraso es mínimo en la transmisión del servicio de video.

3.3. Escenario 3: Red XGPON Distancia Corta

El escenario 3 está configurado para el servicio triple play del usuario más cercado, los datos de configuración del escenario se presentan en la Tabla 6-3:

Tabla 6-1: Parámetros de configuración escenario 3

| Parámetros | Escenario 3 |
|------------------------------|-----------------|
| Distancia | 7 Km |
| Tipo de fibra | Monomodo |
| Longitud de Onda Datos y Voz | 1490 nm |
| Longitud de Onda Video | 1550 nm |
| Velocidad de transmisión | 2.4 Gbps |
| Potencia de transmisión | Max 5 dBm |
| Potencia de recepción | $\cong -28$ dBm |
| Conectores | 3,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,6 dB |
| Atenuación por distancia | 1,38 dB |
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 23-3 se muestra el valor de la potencia de salida desde la OLT el cual es equivalente a 5,318 dBm:



Ilustración 23-1: Potencia de salida OLT Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

La potencia de salida es aproximada al valor ideal establecido en la recomendación, a continuación, se presenta el cálculo de las pérdidas para su posterior llegada a la ONU:

Tabla 7-1: Cálculo de pérdidas Escenario 3

| Parámetros | Escenario 3 |
|--------------------------|-----------------|
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |
| Conectores | 2,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,4 dB |
| Atenuación por distancia | 1,75 dB |
| TOTAL | 20,35 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

El valor total de las pérdidas es equivalente a 20,35 dB este valor debe ser restado a la potencia de transmisión para obtener el valor de la potencia de llegada a la ONU; antes del Demultiplexor este debe ser mayor a los 28 dB por la configuración del equipo.

$$P_{RX} = P_{TX} - \text{Total}$$

$$P_{RX} = 5,318 - 20,35$$

$$P_{RX} = -15,032 \text{ dB}$$

Este valor debe ser aproximado con el valor recibido en la red de dispersión, antes de ingresar a la ONU (ver Ilustración 24-3).

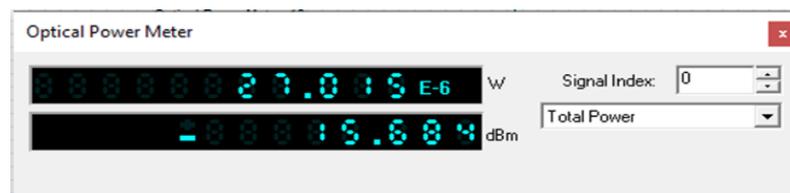


Ilustración 24-1: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia el valor de la potencia de llegada es aproximado al valor calculado, de igual manera este es superior a los -28 dB, el cual es el máximo valor de la ONU. La Ilustración 25-3 muestra las señales recibidas demultiplexadas:

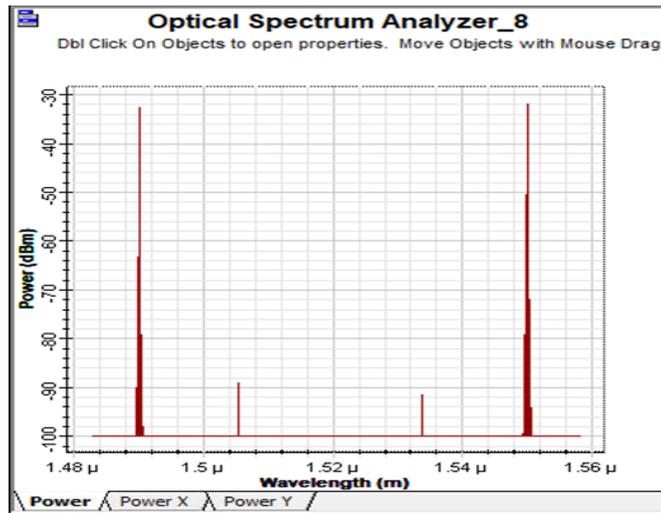


Ilustración 25-1: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

La ONU recibe las dos señales enviadas tanto de 1490 nm, así como también de 1550 nm, sin embargo, presentan ruidos, por lo tanto, es necesario aplicar el filtro de *Butterworth* para la corrección de las mismas.

3.3.1. Análisis Transmisión Datos y Voz

La señal recibida se la aprecia debido al analizador de espectro ubicado en el equipo de recepción, este posee la señal recibida de 1490 nm, lo que equivalente a la señal producida desde la OLT (ver Ilustración 26-3).

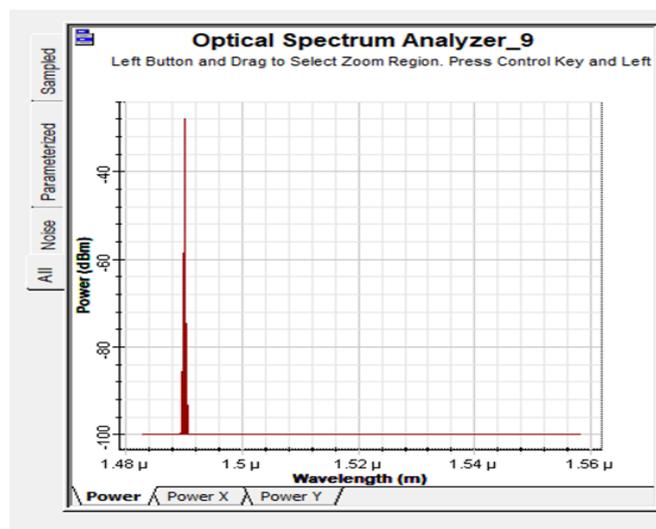


Ilustración 26-1: Señal recibida voz y datos Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 27-3 se evidencia el diagrama BER que hace referencia a la relación error por *bit*, que tiene la comunicación de fibra óptica:

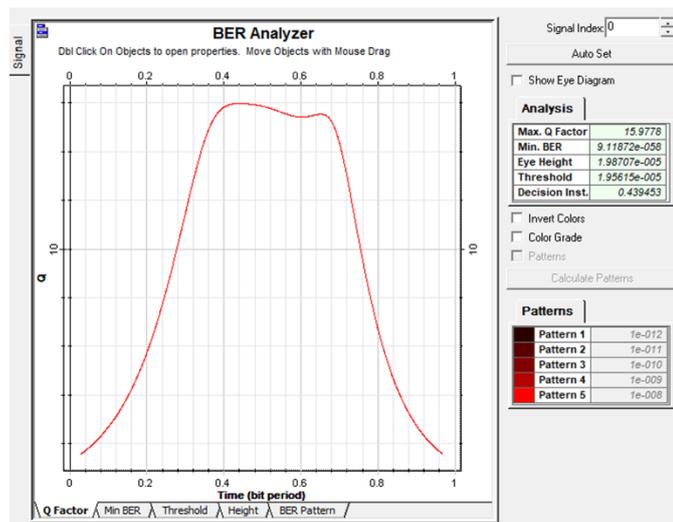


Ilustración 27-1: Gráfica BER voz y datos Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia en la Ilustración el factor de calidad Q está en 15,9778 al compararlo con la normativa que plantea que, el valor debe ser superior a 6, se interpreta que la señal recibida es de alta calidad. Por otra parte, también se muestra que por cada trama de 256 bits enviados desde la OLT existe $9,11872e-058$ bits. Por lo tanto, se reafirma el criterio que la señal recibida no ha recibido pérdidas sustanciales en la transmisión.

