



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE NGPON2 Y GPON PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LAS REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA FTTH

CARLOS PATRICIO CANDO TORRES

Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo,
presentado ante el Instituto de Postgrado y Educación Continua de la
ESPOCH, como requisito para la obtención del grado de:

MAGÍSTER EN INTERCONECTIVIDAD DE REDES

Riobamba-Ecuador

Febrero, 2020

©2020, Carlos Patricio Cando Torres

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fin académico, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo las citas bibliográficas del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El **Trabajo de Titulación** modalidad **Proyectos de Investigación y Desarrollo**, denominado: “ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE NGPON2 Y GPON PARA MEJORAR EL DESEMPEÑO DE LAS REDES PASIVAS DE FIBRA ÓPTICA FTTH”, de responsabilidad del señor Carlos Patricio Cando Torres, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su presentación.

Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima; Mag.

PRESIDENTE

Ing. Pablo Wiliam Hidalgo Lascano, Mag.

DIRECTOR

Ing. Luis Aníbal Corrales Paucar, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Víctor Raúl Barragán Borja, Mag.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Riobamba, febrero 2020

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Carlos Patricio Cando Torres, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Proyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece exclusivamente a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo



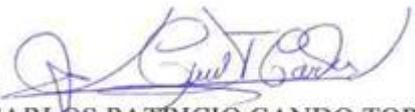
CARLOS PATRICIO CANDO TORRES
C.I.:1803473337

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Carlos Patricio Cando Torres, declaro que el presente trabajo de titulación modalidad proyecto de investigación y desarrollo, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes 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 proyecto de investigación de maestría.

Riobamba, febrero 2020.



CARLOS PATRICIO CANDO TORRES
C.I:1803473337

DEDICATORIA

A Jehová Dios y a mis cuatro amores Mirian, Adriana, Brigitte y Karlita, que han sido mi fuerza y mi inspiración para todas las cosas.

Carlos

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Pablito Hidalgo, Luis Corrales y Raúl Barragán, por la guía y los valiosos aportes en el desarrollo de la tesis.

Carlos Patricio Cando Torres

CONTENIDO

RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I	
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.1 Situación Problemática.....	1
1.2 Formulación del problema	2
1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación	3
1.4 Justificación	3
1.5 Objetivos de la investigación	4
1.5.1 Objeto General	4
1.5.2 Objetivos específicos.....	4
1.6 Hipótesis	4
CAPÍTULO II	
2 MARCO TEÓRICO	6
2.1 Antecedentes de la investigación.....	6
2.2 Marco Conceptual.....	6
2.2.1 Redes pasivas de fibra óptica	7
2.2.2 Red GPON	7
2.2.3 Redes NGPON 2	15
CAPÍTULO III	
3 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	21
3.1 Tipos y Diseño de la investigación	21
3.2 El tipo de investigación se clasifica como aplicada y descriptiva.....	21
3.3 Métodos de la investigación.....	21
3.4 Enfoque de la investigación.....	22
3.5 Alcance investigativo.....	22
3.6 Población de estudio.....	22
3.7 Unidad de análisis	22
3.8 Selección de la muestra	23
3.9 Tamaño de la muestra	23
3.10 Técnicas de recolección de datos.....	23
3.11 Instrumentos de recolección de datos.....	24
3.12 Instrumentos para procesar datos recopilados	24
3.13 Escenarios de pruebas.....	24

3.13.1 <i>Diseño de los escenarios</i>	24
3.13.2 <i>Implementación de escenarios</i>	24
CAPÍTULO IV	
4 RESULTADOS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS	40
4.1 Análisis de resultados	41
4.2 Resultados de simulación	41
4.3 Demostración de la hipótesis	54
4.3.1 <i>Demostración de la hipótesis para el caso del BER</i>	57
4.3.2 <i>Demostración de la hipótesis para el caso de la Latencia</i>	65
CAPÍTULO V	
5 PROPUESTA	70
5.1 Desarrollo en software de una red Híbrida GPON y NGPON2	70
5.2 Elaboración de una guía de implementación de NGPON2	74
5.2.1 <i>Consideraciones iniciales</i>	74
5.2.2 <i>Criterios generales de diseño</i>	74
5.2.3 <i>Selección del tipo de fibra óptica, tendido y herrajes</i>	74
5.2.4 <i>Cálculo de la muestra de la población a servir</i>	74
5.2.5 <i>Tabulación de encuestas y análisis de resultados</i>	75
5.2.6 <i>Estimación de la demanda</i>	75
5.2.7 <i>Proyección de la demanda</i>	75
5.2.9 <i>Distribución de zonas</i>	76
5.2.10 <i>Cálculo y distribución de los elementos de la red</i>	76
5.2.11 <i>Presupuesto de potencia óptico para los casos críticos</i>	76
CONCLUSIONES	79
RECOMENDACIONES	80
BIBLIOGRAFÍA	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2: Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbit/s en sentido descendente.....	14
Tabla 2-2: Recomendaciones UIT-T de la serie G.989.X para NGPON2	15
Tabla 3-2: Distancias permitidas de fibra en la ODN NGPON2	17
Tabla 4-2: Clases de pérdida en la ruta óptica del ODN NGPON2	17
Tabla 5-2: Longitudes de onda para NGPON2.....	18
Tabla 6-2: Parámetros físicos de una ODN NGPON2.....	19
Tabla 7-2: Parámetros de la interfaz óptica a 2,48832 Gbps en bajada	19
Tabla 8-4: Obtención de datos BER en las ONT GPON con Optisystem	46
Tabla 9-4: Obtención de datos BER en las ONT NGPON2 con Optisystem	48
Tabla 10-4: Obtención de la Latencia en las ONT GPON con Optisystem.....	52
Tabla 11-4: Obtención de la Latencia en los ONT NGPON2 con Optisystem.....	53
Tabla 12-5: Presupuesto de potencia para el usuario más cercano	77
Tabla 13-5: Presupuesto de potencia para el usuario más lejano.....	78
Tabla 14-5: Resultados obtenidos de GPON y NGPON2.....	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-2: Arquitectura de red GPON.....	10
Figura 2-2: Capas de GPON	10
Figura 3-2: Arquitectura funcional NGPON2 y su coexistencia con otros sistemas PON.	16
Figura 4-2: Planes de longitud de onda para los sistemas PON	18
Figura 5-3: Transmisor Óptico (<i>Optical Transmitter</i>) GPON	26
Figura 6-3: Fibra Óptica (<i>Optical Fiber</i>) para GPON.....	27
Figura 7-3: Divisor de Potencia (<i>Power Splitter</i>) para GPON	28
Figura 8-3: Subsistema que simula una ONT GPON.....	28
Figura 9-3: Photodetector APD(<i>Fotodetector APD</i>)	29
Figura 10-3: Filtro pasa bajos de Bessel (<i>Low Pass Bessel</i>)	30
Figura 11-3: Escenario del sistema GPON con 8 subsistemas con 8 ONTs cada uno.	31
Figura 12-3: Evolución de las redes ópticas pasivas	33
Figura 13-3: Escenario de simulación NGPON2.....	34
Figura 14-3: OLT GPON2 formado por 4 XGPON	35
Figura 15-3: Uno de los cuatro OLT XGPON.....	36
Figura 16-3: Multiplexor Óptico AWG (1 a 4 y 4 a 1).....	37
Figura 17-3: Subsistema ONU de NGPON2	38
Figura 18-3: Red NGPON2 con 64 ONTs.....	39
Figura 19-4: Elemento BER Analyzer en OptiSystem	41
Figura 20-4: Primer BER obtenido en el punto más cercano en GPON.....	42
Figura 21-4: Primer BER obtenido en el punto más cercano en NGPON2.....	43
Figura 22-4: BER obtenido en el punto de 20 Km en GPON.....	44
Figura 23-4: BER obtenido en el punto de 20 Km en NGPON2.....	45
Figura 24-4: Elemento Optical Time Domain Visualizer en Optisystem.....	49
Figura 25-4: Visualización con OTDV en punto más cercano GPON.	49
Figura 26-4: Visualización con OTDV en punto más lejano GPON.....	50
Figura 27-4: Visualización con OTDV en punto más cercano en NGPON2.....	50
Figura 28-4: Visualización con OTDV en punto de 20 km NGPON2.	51
Figura 29-4: Región crítica, valor crítico (z_t) y estadístico de prueba (z_c).....	55
Figura 30-4: Técnica de análisis de datos	57
Figura 31-4: Elección de la técnica para análisis de datos en SPSS	57
Figura 32-4: Creación de variables en el SPSS	58
Figura 33-4: Etiquetado de la variable independiente (GPON y NGPON2)	58
Figura 34-4: Ingreso de datos en Vista de Datos	59

Figura 35-4: Análisis de normalidad en SPSS.....	59
Figura 36-4: Explorador de datos para análisis de normalidad del BER.....	60
Figura 37-4: Seleccionar Gráfico de normalidad con pruebas.....	60
Figura 38-4: Resumen del procesamiento de casos.....	60
Figura 39-4: Análisis descriptivo de la variable independiente.....	61
Figura 40-4: Prueba de normalidad en SPSS.....	61
Figura 41-4: Prueba de normalidad del BER busca histograma.....	62
Figura 42-4: Histograma de la prueba de normalidad del BER.....	63
Figura 43-4: Búsqueda de prueba de U MANN WHITNEY.....	63
Figura 44-4: Prueba para dos muestras independientes con U MANN WHITNEY.....	64
Figura 45-4: Prueba de hipótesis con U MANN WHITNEY.....	64
Figura 46-4: Explorador de datos para análisis de normalidad de la LATENCIA.....	65
Figura 47-4: Gráfico de normalidad con pruebas para LATENCIA.....	66
Figura 48-4: Resumen de procesamiento de casos para la Latencia.....	66
Figura 49-4: Prueba de normalidad para el caso de la Latencia.....	67
Figura 50-4: Gráfico de frecuencias de la LATENCIA.....	68
Figura 51-4: Prueba de dos muestras independientes para la LATENCIA.....	68
Figura 52-4: Prueba de hipótesis con U MANN WHITNEY.....	69
Figura 53-5: Estructura lógica de un sistema Híbrido.....	70
Figura 54-5: OLT híbrida GPON y NGPON2.....	71
Figura 55-5: ONT Híbrido GPON y NGPON2.....	72
Figura 56-5: Diagrama general de red GPON y NGPON2.....	73
Figura 57-5: Usuario más cercano con pérdidas mínimas en la ODN NGPON2.....	76
Figura 58-5: Usuario más lejano con pérdidas máximas en la ODN NGPON2.....	77