En la Ilustración 28-3 se aprecia el diagrama del ojo de la red para el usuario más cercano en la Red Gpon.

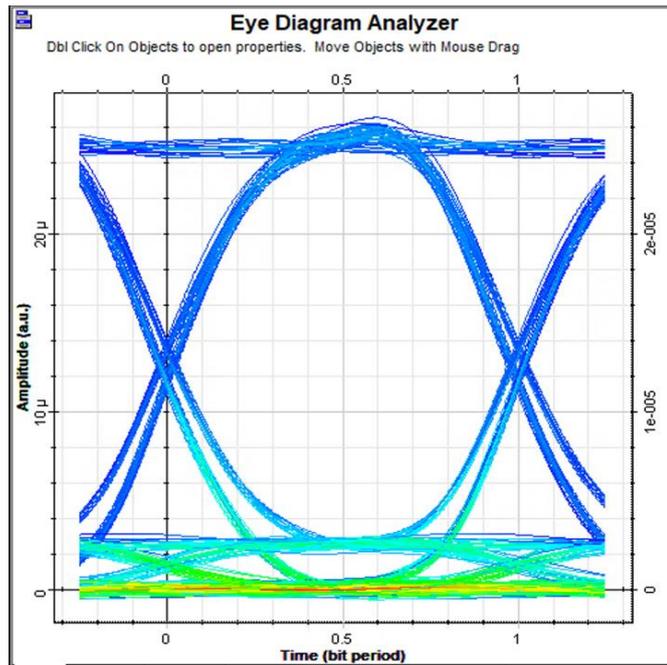


Ilustración 28-1: Diagrama del ojo voz y datos Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia, la apertura del diagrama es sumamente amplio, por lo que el ancho de banda es suficiente para tener un servicio de calidad, sin interferencias. Por otra parte, al realizar *zoom* se aprecia el *jitter* generado en la red, como se muestra a continuación:

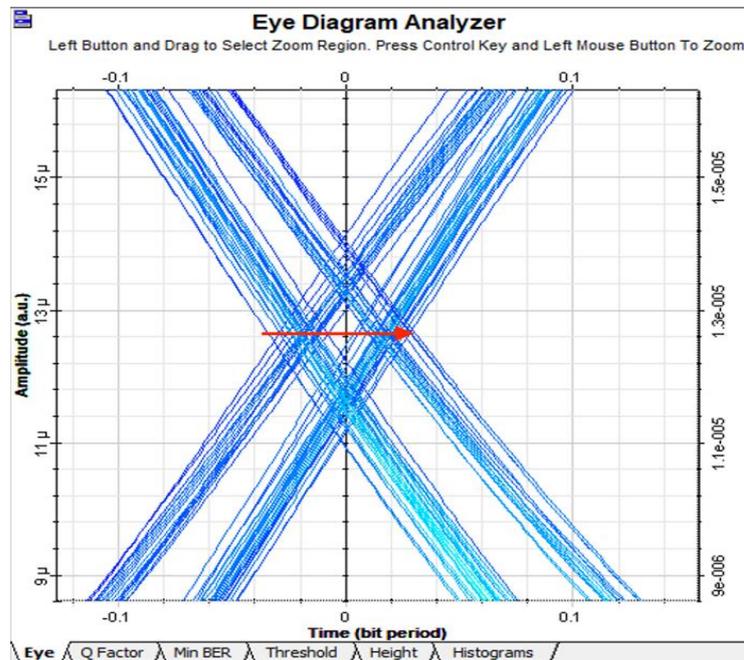


Ilustración 29-1: Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

El valor del jitter es aproximadamente 0,08 milisegundos, al compararlos con el estándar planteado que establece el valor en 5ms, se determina que la recepción de datos y voz no posee interferencias, ni pérdidas significativas. A continuación, se realiza el análisis de la recepción de video.

3.3.2. Análisis de la recepción de video

En la Ilustración 30-3 se aprecia la señal de video recibida en la ONU, esta no presenta ruidos debido al filtro configurado:

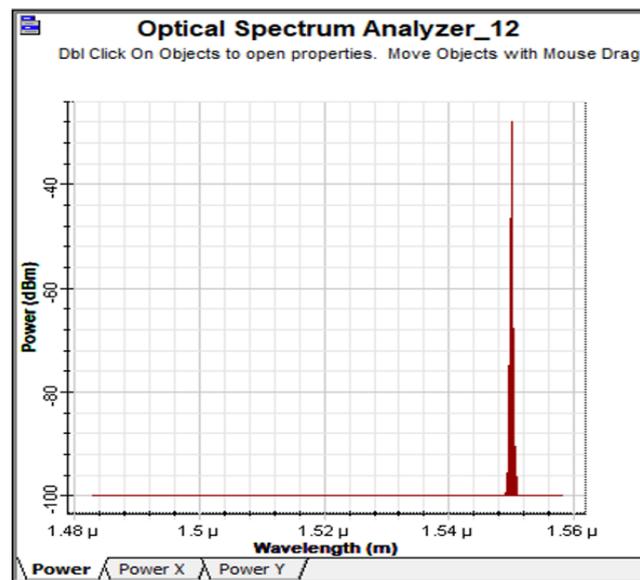


Ilustración 30-1: Señal recibida voz y datos Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

La señal recibida está en 1550 nm, y no presenta alteraciones de la transmisión de la misma, a continuación, se presenta el diagrama BER, para el análisis del factor de calidad Q y el error de *Bit* mínimo.

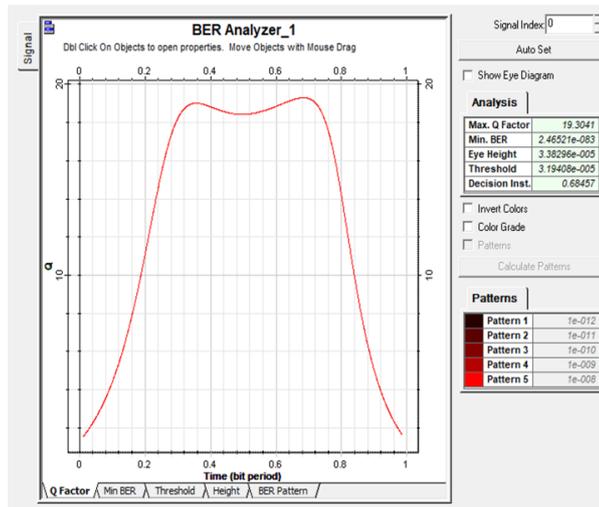


Ilustración 31-1: Gráfica BER Video Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

El factor de calidad es de 19,3041 este tres veces más que el valor por defecto de la recomendación para este tipo de redes. El error mínimo de *bit* es 2,46521e-083. En la Ilustración 32-3 se aprecia el diagrama del ojo:

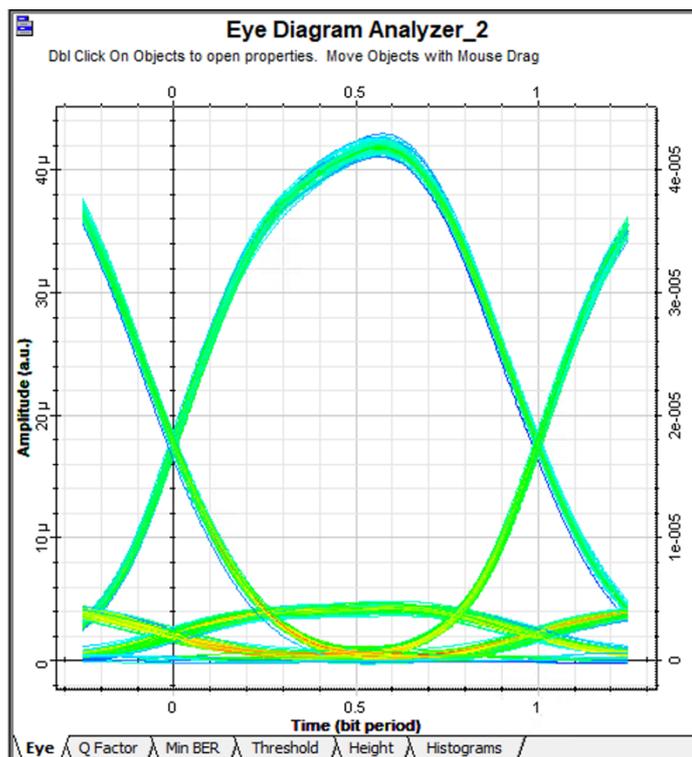


Ilustración 32-1: Diagrama del ojo video Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

El diagrama presentado muestra una amplia apertura para la señal, esto provoca que, la red tenga una adecuada comunicación y sea inmune a las interferencias ocasionadas en la red. Por otra parte, se presenta el análisis de jitter del servicio de video.

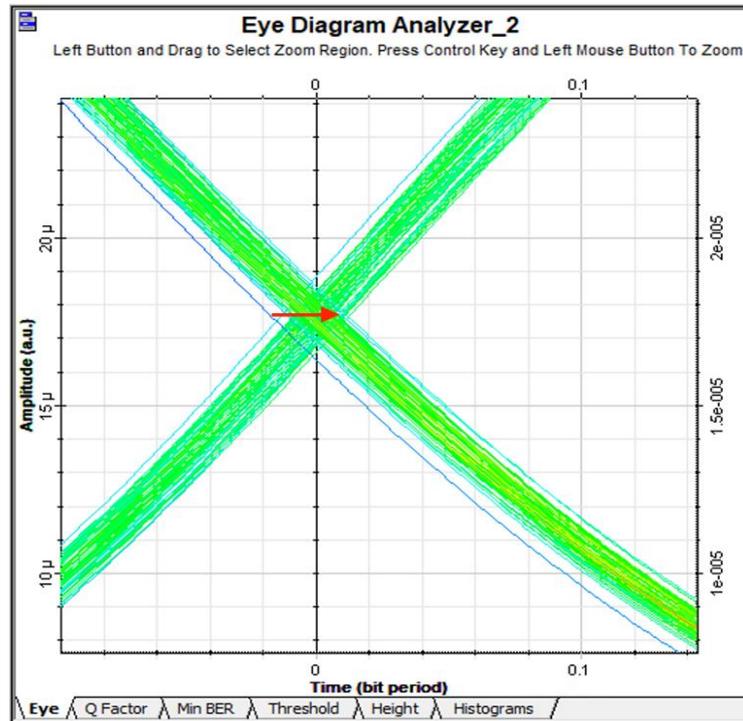


Ilustración 33-1: Jitter en diagrama del ojo video Escenario 3

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia en la Ilustración el *jitter* es de 0,04 ms aproximadamente y de acuerdo con la recomendación y los factores de calidad establecidos por la misma, indica que, el retraso es mínimo en la transmisión del servicio de video.

3.4. Escenario 4: Red XGPON Distancia Larga

El escenario 4 está configurado para el servicio triple play del usuario más cercado, los datos de configuración del escenario se presentan en la Tabla 8-3:

Tabla 8-1: Parámetros de configuración escenario 4

| Parámetros | Escenario 4 |
|------------------------------|-------------|
| Distancia | 25 Km |
| Tipo de fibra | Monomodo |
| Longitud de Onda Datos y Voz | 1490 nm |
| Longitud de Onda Video | 1550 nm |

| | |
|--------------------------|-----------|
| Velocidad de transmisión | 2.4 Gbps |
| Potencia de transmisión | Max 5 dBm |
| Potencia de recepción | ≈-28 dBm |
| Conectores | 3,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,6 dB |
| Atenuación por distancia | 1,38 dB |
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

En la Ilustración 34-3 se muestra el valor de la potencia de salida desde la OLT el cual es equivalente a 5,318 dBm:

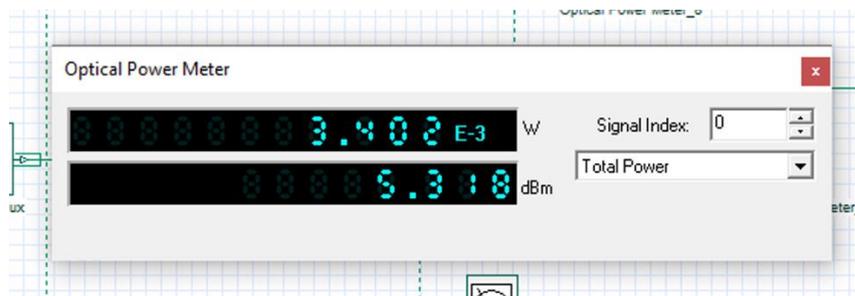


Ilustración 34-1: Potencia de salida OLT Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

La potencia de salida es aproximada al valor ideal establecido en la recomendación, a continuación, se presenta el cálculo de las pérdidas para su posterior llegada a la ONU:

Tabla 9-1: Cálculo de pérdidas Escenario 4

| Parámetros | Escenario 4 |
|--------------------------|-----------------|
| Splitter 1 a 8 | 9,7 dB |
| Splitter 1 a 4 | 6,6 dB |
| Conectores | 2,5 dB |
| Atenuador (Fusiones) | 0,4 dB |
| Atenuación por distancia | 6,25 dB |
| TOTAL | 25,45 dB |

Realizado por: Mora Luis, 2022

El valor total de las pérdidas es equivalente a 25,45 dB, este valor debe ser restado a la potencia de transmisión para obtener el valor de la potencia de llegada a la ONU; antes del Demultiplexor debe ser mayor a los 28 dB por la configuración del equipo.

$$P_{RX} = P_{TX} - \text{Total}$$

$$P_{RX} = 5,318 - 25,45$$

$$P_{RX} = -20,132 \text{ dB}$$

Este valor debe ser aproximado con el valor recibido en la red de dispersión, antes de ingresar a la ONU (ver Ilustración 35-3).