ABSTRACT

The purpose of this work was to analyze the comparison between passive access network technologies of the type Fiber to The Home (*Fiber To The Home, FTTH*) between the passive Gigabit Optical Fiber Network (Gigabit Passive Optical Network, GPON) and the next generation of passive optical Fiber network (Next generation passive optical network, NGPON2) to measure its performance and determine which is more optimal. It was proposed as a research hypothesis if the application of NGPON2 will improve the performance of passive FTTH networks with respect to the use of GPON. The methodology used is mainly focused on a quasi-experimental method that allowed obtaining the data measured in the Optisystem simulation software, for which approximately 640 data were taken for each technology and each parameter. From the results obtained a value of null BER was obtained for the NGPON2 technology and 0.00000000000000000000000005745 for the BER of GPON measured at a distance of 20 Km and with respect to the indicator of the LATENCY a similar value was obtained for both the technology GPON as for NGPON2 whose value found is 0,00000005375. From this it was determined that there is no normality of the data by a non-parametric statistical analysis of the U-Mann Whitney method performed with the help of the SPSS statistical system. From the analysis of the p-value method it was determined that our research hypothesis was successfully validated. From the results obtained and with the accepted research hypothesis, it is concluded that the NGPON2 technology has better performance than the GPON technology, so it is recommended to continue this research by analyzing in future real cases and with other parameters.

Key words: <, TECHNOLOGY AND ENGINEERING SCIENCES, NETWORKS>< FIBER TO THE HOME (FTTH)>, <GIGABIT PASSIVE OPTICAL NETWORK, (GPON)>, < NEXT GENERATION OF PASSIVE OPTICAL NETWORK (NGPON2)>, < OPTICAL NETWORKS>



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación Problemática

Una red pasiva de fibra óptica (Passive Optical Network, PON) es una red que permite eliminar todos los componentes activos existentes entre el nodo y el cliente introduciendo en su lugar componentes ópticos pasivos (GAONA L, 2013, pág. 5).

Las redes pasivas del tipo **FTTH**, utilizan cables de fibra óptica y sistemas de distribución ópticos adaptados en una topología física tipo árbol para distribuir “servicios avanzados, como *triple play* (Telefonía, internet de banda ancha y televisión), a los hogares y negocios de los abonados” (GAONA L, 2013), haciendo uso de algunas de las tecnologías pasivas como GPON y NGPON2 (Nesset, 2015).

Hoy en día uno de los retos dominantes en las telecomunicaciones es la creciente demanda del ancho de banda. Esta situación condujo a un aumento de utilización de la tecnología GPON en las denominadas redes FTTH (ALTICELABS, 2016). Esta forma de comunicación en ambientes tipo *home* (usuarios con pequeños requerimientos de ancho de banda) puede ser una solución viable con un considerable ancho de banda al usuario; pero a gran escala con un mayor ancho de banda (usuarios corporativos e ISPs) se generan problemas de administración y afecta la transmisión en tiempo real de paquetes de servicios.

De lo antes expuesto surge la siguiente interrogante a resolver en el presente trabajo de investigación. ¿Existe una tecnología que permita mejorar el desempeño en la transferencia de paquetes de servicios convergentes en tiempo real en las redes pasivas de fibra óptica FTTH?

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (*Institute of Electrical and Electronics Engineers, IEEE*) ha considerado que la transmisión de información en redes pasivas FTTH va en aumento. Con NGPON2, se multiplexan cuatro longitudes de onda basado en tiempo, para continuar dando un sistema altamente reconfigurable en términos de gestión del tráfico y la Asignación Dinámica de ancho de

banda (*Dynamic Bandwidth Allocation, DBA*) se extiende a estos cuatro pares de longitudes de onda, sin comprometer el rendimiento de transmisión de los datos (Nesset, 2015). A pesar de que esta tecnología está disponible, es muy poco conocida en nuestro medio y carece de pruebas a detalle respecto al desempeño de servicios convergentes en las redes pasivas FTTH.

En nuestro país se revisaron los repositorios digitales de las diferentes universidades y se observó que no existen estudios enfocados a analizar el rendimiento de NGPON 2, y solo se presentan como referencia de que existe esta tecnología como es el caso del trabajo realizado por Leslie María Toapanta (Toapanta, 2018).

La mayoría de estudios sobre redes pasivas en nuestro medio, tratan sobre el diseño de red GPON, ya sea para una red nueva o una existente como es el caso del tema de tesis de (Gomez Bossano, 2013) y también el diseño de red GPON de Cadena Bolaños, (Cadena Bolaños, 2014).

Existe un trabajo a nivel de maestría (Manjarres Altamirano, 2017), que trata sobre la evaluación de red óptica utilizando el estándar G.984. Este trabajo investiga los sistemas y tecnologías en la comunicación óptica analizando la normativa de la Corporación Nacional de Telecomunicaciones (CNT) en el programa OptiSystem; si bien realiza el estudio de una red pasiva GPON no lo compara con otra tecnología.

Se tiene otro estudio de maestría de la Universidad de Catalunya, España (Velasquez Milcolta, 2014) donde se analiza una red NGPON2. El trabajo de investigación evalúa el rendimiento y tolerancia de las redes NGPON2, estudia su arquitectura y simula en OptiSystem en ciertas frecuencias no especificadas actualmente en el estándar G.989X. Adicional a esto no realiza una comparación con otro tipo de red pasiva como GPON.

Por tal motivo, el presente trabajo se centra en la comparación de dos tecnologías, cuyos resultados permitirán mejorar el desempeño de las redes pasivas de fibra óptica de tipo FTTH en la transferencia de servicios convergentes para usuarios corporativos e ISPs.

1.2 Formulación del problema

¿La aplicación de la técnica NGPON2 permitirá mejorar el desempeño de las redes pasivas de fibra óptica FTTH?

1.3 Preguntas directrices o específicas de la investigación

¿Cuáles son los parámetros y herramientas que permitan la evaluación del desempeño de una red pasiva FTTH?

¿Cuál es el desempeño de una red GPON y NGPON2 sobre servicios convergentes en tiempo real en una red FTTH?

¿Cuál es el resultado del análisis comparativo para determinar la técnica que permita mejorar el desempeño de las redes FTTH?

1.4 Justificación

El presente trabajo de investigación tiene como finalidad el estudio de las técnicas GPON y NGPON2 para determinar su desempeño en la provisión de servicios convergentes de tiempo real sobre la red pasiva FTTH.

Los resultados permitirán analizar el rendimiento de una red FTTH aplicando la tecnología NGPON2 en comparación a la tecnología GPON, para ser considerada como una alternativa técnica y económica viable en la implementación de redes robustas de tecnología innovadora en nuestro país, que requiere el desarrollo de pruebas necesarias para su validación teórica y correcto funcionamiento.

El estudio permitirá evaluar el desempeño de la técnica NGPON 2 respecto a las GPON para el diseño de una red pasiva FTTH confiable y escalable cuyo principal objetivo sería la provisión de servicios robustos.

La verificación y comprobación de estas tecnologías brindarán datos teóricos y prácticos sobre el desempeño de NGPON2 respecto a GPON y permitirá a los administradores de redes obtener una solución probada, confiable y escalable para la transmisión de servicios convergentes en tiempo real, con una disminución de costos a los usuarios corporativos e ISPs al usar enlaces físicos dedicados hacia ellos.

Para conseguir este propósito se plantean varios escenarios de pruebas. Se diseñará y simulará una red pasiva FTTH formada por una Terminal de línea óptica (*Optical Line Terminal, OLT*) ubicada en la oficina matriz conectadas a 64 Terminaciones de red óptica (*Optical Network Termination, ONT*)

ubicadas a diferentes distancias del punto central, para cursar tráfico convergente.

- En el primer escenario se realizará el diseño y simulación de la red GPON.
- En el segundo escenario se realizará el diseño y simulación de la red NGPON2.

La evaluación de ambos escenarios se realizará bajo las mismas características en cuanto al número de dispositivos clientes (ONT), un punto central (OLT), los ONTs ubicadas a diferentes distancias del punto central OLT, mismo tipo de servicio, misma velocidad (2488,32Mbit/s) y se medirán los parámetros en el sentido descendente. Los parámetros a ser medidos serán la **tasa de error de bit (*Bit Error Rate, BER*)** y los **retardos (*latencia*)**.

1.5 Objetivos de la investigación

1.5.1 Objeto General

Analizar comparativamente las tecnologías GPON y NGPON2, cuyos resultados permitirán mejorar el desempeño de las redes pasivas de fibra óptica FTTH.