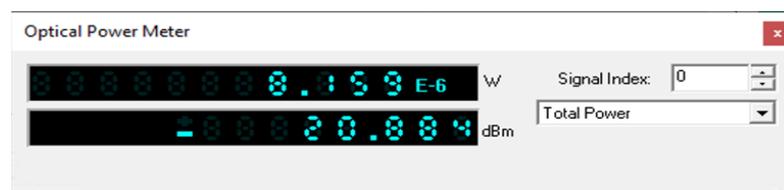


Ilustración 35-1: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se observa el valor de la potencia de llegada es aproximado al valor calculado, de igual forma este es superior a los -28 dB, el cual es el máximo valor de la ONU. La Ilustración 36-3 muestra las señales recibidas demultiplexadas:

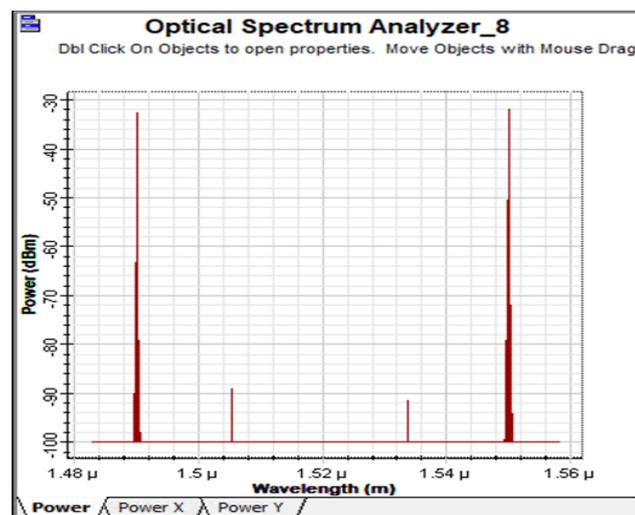


Ilustración 36-1: Potencia de recepción Red de Dispersión Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

La ONU recibe las dos señales enviadas tanto de 1490 nm, así como también de 1550 nm. Sin embargo, tienen ruidos y es necesario aplicar el filtro de *Butterworth* para la corrección de las mismas.

3.4.1. Análisis Transmisión Datos y Voz

La señal recibida se la puede apreciar debido al analizador de espectro ubicado en el equipo de recepción, esta posee la señal de 1490 nm, equivalente a la señal producida desde la OLT (ver Ilustración 37-3).

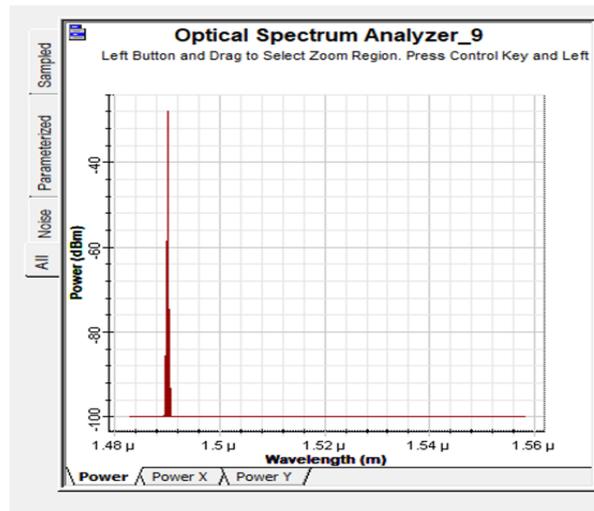


Ilustración 37-1: Señal recibida voz y datos Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

A continuación, se evidencia el diagrama BER que hace referencia a la relación error por *bit*, que tiene la comunicación de fibra óptica:

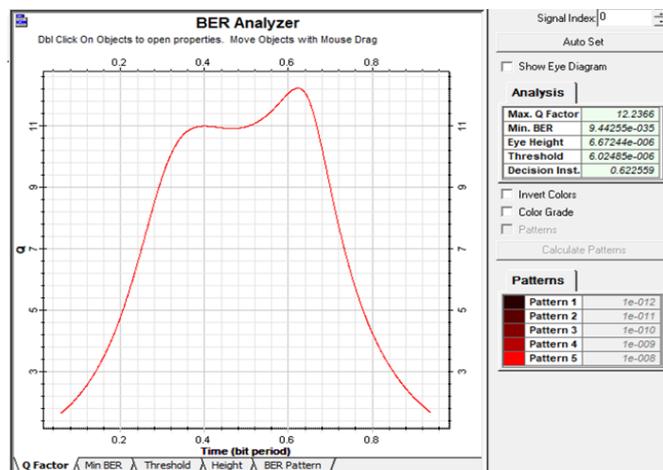


Ilustración 38-1: Gráfica BER voz y datos Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia en la Ilustración el factor de calidad Q está en 12,2366 al compararlo con la normativa donde plantea que, el valor debe ser superior a 6, se interpreta que la señal recibida es de alta calidad. Así también, se muestra que, por cada trama de 256 bits enviados desde la OLT, existe $9,44255e-035$ bits errados. De este modo, se reafirma el criterio que la señal recibida no ha tenido pérdidas sustanciales en la transmisión.

En la Ilustración 39-3 se aprecia el diagrama del ojo de la red para el usuario más cercano en la Red Gpon.

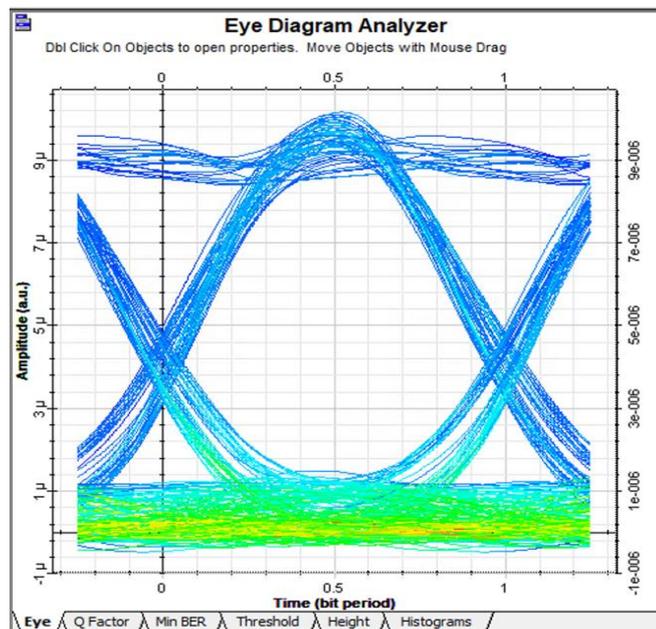


Ilustración 39-1: Diagrama del ojo voz y datos Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

La apertura del diagrama es sumamente amplia. Por lo tanto, el ancho de banda es suficiente para ofrecer un servicio de calidad y sin interferencias. Al realizar *zoom* se aprecia el *jitter* generado en la red (ver Ilustración 40-3).

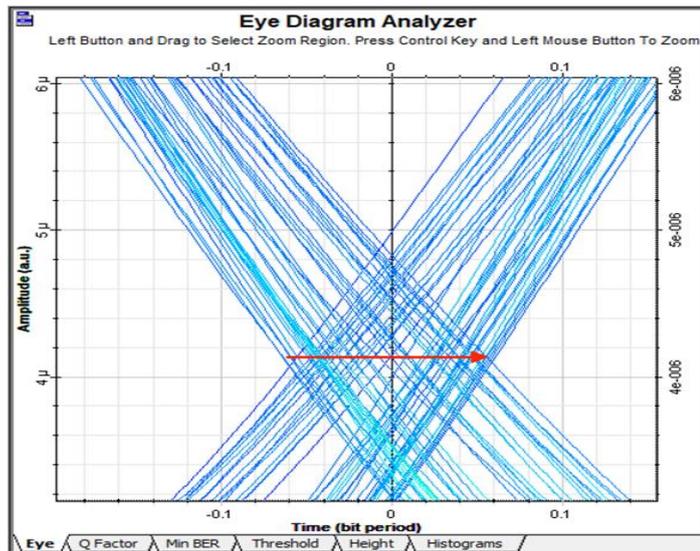


Ilustración 40-1: Jitter en diagrama del ojo voz y datos Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se aprecia el valor del *jitter* es aproximadamente 0,08 milisegundos, al compararlos con el estándar planteado, donde se establece el valor en 5ms, se determina que, la recepción de datos y voz, no poseen interferencias, ni pérdidas significativas. A continuación, se realiza el análisis de la recepción de video.

3.2.3. Análisis de la recepción de video

En la Ilustración 41-3 muestra la señal de video recibida en la ONU, esta no presenta ruidos gracias al filtro configurado:

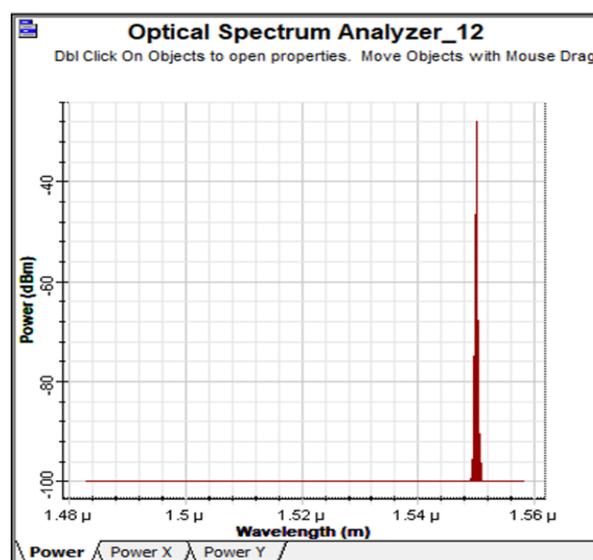


Ilustración 41-1: Señal recibida voz y datos Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

La señal recibida está en 1550 nm, y no presenta alteraciones de la transmisión, a continuación, se presenta el diagrama BER, para el análisis del factor de calidad Q y el error de *Bit* mínimo.

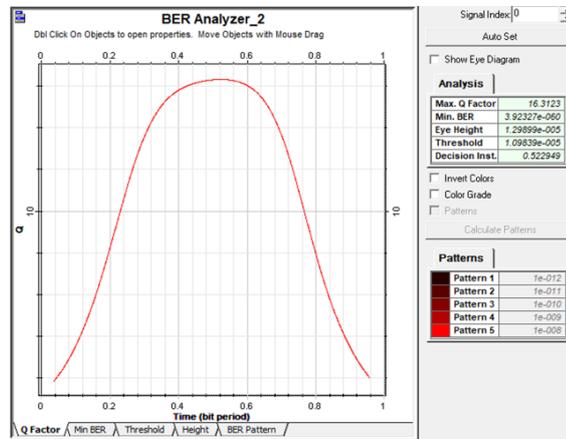


Ilustración 42-1: Gráfica BER Video Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

Como se evidencia el factor de calidad es de 20,44 tres veces más que el valor por defecto de la recomendación para este tipo de redes. El error mínimo de *bit* es 3,16044e-93. En la Ilustración 43-3 se aprecia el diagrama del ojo:

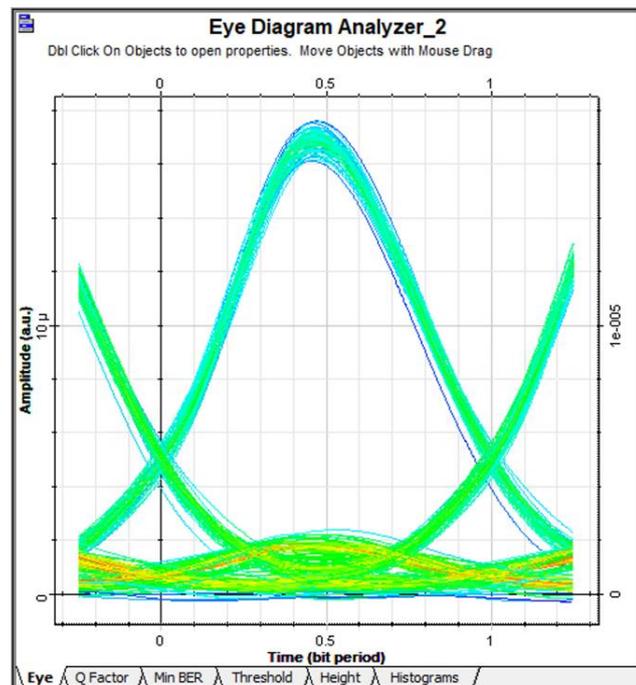


Ilustración 43-1: Diagrama del ojo video Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

El diagrama presentado muestra una amplia apertura para la señal, esto provoca que la red tenga una adecuada comunicación y sea inmune a las interferencias ocasionadas en la red. Por otra parte, se presenta el análisis de *jitter* del servicio de video.