1.5.2 Objetivos específicos

- * Analizar las tecnologías GPON y NGPON2 a fin de identificar sus características.
- * Diseñar un escenario de pruebas para cursar tráfico sobre la red GPON y NGPON2.
- * Implementar el escenario de pruebas mediante software de simulación para obtener mediciones que sustenten la comparación y que permitan identificar cómo mejorar las redes pasivas FTTH.
- * Evaluar los resultados para identificar los mejores parámetros de NGPON2 que permitan incrementar el desempeño de las redes pasivas FTTH.
- * Elaborar una guía de especificaciones técnicas para la correcta implementación de NGPON 2 sobre las redes pasivas FTTH.

1.6 Hipótesis

Las hipótesis alternativa y nula propuestas se manifiestan a continuación.

Hipótesis de la Investigación (Hi). - La aplicación de NGPON2 mejorará el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON.

Hipótesis Nula (Ho).-La aplicación de NGPON2 no mejorará el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de la investigación

De acuerdo a la investigación realizada se encontraron algunos temas relacionados a la propuesta de solución planteada, los mismos que se detallan a continuación:

Uno de los primeros artículos investigados corresponde a AlticeLabs (ALTICELABS, 2016), que trata sobre los requerimientos, el desarrollo y la coexistencia de NGPON2 con las otras redes pasivas, sin llegar a observar el rendimiento de NGPON2.

En otro estudio de maestría realizado en la Universidad de Catalunya, España (Velasquez Milcolta, 2014) se analiza una red NGPON2. El trabajo de investigación evalúa el rendimiento y tolerancia de las redes NGPON2, estudia su arquitectura y simula en OptiSystem en ciertas frecuencias no especificadas actualmente en el estándar G.989.X. Adicional a esto no realiza una comparación con otro tipo de red pasiva como GPON.

Otro trabajo realizado en Argentina en el Instituto Tecnológico de Buenos Aires (Osorio, 2016), trata sobre el “análisis del desarrollo de la tecnología GPON-FTTH en Argentina, tomando en consideración su despliegue, su capacidad de crecimiento, se compara con otras tecnologías, estudia sus virtudes y desventajas, además de su impacto en el mercado Laboral y Educativo” (Osorio, 2016, pág. 17) de Argentina, donde se consideran los requerimientos de GPON para implementarse, pero no se realiza una comparación con NGPON2.

2.2 Marco Conceptual

El marco conceptual de este estudio, está basado en lo referente a las redes pasivas FTTH con GPON y NGPON2.

2.2.1 Redes pasivas de fibra óptica

Los nuevos servicios de telecomunicaciones (*televisión y vídeo bajo demanda de alta definición en 3D, comunicaciones unificadas y video conferencia, juegos en red, “cloud computing”, etc.*) demandan mayores requerimientos de ancho de banda respecto a los que se tienen actualmente. Las redes pasivas de fibra óptica FTTH mejoran no sólo el ancho de banda, también el alcance, calidad, robustez, fiabilidad, tiempo de respuesta y eficiencia operativa y energética respecto a las redes de acceso de telecomunicaciones tradicionales basadas en el par de cobre (Álvarez, y otros, 2009, págs. 1,2).

Para que una tecnología de telecomunicaciones tenga éxito, debe adaptarse a los requerimientos futuros y ser compatible con sus tecnologías predecesoras. Existen varias propuestas y caminos de evolución de las redes pasivas. A continuación, se presentan las tecnologías de red GPON y NGPON2.

2.2.2 Red GPON

La red GPON, es una tecnología de acceso de telecomunicaciones que utiliza fibra óptica para llegar hasta el suscriptor y se encuentra especificada en las recomendaciones de la UIT-T G.984.1, G984.2, G.984.3 y G.984.4. El contenido de cada una de estas recomendaciones se resume a continuación.

Recomendación G.984.1: Características generales (UIT-T G. , 2008)

“Esta recomendación trata sobre las características generales del sistema de Red Óptica Pasiva con capacidad de Gigabit (GPON) para motivar las especificaciones de la capa física y la capa de Convergencia de Transmisión. Las características generales incluyen ejemplos de servicios, interfaces de red de usuarios (*User Network Interfaces, UNIs*) e interfaces de nodo de servicio (*ServiceNode Interface, SNIs*) que son necesarios para los operadores de red” (UIT-T, G.984.1, 2008, pág. 1).

Recomendación G.984.2: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos (UIT-G984.2, 2003)

“En esta recomendación se describe una red de acceso flexible de fibra óptica con capacidad para

soportar las necesidades de anchura de banda de los servicios para empresas y particulares, y abarca sistemas con velocidades de línea nominales de 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido descendente y 155,520 Mbit/s, 622,08 Mbit/s, 1244,160 Mbit/s y 2488,320 Mbit/s en sentido ascendente. Se describen sistemas de redes ópticas pasivas con capacidades de gigabits (GPON) simétricas y asimétricas (ascendente/descendentes). Además, se proponen los requisitos de la capa física y las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMD). La capa de convergencia de transmisión (*TC*) y el protocolo de determinación de distancia para los sistemas GPON se describen en la recomendación UIT-T” (UIT-T, G.984.2, 2003, pág.1)

Recomendación G.984.3: Especificación de la capa de convergencia de transmisión (UIT-T,G.984.3)

La Recomendación ITU-T G.984.3 describe la capa de Convergencia de Transmisión TC para redes GPON”. Esta recomendación incluye las especificaciones de lo siguiente:

- Entramado de la capa de convergencia de transmisión GPON (*GPON Transmission Convergence, GTC*).
- Mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo (*Time Division Multiple Access, TDMA*) en el sentido ascendente.
- Operación de la capa Física, canal de mensajes de administración y mantenimiento (*OAM*).
- Principios y mecanismos de señalización de la asignación de capacidad dinámica en el sentido ascendente.
- Método de activación de la ONU.
- Corrección de errores hacia adelante (*Forward Error Correction, FEC*).
- Seguridad.

Recomendación “G.984.4: Especifica la interfaz de control y gestión de la ONT” (UIT-T G. , 2008, pág. 1).

“Esta recomendación especifica la interfaz de control y gestión de terminación de red óptica (*Optical network termination Management and Control Interface, OMCI*) para los sistemas GPON definidos

en [ITU-T G.984.2] y [ITU-T G.984.3] para habilitar la interoperabilidad de múltiples proveedores entre la línea de terminación óptica (OLT) y la ONT”.

“La especificación OMCI aborda la gestión de fallas y gestión de rendimiento para la operación del sistema GPON y para varios servicios, que incluyen:

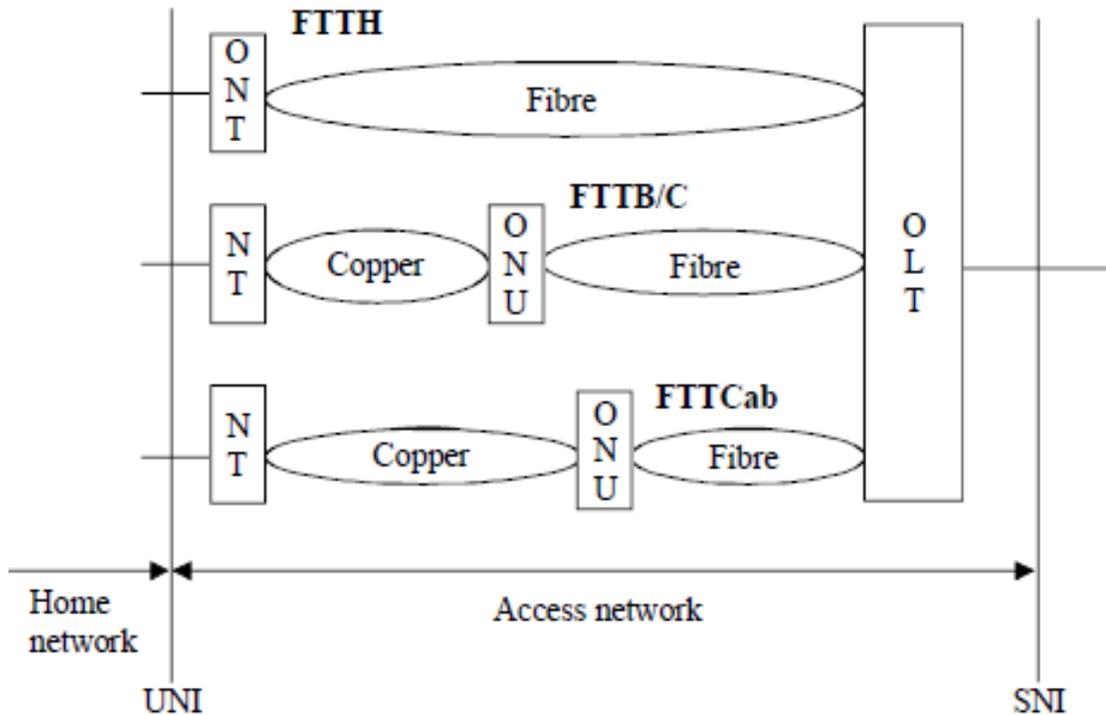
- Capa 5 de adaptación del modo de transferencia asincrónica (*Asynchronous Transfer Mode, ATM*)
- Capas de adaptación del método de encapsulación *GPON (GPON Encapsulation Method, GEM)*;
- Servicios de emulación de circuitos;
- Servicios de Ethernet;
- Servicios de voz;
- Multiplexación por división de longitud de onda

Esta recomendación define un protocolo necesario para soportar las capacidades identificadas para estos ONTs. También permite componentes opcionales y extensiones futuras “ (UIT-T G.984.4, 2008).

Para el presente caso de estudio nos enfocaremos más en los estándares G984.1 y G984.2.

2.2.2.1 Arquitectura de red GPON

Según la recomendación ITU-T G.984.1, la arquitectura de red GPON está formada principalmente por la red de acceso pasiva que va desde la OLT hasta la ONT. La Figura 1-2, muestra las tecnologías disponibles, la Fibra hasta el hogar (*Fibre To The Home, FTTH*), otra es la fibra hasta el edificio/acometida (*Fibre to the building/curb, FTTB/C*) y la fibra hasta el armario (*Fibre to the cabinet, FTTCab*) (UIT-T G. , 2008, pág. 4)].



ONU Optical Network Unit
 ONT Optical Network Termination
 OLT Optical Line Termination
 NT Network Termination

Figura 1-2: Arquitectura de red GPON

Fuente: Extraído de la Recomendación (UIT-T G. , 2008, pág. 4)

2.2.2.2 Modelo de capas (Green, 2006)

Una red GPON, según su arquitectura de red (Figura 2-2) define dos capas: la capa Dependiente de los Medios (PMD) y la capa de Convergencia de Transmisión (TC). Estas capas según el modelo de referencia OSI corresponden a la capa Física y capa Enlace de datos respectivamente. La capa Convergencia de Transmisión (TC) se divide a su vez en subcapa de entramado y subcapa de adaptación.

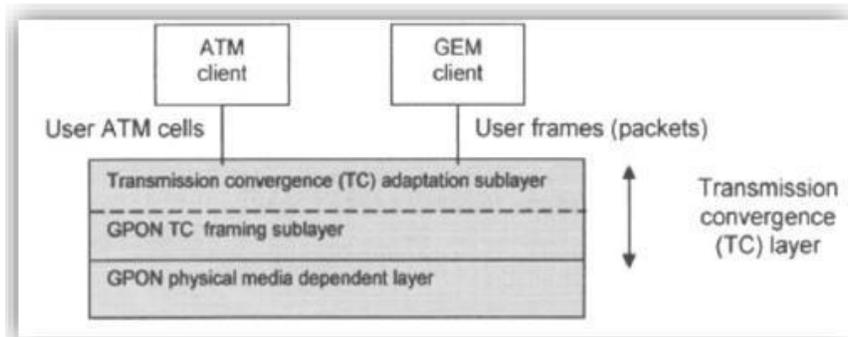


Figura 2-2: Capas de GPON

Fuente: Extraído del Libro (Green, 2006, pág. 45)

La capa física PMD está en contacto directo con el canal de comunicaciones y establece todas las características, como es el tipo de medio de transmisión, el método de transmisión a utilizar que en este caso es el código de línea Sin retorno a cero (*No Return to Zero, NRZ*), las velocidades y el sentido de transmisión, longitudes de onda de trabajo, etc. (UIT-G984.2, 2003).

La capa de Convergencia de Transmisión (TC) no se estudiará en este trabajo, simplemente se mencionan las características indicadas anteriormente obtenidas de la Recomendación G.984.3.

2.2.2.3 Requerimientos de la capa Dependiente del Medio Físico (PMD)

La capa Dependiente de los Medios Físicos (PMD) presenta los siguientes parámetros:

2.2.2.3.1 Velocidad binaria nominal de la señal digital [11]

Básicamente, GPON identifica las 7 combinaciones de velocidades de transmisión, que pueden ser simétricas y asimétricas (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 4 y 5)

- 155 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 1,2 Gbit/s sentido descendente
- 155 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 622 Mbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 1,2 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente
- 2,4 Gbit/s sentido ascendente, 2,4 Gbit/s sentido descendente

2.2.2.3.2 Medio Físico y método de transmisión

- **Medio de transmisión**

Esta Recomendación se basa en la fibra óptica descrita en la Recomendación UIT-TG.652, la misma que debe ser monomodo (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 5). UIT-T G.652, corresponde a fibras optimizadas para trabajar en longitudes de onda de 1310 a 1550 nm. Existen varias subcategorías en este estandar como el G.652 A, G.652 B, G.652 C y G.652 D, presentando mejoras esta última en cuanto a baja

atenuación entre los 1260 y 1625nm, mejor dispersión favoreciendo la evolución de redes; por tal motivo no es necesario la instalación de compensadores de dispersión.

- **Sentido de transmisión**

La señal se transmite en ambos sentidos, ascendente y descendente por el medio de transmisión (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 5)

- **Método de transmisión**

GPON utiliza una transmisión bidireccional mediante la técnica de multiplexación por división de longitud de onda WDM en una sola fibra, o bien la transmisión unidireccional utilizando dos fibras monomodo (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 6).

2.2.2.3.3 Código de línea

Tanto en sentido ascendente como descendente GPON utiliza la codificación de línea sin retorno a cero (*Non Return to Zero, NRZ*) (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 6).

- Nivel alto de emisión de luz para el UNO binario;
- Nivel bajo de emisión de luz para el CERO binario.

2.2.2.3.4 Longitud de onda de trabajo

En el **sentido descendente** el intervalo de longitudes de onda de trabajo en los sistemas de una sola fibra es de 1480-1500 y 1260-1360nm en los sistemas de dos fibras ópticas; y en **sentido ascendente** el intervalo de longitudes de onda de trabajo es únicamente de 1260-1360nm (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 6).

2.2.2.3.5 Alcance físico

Para garantizar las velocidades antes descritas se especifica el alcance físico entre la OLT y la ONT debe ser máximo de 20 Km (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 10).

2.2.2.3.6 Relación de división (Split Ratio)

La relación de división por cada interfaz físico es de hasta 1:64, es decir por cada interfaz física de la OLT se puede conectar hasta 64 ONT (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 10)

2.2.2.3.7 Atenuación entre la OLT y la ONU

Los rangos de atenuación se clasifican en (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 10):

Clase A: 5-20dB

Clase B: 10-25dB

Clase C: 15-30Db

Esta atenuación incluye tanto la atenuación de la fibra óptica, como pérdida de los empalmes, conectores, atenuadores ópticos o algún otro dispositivo óptico, más un margen de seguridad para cubrir empalmes futuros o cable adicional, cambio de atenuación por factores ambientales y posibles pérdidas por degradación de los conectores.

2.2.2.3.8 Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbit/s en sentido descendente

Las especificaciones ópticas entre la OLT y la ONU a una velocidad de 2488Mbit/s y en el sentido descendente se observan en la Tabla 1. Se debe considerar que en la recomendación G.984.2, existen diferentes tablas y figuras de acuerdo a cada velocidad y sentido de la transmisión, sin embargo para nuestro trabajo se ha considerado solamente las características a la velocidad de 2488,32 Mbit/s, las mismas que se toman en consideración al momento del diseño del escenario GPON, así como también la potencia en el transmisor (OLT), el código de línea NRZ, las longitudes de onda de trabajo, entre otras mencionadas más adelante.

Tabla 1-2: Parámetros de la interfaz óptica a 2488 Mbit/s en sentido descendente

Elementos	Unidad	Fibra Única			Fibra doble		
Transmisor OLT (interfaz óptica)							
Velocidad binaria nominal	Mbit/s	2488,32			2488,32		
Longitud de onda de trabajo	nm	1480-1500			1260-1360		
Código de línea	-	NRZ seudoaleatorizado			NRZ seudoaleatorizado		
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del transmisor	dB	NA			NA		
Mínima ORL de ODN en $O_{lu}yO_{id}$	dB	Mayor que 32			Mayor que 32		
Clases de ODNs		A	B	C	A	B	V
Potencia media inyectada MÍN	dBm	0	+5	+3	0	+5	+3
Potencia media inyectada MÁX	dBm	+4	+9	+7	+4	+9	+7
Potencia óptica inyectada sin entrada en el transmisor	dBm	NA			NA		
Relación de extinción	dB	Mayor que 10			Mayor que 10		
Tolerancia a la potencia luminosa incidente en el transmisor	dB	Mayor que -15			Mayor que -15		
Si el láser es MLM-Máxima anchura eficaz	nm	NA			NA		
Si el láser es SLM-Máxima anchura entre puntos de -20dB	nm	1			1		
Si el láser es SLM-Mínima relación de supresión en modo lateral	dB	30			30		
Receptor ONU (interfaz óptica O_{rd})							
Máxima reflectancia del equipo, medida a la longitud de onda del receptor	dB	menor que -20			Menor que -20		
Tasa de errores en los bits	-	menor que 10^{-10}			menor que 10^{-10}		
Clases de ODNs		(A)	(B)	(C)	(A)	(B)	(C)
Mínima sensibilidad	dBm	-21	-21	-28	-21	-21	-28
Sobrecarga mínima	dBm	-1	-1	-8	-1	-1	-8
Inmunidad a dígitos idénticos consecutivos	bit	mayor que 72			mayor que 72		
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	menor que 10			menor que 10		

Fuente: Obtenido de la Recomendación (UIT-T, G.984.2, 2003, pág. 12).

2.2.3 Redes NGPON 2

La red óptica pasiva de la siguiente generación 2 (*Next Generation Passive Optical Network2, NGPON2*), apareció en la recomendación UITG.989 en el 2015 para redes pasivas de fibra óptica con velocidades de hasta 40Gbit/s por puerto, y se subdivide en los estándares de la Tabla 2-2 (UIT-T, G.989.1, 2013).

Tabla 2-2: Recomendaciones UIT-T de la serie G.989.X para NGPON2

Recomendaciones UIT-T para NGPON2	Resumen de las recomendaciones
Recomendación UIT –T G.989.1	Presenta de manera general los requerimientos para guiar y motivar la especificación de la capa física (PMD) y la capa convergencia de transmisión (TC).
Recomendación UIT –T G.989.2	Presenta las especificaciones de la capa física (PMD) para NGPON2
Recomendación UIT –T G.989.3	Presenta las características de la capa de convergencia de transmisión (TC)
RecomendaciónUIT–TG.988	Describe la especificación OMCI (ONU Managment and Control Interface) para NGPON2

Fuente: Obtenido de la Recomendación (UIT-T, G.989.1, 2003, pág. 4).