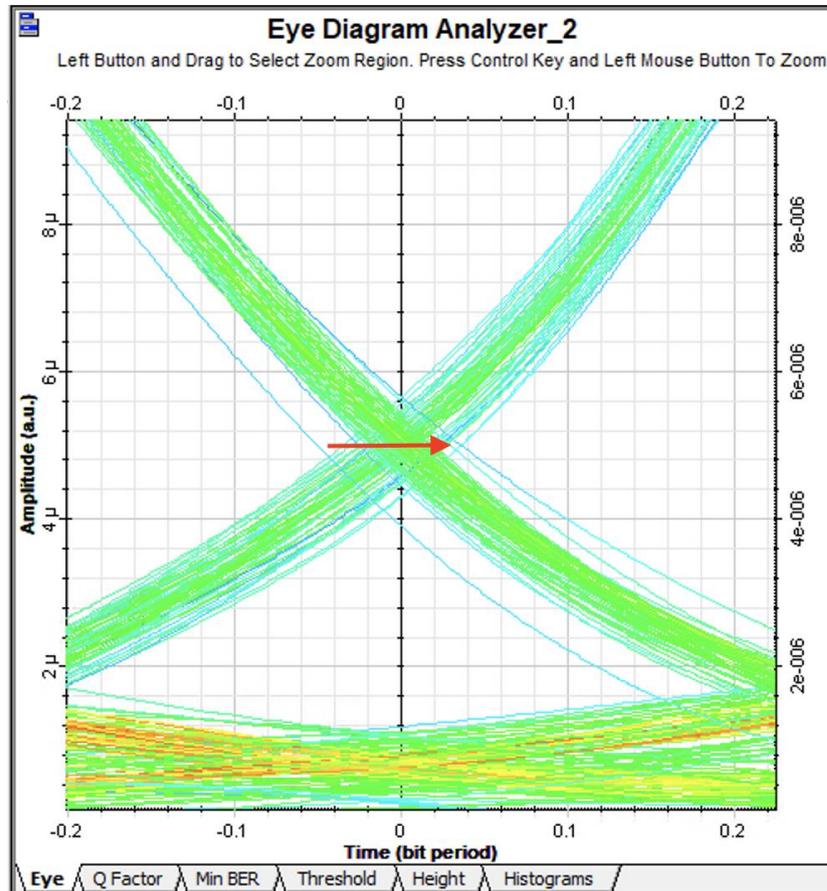


Ilustración 44-1: Jitter en diagrama del ojo video Escenario 4

Realizado por: Mora Luis, 2022

El jitter es de 0,04 ms aproximadamente y de acuerdo con la recomendación, los factores de calidad establecidos por la misma, se evidencia que, el retraso es mínimo en la transmisión del servicio de video.

Finalmente se aprecia el presupuesto de los equipos necesarios para la implementación del servicio Triple Play:

Tabla 10-1: Costos de equipos para red óptica

| Equipo | Costo |
|-----------------------------|----------------|
| OLT Huawei MA5608T | \$ 2981,96 |
| ONU Huawei ZTE F660 V8.0 | \$ 40 |
| Rollo Fibra Óptica Monomodo | \$ 190 |
| Splitter 1*8 | \$ 5 |
| Splitter 1*16 | \$ 20 |
| Rosetas | \$ 4 |
| Patchord | \$ 2 |
| Armario de Distribución | \$ 600 |
| NAP | \$ 34 |
| Total | 3876,96 |

Realizado por: Mora Luis, 2022

La implementación de la red tendría un costo de alrededor de 4000 dólares americanos. Dicho valor puede variar de acuerdo a las políticas de importación, así como también la disponibilidad de los equipos por parte de las empresas fabricantes.

CONCLUSIONES

- Las redes de tipo GPON, así como también las XGPON deben ser compatibles entre sí, así como también, la infraestructura es adaptable para el cambio de tecnología, de igual manera, son los equipos de la OLT, esto se debe al alto coste de despliegue que posee la red.
- El servicio Triple Play en las *Pymes* poseen un mayor ancho de banda para la transmisión y recepción de información. Sin embargo, los parámetros de calidad son los mismos debido a que estos se encuentran establecidos según la recomendación ITU 984x.
- El *software OptiSystem* permite el análisis de diversos tipos de comunicaciones ópticas, esto permitió realizar el análisis comparativo de las tecnologías investigadas. En dicho análisis se evidenció una pequeña variación de la obtención de los valores calculados con los obtenidos en la simulación, sin embargo, esta diferencia es mínima y no afecta a la interpretación.
- Las redes PON al estar basadas en medios de transmisión ópticos poseen el mejor servicio para la transmisión de triple play en la actualidad, esto se debe a que, la fibra no es susceptible a interferencias de tipo electromagnéticas y ofrece además grandes velocidades de transmisión y recepción de datos.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar pruebas de conectividad con diversos usuarios en las tecnologías GPON y XGPON, y de esta forma evaluar el comportamiento del servicio ofertado por el ISP, a fin de asegurarse que las *pymes* posean un servicio triple play de calidad.
- Considerar cuantos grupos de clientes se puede obtener por hilo o troncal en el momento de realizar la implementación, es importante además considerar la sectorización en donde se plantea establecer la red para facilitar la administración de la red.
- Considerar las pérdidas por conectores y distancia que posee las redes, de esta forma se puede prevenir cualquier interferencia o mala calidad de servicio en la transmisión de información triple play.

BIBLIOGRAFÍA

AGALLIU et al. "Optical splitter design for telecommunication access networks with triple-play services". *Journal of Electrical Engineering* [en línea], 2018, (Republica Checa) 69 (32), pp. 1-8. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://sciendo.com/downloadpdf/journals/jee/69/1/article-p32.pdf>.

ALI et al. "Evaluating Characteristics of 2.5 Gbps GPON using Various Distance and Wavelength". *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [en línea], 2021, 1105 (1), pp. 1-11. [Consulta: 29 abril 2022]. ISSN 1757-8981. Disponible en: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1105/1/012027>.

ALTAMIRANO, David. "*Evaluación de una red de distribución óptica utilizada en el estándar GPON G984 para medir parámetros óptimos de calidad de servicio sobre OPTISYSTEM utilizando normativa CNT*" [en línea] (Tesis de pregrado). ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 11-29. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/7545/1/20T00916.PDF.pdf>

ALVES, Juliana. "*Next generation passive optical networks (NG-PON)*" [en línea] (Tesis de pregrado). Universidad de Aveiro, Aveiro, Portugal. 2010. pp. 38-98. [Consulta: 9 mayo 2022]. Disponible en: https://ria.ua.pt/bitstream/10773/4473/1/Dissertacao_Andreia.pdf.pdf

ARCOTEL. "BOLETÍN ESTADÍSTICO". Agencia de Regulación y Control de las Telecomunicaciones [En línea], 2018, (Ecuador), p.15. [Consulta: 26-10-2020]. Disponible en: <https://www.arcotel.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/BOLETIN-ESTADISTICO-FEBRERO-2019-Cierre-2018.pdf>

AROKKIAM et al. "Design, implementation, and evaluation of an XG-PON module for the ns-3 network simulator". *SIMULATION*, vol. 93, (2017) pp. 1-20.

BAQUERO, Juan. "*Análisis de una red GPON mediante simulación para el servicio de internet en la parroquia Tenguel*" [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2020. pp. 1-78. [Consulta: 2022-05-26]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/57412/1/BAQUERO%20PILOSO%20JUAN%20GABRIEL.pdf>

BATAGELJ et al. "Optical access network migration from GPON to XG-PON. *ACCESS 2012*". *The Third International Conference on Access Networks*, (2012) pp. 2-6.

BORZYCKI, Krzysztof. "FTTx Access Networks: Technical Developments and Standardization". *Broadband Communications Networks* [en línea], 2018, no. 14, pp. 6-25. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/327783949_FTTx_Access_Networks_Technical_Developments_and_Standardization .

BOURGART, Fabrice. "Optical Access Transmission: XG-PON system aspects". *FTTH Conference 2010 ITU-T Standardization: from G-PON to 10G XG-PON* [en línea], 2010, Lisbon. Disponible en: https://www.itu.int/en/ITU-T/studygroups/com15/Documents/tutorials/Optical_access_transmission.pdf.

CHI et al. "Broadband access technology for passive optical network". *SPIE OPTO: Integrated Optoelectronic Devices* [en línea], 2009, San Jose, s.n., pp. 2-6. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <http://proceedings.spiedigitallibrary.org/proceeding.aspx?doi=10.1117/12.816599>.

CHICO, Luis. *Gestión y calidad de servicio para una red IPTV con tecnología GPON* [En línea] (Tesis de posgrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato- Ecuador. 2021. pp. 1-106. [Consulta: 2022-05-26]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34042/1/t1915mtel.pdf>
[20objeto%20de%20estudio.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/34042/1/t1915mtel.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

CHOMYCZ, B. *Fiber Optic Installer's Field Manual* [en línea]. 2nd edicion. New York-USA: McGraw-Hill Education, 2015. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071818674>.

ESTEBAN, Nicomedes. *Tipos de investigación*. [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-05-26]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/250080756.pdf>

EFFENBERGER et al. "Next-Generation PON—Part III: System Specifications for XG-PON". *IEEE Communications Magazine* [en línea], 2009 pp. 2-7. [Consulta: 5 mayo 2022]. Disponible en: http://www.hit.bme.hu/~jakab/edu/litr/Access/PON/XG_PON_IEEEComMag_05595476.pdf.

GENG, Irene. *¿Qué es GPON? router-switch* [blog]. 2018. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://www.router-switch.com/faq/what-is-gpon.html>.

GUEVARA, Gladys., VERDOSOTO, Alexis. & CASTRO, Nelly. Metodologías de investigación educativa (descriptivas, experimentales, participativas, y de investigación-acción). *Revista científica mundo de la investigación y el conocimiento* [en línea], 2020, (Ecuador) 4 (3), pp. 163-173. [Consulta: 2022-05-26]. ISSN: 2588-073X. Disponible en: <https://www.recimundo.com/index.php/es/article/view/860/1363>

HOLIK et al. "Application for GPON Frame Analysis". *Electronics* [en línea], 2019, vol. 8, no. 6, pp. 3-8. [Consulta: 27 mayo 2022]. ISSN 2079-9292. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/6/700/pdf?version=1561109265>.

HORVATH et al. Passive Optical Networks Progress: A Tutorial. *Electronics* [en línea], 2020 vol. 9, no. 7, pp. 2-5. [Consulta: 26 mayo 2022]. ISSN 2079-9292. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2079-9292/8/6/700/pdf?version=1561109265>

HUAWEI. GPON frame structure. *Huawei Enterprise Support Community* [blog], 2022. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://forum.huawei.com/enterprise/en/gpon-frame-structure/thread/821277-100181>.

ITU-T. G.984.1: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics. [en línea], 2018. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/en>.

ITU-T. G.984.2: Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Physical Media Dependent (PMD) layer specification. [en línea], 2019. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-201908-I/en>.

ITU-T. G.984.3: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification. [en línea], 2014. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>.

ITU-T. G.984.4: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): ONT management and control interface specification. [en línea], 2008. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>.

ITU-T. G.984.5: Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Enhancement band. [en línea], 2007. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.5-202202-I/en>.

ITU-T. G.984.6: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Reach extension. [en línea], 2008. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>.

ITU-T. G.984.7: Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Long reach. [en línea], 2010. [Consulta: 3 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/en>.

ITU-T. G.987.1: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements. [en línea], 2016. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.1-201603-I/en>.

ITU-T. G.987.2: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Physical media dependent (PMD) layer specification. [en línea], 2016 [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.2-201602-I/en>.

ITU-T. G.987.3: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification. [en línea], 2014. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.3-201401-I/en>.

ITU-T. G.987.4: 10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Reach extension. [en línea], 2012. [Consulta: 31 mayo 2022]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.987.3-201401-I/en>.

JUAN, Don. ANÁLISIS DE PON: Qué es OLT, ONU, ONT y ODN. *Medium* [blog], 2018. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://xxamin1314.medium.com/an%C3%A1lisis-de-pon-qu%C3%A9-es-olt-onu-ont-y-odn-8e78eb25e4bb>.

KEISER, G. *FTTX Concepts and Applications*. [en línea] Estados Unidos: John Wiley & Sons, 2006. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: https://books.google.com.ec/books?id=F9QVc-YfZk8C&printsec=frontcover&hl=es&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false.

LLALLUKKA, S. y RAATIKAINEN, P. *Passive Optical Networks Transport concepts* [en línea]. Technical editing Maini Manninen. Espoo: Technical editing Maini Manninen, 2006. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://www.vttresearch.com/sites/default/files/pdf/publications/2006/P597.pdf>. pdf

MARCHUKOV, Yaroslav. *Desarrollo de una aplicación gráfica para el diseño de infraestructuras FTTH* [en línea] (tesis de pregrado). Gandia: Uversidad Politecnica de Valencia y Escuela Politecnica Superior de Gandia. 2011. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf>. pdf

MCCLLOUD, Sean. "Gigabit Passive Optical Networks". [en línea], 2020 pp. 4-12. [Consulta: 9 mayo 2022]. Disponible en: https://www.leviton.com/en/docs/Leviton_WP_GigabitPassiveOpticalNetworks-GPON_EF.pdf.

ORTEGA, S. y KEVIN, J. *Análisis evolutivo de las redes de acceso de fibra óptica GPON - XGPON* [en línea] (trabajo de titulación). Guayaquil, Ecuador: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. 2018. pp. 21-52 [Consulta: 6 mayo 2022]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/10953/1/T-UCSG-POS-MTEL-107.pdf>. pdf

PASTO, Sara. *Evaluación de parámetros de QoS en la transmisión de voz, video y datos de una red FTTH utilizando el estándar G.984.X* [en línea] (trabajo de titulación). Riobamba: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO. 2019. pp. 6-28 [Consulta: 26 abril 2022] Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13437/1/98T00252.pdf>. pdf

REYES, L. & CARMONA, F. A. *La investigación documental para la comprensión ontológica del objeto de estudio.* [En línea]. 2020 [Consulta: 2022-05-26]. Disponible en: <https://bonga.unisimon.edu.co/bitstream/handle/20.500.12442/6630/La%20investigaci%3%b3n%20documental%20para%20la%20comprensi%3%b3n%20ontol%3%b3gica%20del%20>

SABANDO, Katherine. *Caracterización de los Servicios Triple-Play mediante comunicaciones sobre líneas eléctricas* [En línea] (Tesis de pregrado). Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil-Ecuador. 2014. pp. 1-90. [Consulta: 2022-05-26]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/1913/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-58.pdf>

SANI, Jenny. *Diseño, evaluación de una red FTTH utilizando Optisystem y estrategia para la obtención de concesión que permita brindar servicios triple play* [En línea] (Tesis de posgrado).