En este trabajo se revisarán las recomendaciones G989.1 y G.989.2 para conocer los requerimientos de la capa Física como referencia para la arquitectura de simulación y comprobación de sus parámetros del escenario de NGPON2, dejando a consideración a otros trabajos las otras recomendaciones de esta tecnología.

2.2.3.1 Arquitectura NGPON2 (UIT-T, Rec. G.989.1, 2013, pág. 4)

NGPON2 presta soporte para:

- * Multiplexación por división de longitud de onda en el tiempo (*Time Wavelength Division Multiplexing, TWDM*).
- *4-8 pares de canales TWDM (cada par de canales comprende uno en sentido descendente y uno en sentido ascendente), configurable según su crecimiento a partir de un par de canales desplegados (es decir, no todos los pares de canales deben estar activos).
- *Velocidades por canal son:
 - *10 Gbit/s bajada y 10 Gbit/s subida,
 - *10 Gbit/s bajada y 2.5 Gbit/s subida,
 - *2.5 Gbit/s bajada y 2.5 Gbit/s subida,

*Alcance de fibra pasiva de hasta 40 km y con extensores hasta 60Km

*Soporte para una proporción de división de al menos 1:256

La Figura 3-2 muestra la arquitectura de red de acceso y los puntos de referencia que se aplican a los sistemas NG-PON2 junto con los sistemas heredados PON.

Las tecnologías ópticas especificadas para los sistemas NG-PON2, deben ser compatibles con la potencia heredada en la ODN (es decir, la ODN puede contener divisores de potencia y un elemento de coexistencia). Los sistemas NGPON2 también son compatibles con ODN nuevos que pueden consistir únicamente de filtros de longitud de onda, o una combinación de divisores de potencia y longitud de onda (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 3).

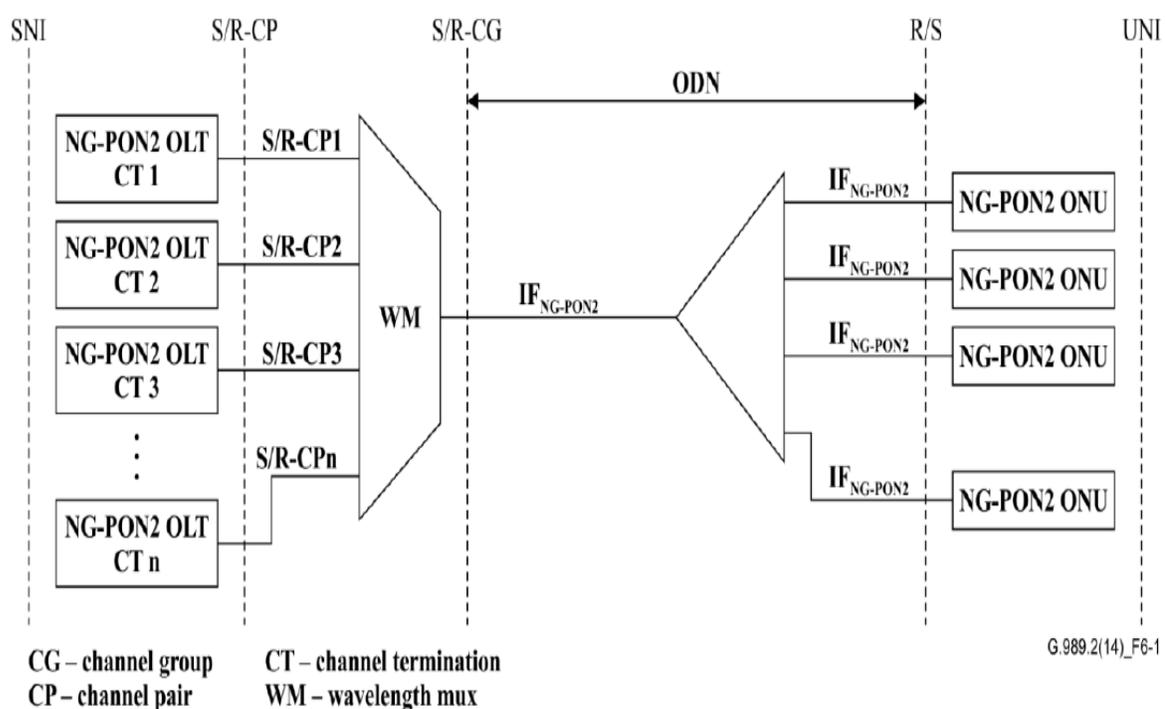


Figura 3-2: Arquitectura funcional NGPON2 y su coexistencia con otros sistemas PON.

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pag. 3)

2.2.3.2 Características generales

2.2.3.2.1 Distancia física

Las distancias permitidas en NGPON2 se muestran en la Tabla 3-2.

Tabla 3-2: Distancias permitidas de fibra en la ODN NGPON2

Fibre distance class	Minimum fibre distance (km)	Maximum fibre distance (km)
DD20	0	20
DD40	0	40

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 5)

DD20 considera la distancia de la fibra óptica hasta 20 Km y DD40 considera la distancia de la fibra óptica hasta 40 Km, siendo esta última utilizada para nuestro caso de estudio.

2.2.3.2.2 Clases de pérdida en la ruta de la ODN

En el trayecto de la ODN, se pueden observar 4 clases de pérdida (Tabla 4-2).

Tabla 4-2: Clases de pérdida en la ruta óptica del ODN NGPON2

	Clase N1	Clase N2	Clase E1	Clase E2
Mínima pérdida de trayectoria óptica	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
Máxima pérdida de trayectoria óptica	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB
Máxima pérdida diferencial del camino óptico	15 dB			

Fuente: Obtenido de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 5)

Estas pérdidas corresponden a la atenuación en la ODN la misma que se clasifica en 4 tipos de clases N1, N2, E1, y E2.

2.2.3.2.3 Longitudes de Onda para NGPON2

Las longitudes de onda donde operan las redes pasivas se detallan en la Figura 4-2, permitiendo total interoperabilidad con otras tecnologías pasivas.

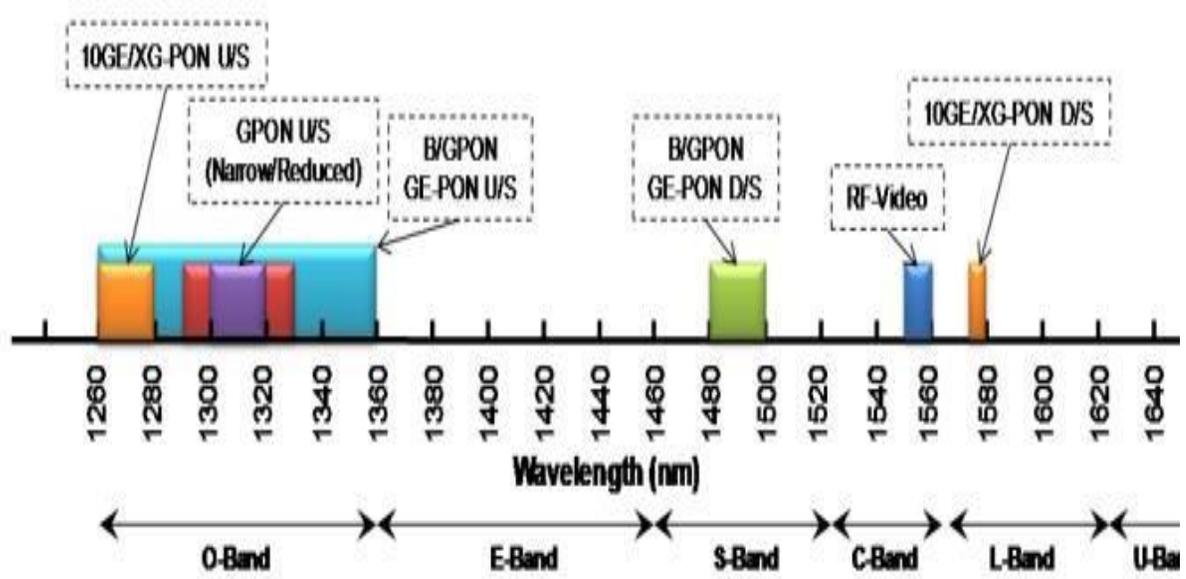


Figura 4-2: Planes de longitud de onda para los sistemas PON

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.1, 2013, pág. 13)

Las longitudes de onda asignadas a NGPON2, se pueden observar con mayor detalle en la Tabla 5-2.

Tabla 5-2: Longitudes de onda para NGPON2

Sistemas de longitud de onda compatibles	TWDM PON		P4P WDM PON
	Bajada	Subida	Bajada/subida
GPON, RF video, XG-PON1	1596-1603 nm	Opción de banda ancha 1524-1544 nm Opción de banda reducida 1528-1540 nm Opción de banda estrecha 1532-1540 nm	Espectro expandido 1524-1625 nm

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 5)

El espectro compartido asigna una total de coexistencia con los sistemas GPON, XGPON1 y radio frecuencia (RF) para el espectro expandido según la asignación de frecuencias establecidas con otras redes pasivas.

2.2.3.2.4 Parámetros de la ODN

Los parámetros de la ODN se detallan en la Tabla 6-2, y se especifican principalmente la distancia de la fibra en la ODN

Tabla 6-2: Parámetros físicos de una ODN NGPON2

Item	Unit	Specification
Fibre type (Note 1)	–	[ITU-T G.652], or compatible
Attenuation range (as defined in clause 9.3.5.1)	dB	See Table 6-1
Maximum fibre distance between S/R-CG and R/S points (as specified in Table 6-2) (Note 2)	km	DD20: 20 DD40: 40
Minimum fibre distance between S/R-CG and R/S points (as specified in Table 6-2)	km	0
Maximum differential optical path loss	dB	15
Bidirectional transmission	–	1-fibre WDM
Maintenance wavelength	nm	See [ITU-T L.66]
NOTE 1 – See clause 9.3.1.1.		
NOTE 2 – Support of 60 km fibre distance may require reach extenders (REs).		

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 16)

2.2.3.2.5 Parámetros de la interfaz óptica.

La tabla 7-2 muestra los parámetros de la interfaz óptica para el enlace de bajada

Tabla 7-2: Parámetros de la interfaz óptica a 2,48832 Gbps en bajada

Item	Unidad	Valor			
Transmisor OLT (Interfaz óptica S)					
Velocidad nominal	Gbit/s	2.48832 (Nota 1)			
Banda de longitud de onda	nm	1596-1603			
Frecuencia central	THz	Tabla 11-2 [18]			
Espacio entre canales	GHz	100 (Nota 2) [18]			
Excursión espectral máxima	GHz	+/- 20			
Código de línea	-	NRZ (Nota 1) [18]			
Máscara del diagrama del ojo del transmisor	-	Ver clausula 11.1.5.3 [18]			
Máxima reflectancia del equipo al S/R-CG, medido a la longitud del transmisor	dB	NA			
Mínima ORL del ODN al S/R-CG	dB	32			
Clases de ODN		N1	N2	E1	E2

Potencia mínima del canal principal al S/R-CG	dBm	+0.0	+2.0	+4.0	+6.0
Potencia máxima del canal principal al S/R-CG	dBm	+4.0	+6.0	+8.0	+10
Máximo WNE-PSD	dBm (15 GHz)	-63.5			
Relación de extinción mínima (Nota 3) [18]	dB	8.2			
Tolerancia a la potencia óptica reflejada	dB	-15			
Rango de dispersión	ps/nm	0-420 (DD20) 0-840 (DD40)			
Relación mínima de supresión del modo lateral al S/R-CP	dB	30			
Máximo enlace de bajada óptico PSD por canal fuera de banda (Nota 4) [18]	dB (15 GHz)	-44.9 (4 canales)			
		-52.1 (8 canales)			
Máximo enlace de bajada óptico PSD por canal fuera de canal (Nota 5) [18]	dB (15 GHz)	-34.5 (4 canales)			
		-42.4 (8 canales)			
Generación de Jitter	-	Ver clausula 11.1.5.4.3 [18]			
Receptor ONU (Interfaz óptica R)					
Máximo OPP (Nota 6) [18]	dB	1.0			
Máxima reflectancia del equipo al R/S, medido a la longitud del receptor	dB	-20			
Tasa de error de bit (BER)	-	10^{-4} (Nota 7) [18]			

Fuente: Tomado de la recomendación (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 16 y 17)

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipos y Diseño de la investigación

El presente trabajo de investigación se considera como cuasi experimental, porque la investigación va más allá de la descripción de conceptos, ya que compara las tecnologías NGPON2 con GPON para optimizar el rendimiento de las redes pasivas de fibra FTTH, con el desarrollo de escenarios de simulación donde se medirá el efecto de las variables independientes sobre la variable dependiente.

3.2 El tipo de investigación se clasifica como aplicada y descriptiva

Aplicada: debido que se basa en conocimientos o descubrimientos existentes como lo es la tecnología GPON y NGPON2; y que es derivada de investigaciones y desarrollos previos.

Descriptiva: describirá e interpretará las variables y resultados obtenidos para realizar la integración de tecnologías en busca de la optimización del desempeño.

3.3 Métodos de la investigación

La investigación se realizó a través de la aplicación de los siguientes métodos:

- Método Científico. - Con este método se recolectó información adecuada a ser aplicada en los escenarios de pruebas, ya que las ideas, conceptos y teorías expuestas en este proyecto de tesis son verificables como válidos.

- Método Deductivo. - Debido que al estudiar de manera general las tecnologías NGPON2 y GPON se creó una hipótesis para mejorar el rendimiento de las redes FTTH, y se deducirá sus efectos que ayuden a comprobar la hipótesis y se comparará con la experiencia obtenida en la práctica.

3.4 Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es esencialmente cuantitativo.

- **Cuantitativo:** Se usará recolección de datos para observar patrones de comportamiento. Estos datos serán representados en base a la observación de los datos recogidos en la investigación tomados como resultado de la simulación en el simulador OptiSystem.

3.5 Alcance investigativo

El alcance de la investigación es:

- **Descriptiva.** - Se describen los escenarios NGPON2 y GPON y su rendimiento en las redes FTTH.
- **Explicativa.** - Contiene un conjunto de definiciones y suposiciones relacionados entre sí de manera organizada, estos serán coherentes a los hechos relacionados al tema de estudio.
- **Correlacional.** - Tiene como finalidad determinar el grado de relación no causal existente entre las variables.

3.6 Población de estudio

La población en la presente investigación está en función de nuestra unidad de análisis; para el presente caso se seleccionó a los 64ONTs que soporta una interfaz según la tecnología actual GPON y que será comparado con NGPON2. Para obtener esa cantidad es necesario realizar 3 pruebas diarias durante 21 días laborables, lo que representaría un mes.

3.7 Unidad de análisis

La unidad de análisis es donde se van a medir los indicadores, y para nuestro caso particular se seleccionó como unidad de análisis a una de las ONT la cual será evaluada a cierta distancia del OLT y es dónde los indicadores serán medidos.

3.8 Selección de la muestra

Se considera una muestra según la población de 64 ONTs.

3.9 Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra se especifica a continuación.

$$n = \frac{PQN}{[(N-1) \cdot (E^2/K^2) + PQ]}$$

Dónde PQ= 0,25

E = 0,05

N = 64

K = 2

$$n = (0,25 \cdot 64) / ((63 \cdot 0,000625) + 0,25)$$

$$n = 16 / 0,289375$$

$$n = 55,29 \text{ Aproximadamente } 56 \text{ muestras}$$

El resultado indica que se debe obtener 56 muestras al azar de las 64 realizadas en un puerto de GPON o NGPON2 para determinar el desempeño de las redes pasivas. Debido que el número de muestras no se aleja en gran medida al de la población se toma en cuenta para el análisis la misma población de los 64 elementos.

3.10 Técnicas de recolección de datos

Las técnicas que son utilizadas en la presente investigación son:

Recopilación de información. - Se obtiene la información necesaria de la técnica objeto de estudio de la investigación para su desarrollo, utilizando las fuentes secundarias disponibles; para nuestro caso los estándares G984.x y G989.x.

Observación. -Se verifica los resultados de las pruebas realizadas en ambos escenarios tanto con NPON2 y GPON.

Análisis. - Permite determinar los resultados de la investigación.

Pruebas. - Se realiza pruebas para analizar el rendimiento de NGPON2 y GPON en las redes pasivas FTTH.

3.11 Instrumentos de recolección de datos

Los instrumentos utilizados son hojas de cálculo como Excel, gráficas, figuras y libretas de apuntes de las observaciones realizadas. También se utiliza el software de simulación OptiSystem como instrumento de recolección de datos para la red con GPON y NGPON2. Este instrumento permite obtener la información de los parámetros requeridos para la interpretación de nuestro trabajo investigativo.

3.12 Instrumentos para procesar datos recopilados

El instrumento para el procesamiento, análisis y presentación de los resultados estadísticos es el Paquete Estadístico para las Ciencias (*Statistical Packet for Social Science, SPSS*) que además permitirá observar los resultados de una manera gráfica e intuitiva para su interpretación.

3.13 Escenarios de pruebas

Con el objeto de realizar las mediciones de desempeño, se considera cumplir algunos requerimientos comunes para los escenarios GPON y NGPON2, mismos que se detallan en las siguientes secciones.

3.13.1 Diseño de los escenarios

Para los ambientes de prueba se diseñan los dos escenarios simulados con las herramientas Optisystem, bajo las mismas condiciones en cuanto a:

- Números de dispositivos finales (64ONT).
- Cada ONT se encuentra ubicado a una misma distancia respecto a la OLT
- Se utiliza las mismas características de medio de transmisión siguiendo el estándar G.652. D
- Se analizará solo en el enlace de bajada cuya frecuencia es de 1490nm, y una velocidad de 2,5 Gbit/s para el caso GPON
- Se miden los valores de latencia y tasa de bits errados (BER), todo esto en base a la recolección de datos e instrumentos de medición y procesamiento de datos mencionados.

3.13.2 Implementación de escenarios

Para la implementación de los escenarios se utiliza OptiSystem que es un sistema de diseño de software integral, que permite a los usuarios planificar, probar y simular enlaces ópticos en la capa

física en el dominio del tiempo y de la frecuencia. Optisystem posee un entorno de simulación eficaz; con una herramienta de simulación flexible y eficiente, ya que sus modelos corresponden a diferentes niveles de abstracción (componentes, subsistema y sistema).

Su amplia librería contiene componentes ópticos activos y pasivos con parámetros característicos muy realistas (dependiente de la longitud de onda). Permite simular sistemas destinados a aplicaciones como:

- Diseño de redes ópticas
- Transmisión monomodo y multimodo
- Óptica de espacio libre (*Free Space Optic, FSO*), radio sobre fibra (ROF), Multiplexación por división de frecuencia ortogonal (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM*)
- Amplificadores y láseres (EDFA, SOA, RAMAN, HÍBRIDO, OPTIMIZACION GFF)
- Procesamiento de señal digital en el dominio eléctrico y completamente óptico;
- Transmisor y receptor (Directo / coherente), diseño de subsistemas
- Formatos de modulación
- Análisis del rendimiento del sistema (diagrama del ojo, factor Q, BER, potencia de señal, OSNR, estados de polarización, diagramas de constelación, pérdidas lineales y no lineales).