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba-Ecuador. 2022. pp. 1-150. [Consulta: 2022-07-14]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/15713>

TOMÁS, Javier y PAYÁ, Víctor. *Configuración de servicios de usuario con QoS sobre una red GPON real* [en línea] (trabajo de titulación). Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. 2019. pp. 11-19. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/119968/Garc%C3%ADa%20-%20Configuraci%C3%B3n%20de%20servicios%20de%20usuario%20con%20QoS%20sobre%20una%20red%20GPON%20real.pdf?sequence=2>. pdf

VILLACÍS, Andrea. *Diseño de una red 10G-PON para el barrio de Carcelén alto 3D* [en línea] (trabajo de titulación). Quito: Escuela Politécnica Nacional. 2013. [Consulta: 25 abril 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5911/1/CD-4733.pdf>. pdf

YAÛE, Adolfo. GPON Introducción y Conceptos Generales. [en línea] (artículo de conferencia). 2012, S.l.: TELNET-RI, pp. 10-30. [Consulta: 29 abril 2022]. Disponible en: <https://www.telnet-ri.es/wp-content/uploads/2014/10/gpon-introduccion-conceptos.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: DESCRIPCIÓN OLT HUAWEI MA5608T



ESPECIFICACIÓN

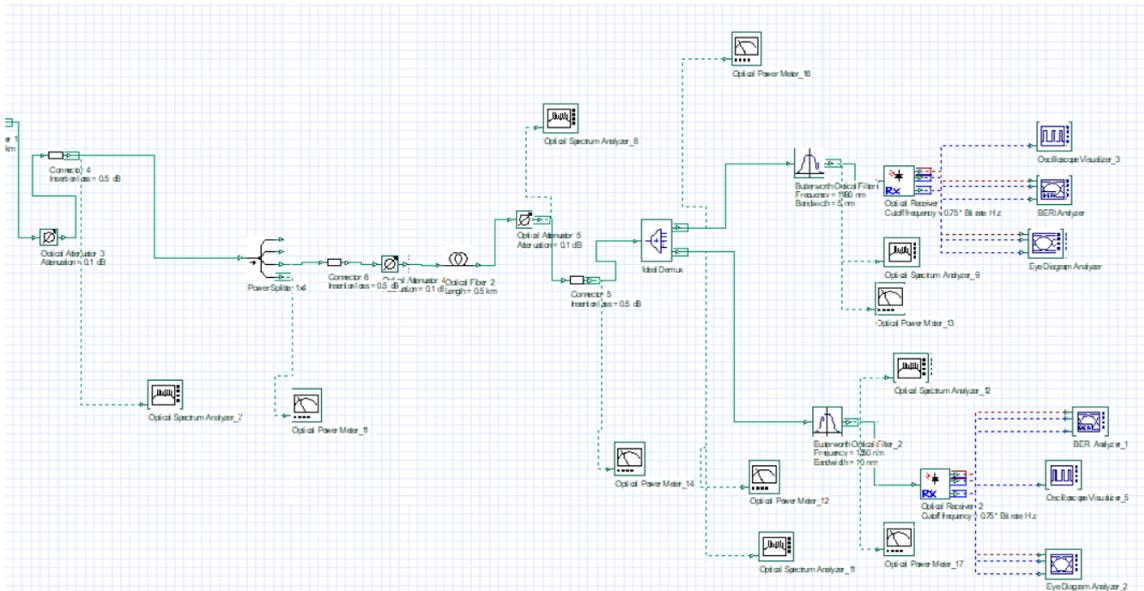
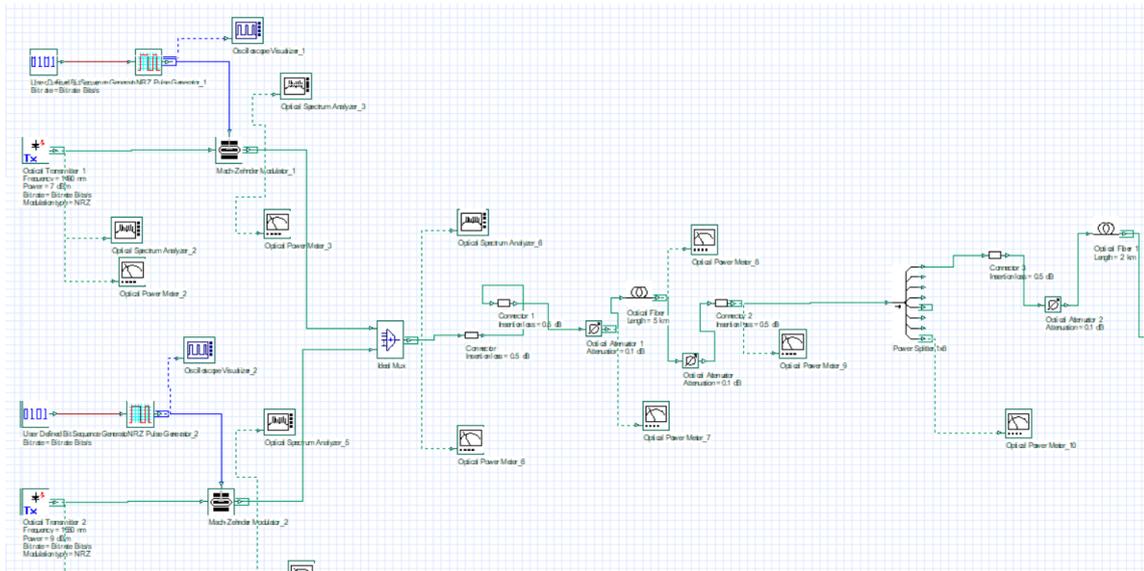
| Características / filtros | |
|--------------------------------|---------------------------------|
| PON estándar | GPON |
| OLT - Número de puertos PON | 16 |
| OLT - Número de puertos Uplink | 4 |
| Tarjetas incluidas | GPFD C+, MCUD (10GE), MPWC (DC) |
| Tipo de caso | Rack (2U) |

ANEXO B: ONU HUAWEI ZTE F660 V8.0



- GPON ONU
- 1POTS+1GE+1FE+WIFI + USB
- 2 x Antenas de 5dBi
- Conector SC/APC o UPC
- Velocidad 802.11n hasta 300Mbps.
- Compatible con OLT basado en el chipset Broadcom Huawei -ZTE – Optictimes.
- Añadir a la lista de deseos

ANEXO C: DISEÑO DE LA RED PON





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS DEL
APRENDIZAJE



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 20/ 03 / 2023

| | |
|--|---|
| INFORMACIÓN DEL AUTOR | |
| Nombres – Apellidos: Luis Ezequiel Mora Sinche | |
| INFORMACIÓN INSTITUCIONAL | |
| Facultad: Informática y Electrónica | |
| Carrera: Telecomunicaciones | |
| Título a optar: INGENIERO EN ELECTRÓNICA TELECOMUNICACIONES Y REDES | |
| f. Analista de Biblioteca responsable: |  Ing. Fernanda Arévalo M. |



0434-DBRA-UPT-2023