OptiSystem es muy popular porque minimiza los requisitos de tiempo y reduce los costos inherentes al diseño real de sistemas ópticos, enlaces y componentes físicos. Tomando esto en consideración, nuestros escenarios se basan en su totalidad en base al simulador OptiSystem, ahorrando tiempo y dinero respecto a lo que conllevaría implementar escenarios reales.

3.13.2.1 Escenario de simulación GPON

Los sistemas involucrados en el escenario de simulación GPON son 3: La OLT, el ODN y la ONT.

3.13.2.1.1 Terminal de línea óptica (Optical Line Terminal, OLT)

Para nuestro escenario de simulación GPON, la OLT está representada únicamente por el Transmisor óptico (*Optical Transmitter*) Figura 5-3, cuyas características de configuración son la longitud de onda (1490 nm), Velocidad de transmisión (2,5Gbit/s), Potencia de salida (5dBm) y codificación de línea NRZ (*No Return to Zero*).

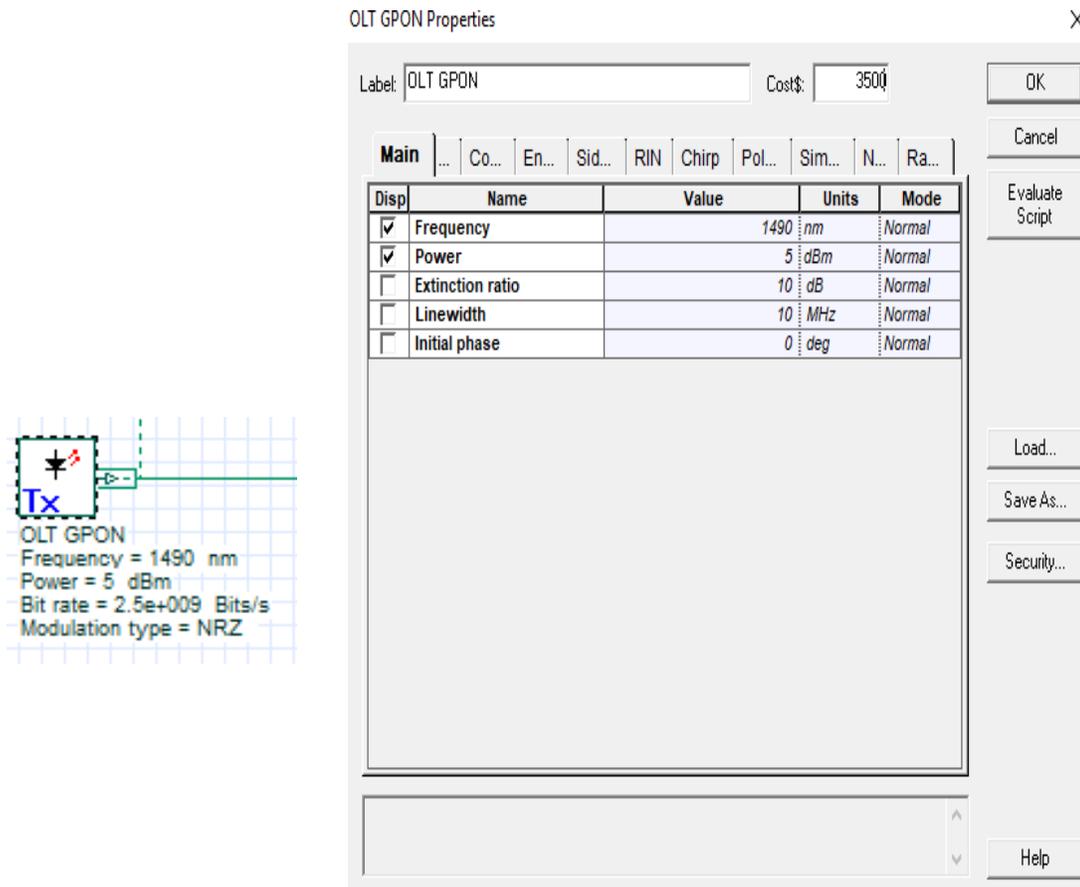


Figura 5-3: Transmisor Óptico (*Optical Transmitter*) GPON
 Fuente: Tomado OLT GPON del simulador OptiSystem por Carlos Cando

3.13.2.1.2 Red de distribución óptica (*Optical Distribution Network, ODN*)

La red de distribución óptica (ODN), está constituido principalmente por el medio de transmisión (Fibra Óptica) y los splitters ópticos.

En el OptiSystem, se selecciona la fibra óptica monomodo con características de la recomendación G.652D para una longitud de onda de 1490 nm; se especifica las distancias para cada caso y la atenuación de la fibra (Figura 6-3). Se debe considerar que los otros parámetros de configuración en esta parte no se alteran.

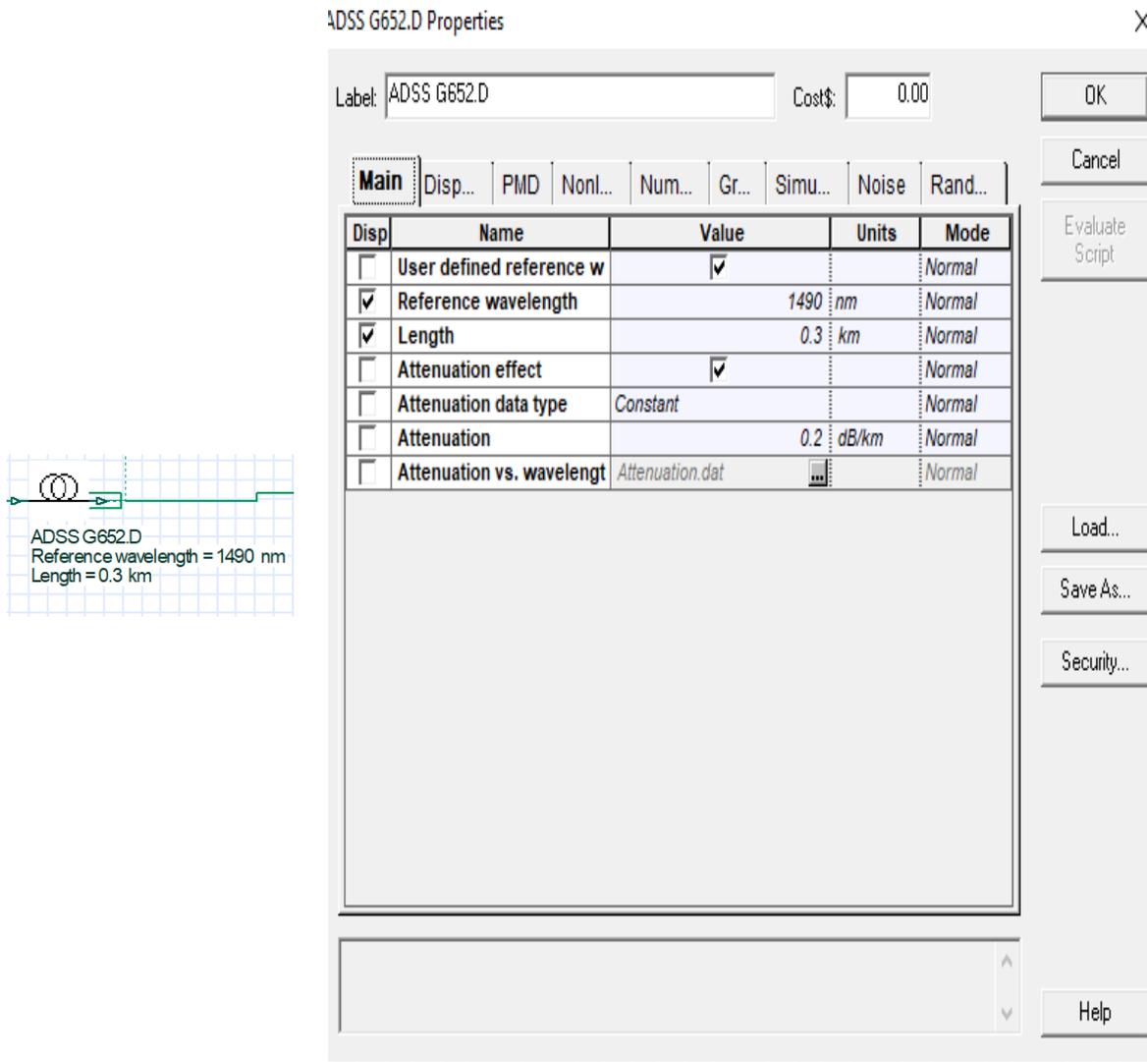


Figura 6-3: Fibra Óptica (Optical Fiber) para GPON

Fuente: Tomado fibra G.652D GPON del simulador OptiSystem por Carlos Cando

El otro elemento a configurar en el ODN es el *Power Splitter (Divisor de Potencia)*, que cumple la función de dividir la potencia de una entrada a varias salidas; en base a esto existen varios 1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, y 1:64. En la figura 7-3, se observa un sistema de 1:8 el mismo que será configurado 9 veces, 8 splitter de 1:8 conectados a un splitter 1:8 con la finalidad de tener un sistema con 64 ONTs conectados a estos 8 splitters 1:8.

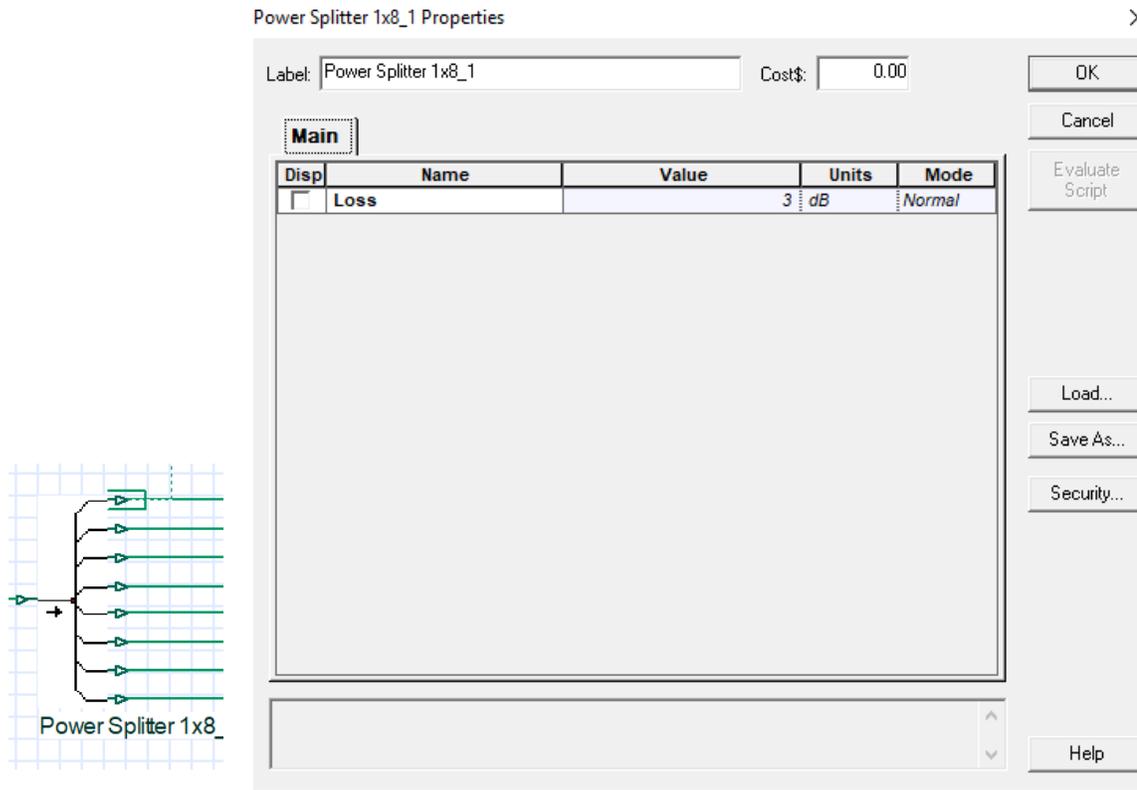


Figura 7-3: Divisor de Potencia (*Power Splitter*) para GPON

Fuente: Tomado ONT Splitter GPON del simulador OptiSystem por Carlos Cando

3.13.2.1.3 Subsistema ONT

Para simular una ONT se crea un subsistema en el cual se observan los dos elementos, el Fotodetector APD (*Photodetector APD*) y el filtro pasa bajos de Bessel (*Low Pass Bessel Filter*) (Figura 8-3).

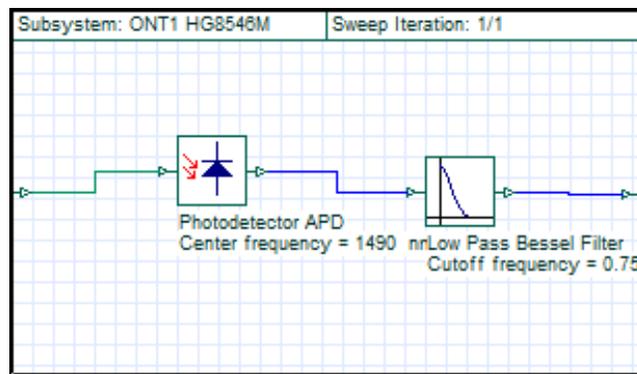


Figura 8-3: Subsistema que simula una ONT GPON

Fuente: Tomado ONT GPON del simulador OptiSystem por Carlos Cando

El primer elemento que forma parte de una ONT GPON, es el elemento denominado Fotodetector APD (*Photodetector APD*), el mismo que simula a un fotodetector de Avalancha, el cual genera una señal eléctrica a partir de la luz y viceversa (Figura 9-3), el mismo que se configura solamente la longitud de onda de 1490 nm y los demás parámetros en este elemento se dejan tal y como está.

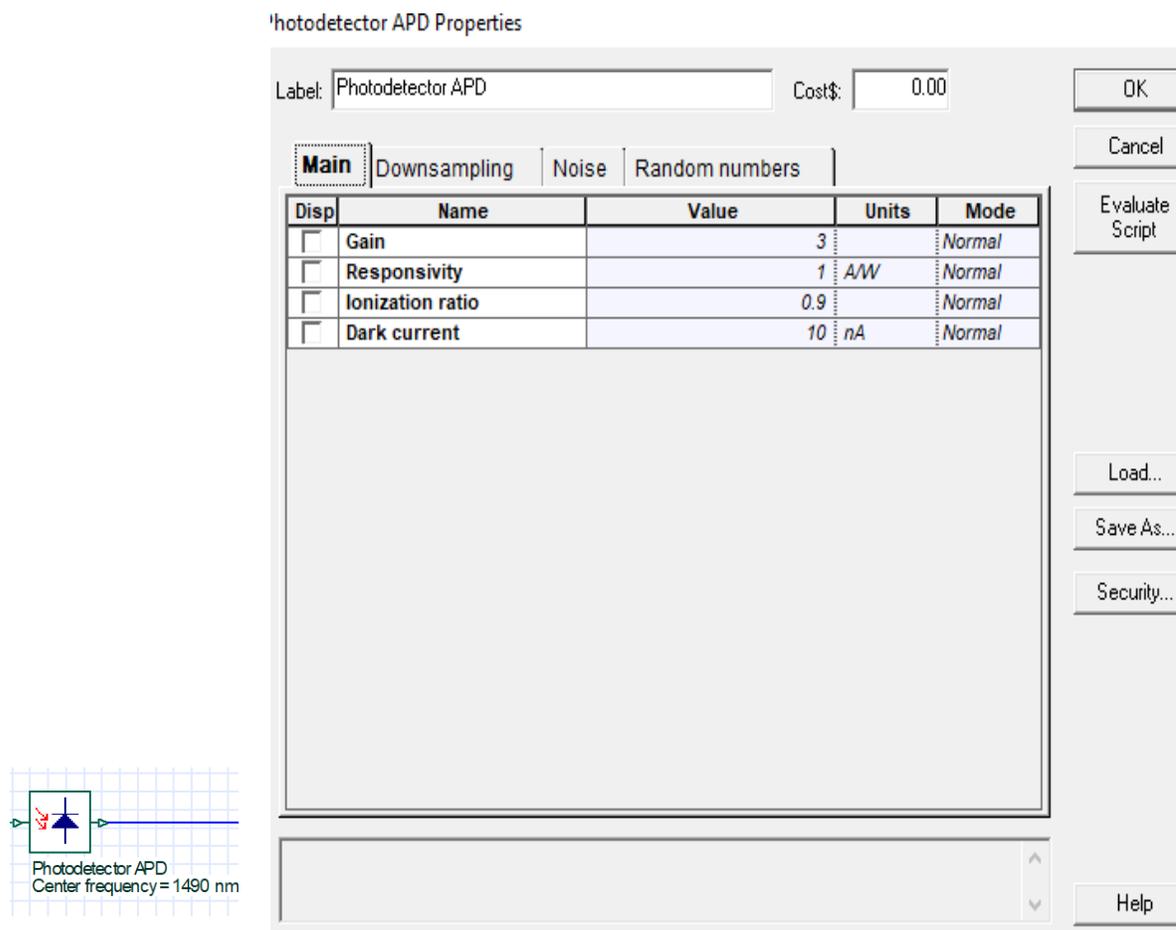


Figura 9-3: PhotodetectorAPD(*Fotodetector APD*)

Fuente: Tomado Detector del simulador OptiSystem por Carlos Cando

El otro elemento que forma parte del ONT GPON (Figura 10-3), es el Filtro pasa bajos de Bessel (*Low Pass Bessel Filter*), que viene configurado con una frecuencia de corte (*Cut Off frequency*) de 0,75 lo cual representa el 75% adicional de las componentes de frecuencias de la señal ideal.

Low Pass Bessel Filter Properties

Label: Cost\$:

Main | Simulation

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Cutoff frequency	0.75 * Bit rate	5 Hz	Script
<input type="checkbox"/>	Insertion loss		0 dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Depth		100 dB	Normal
<input type="checkbox"/>	Order		4	Normal

Low Pass Bessel Filter
Cutoff frequency = 0.75 * E

OK
Cancel
Evaluate Script
Load...
Save As...
Security...
Help

Figura 10-3: Filtro pasa bajos de Bessel (Low Pass Bessel)
Fuente: Tomado Filtro del simulador OptiSystem por Carlos Cando

A continuación, se presenta el diagrama del diseño realizado para el sistema GPON (Figura 11-3), el mismo que consta de una OLT, la ODN conformada por un splitter principal de 1:8 que está conectado por fibra óptica desde la OLT y a su vez conecta a 8 *splitters* secundarios 1:8 por fibra óptica los mismos que son creados en un subsistema cada uno con 8 ONTs.

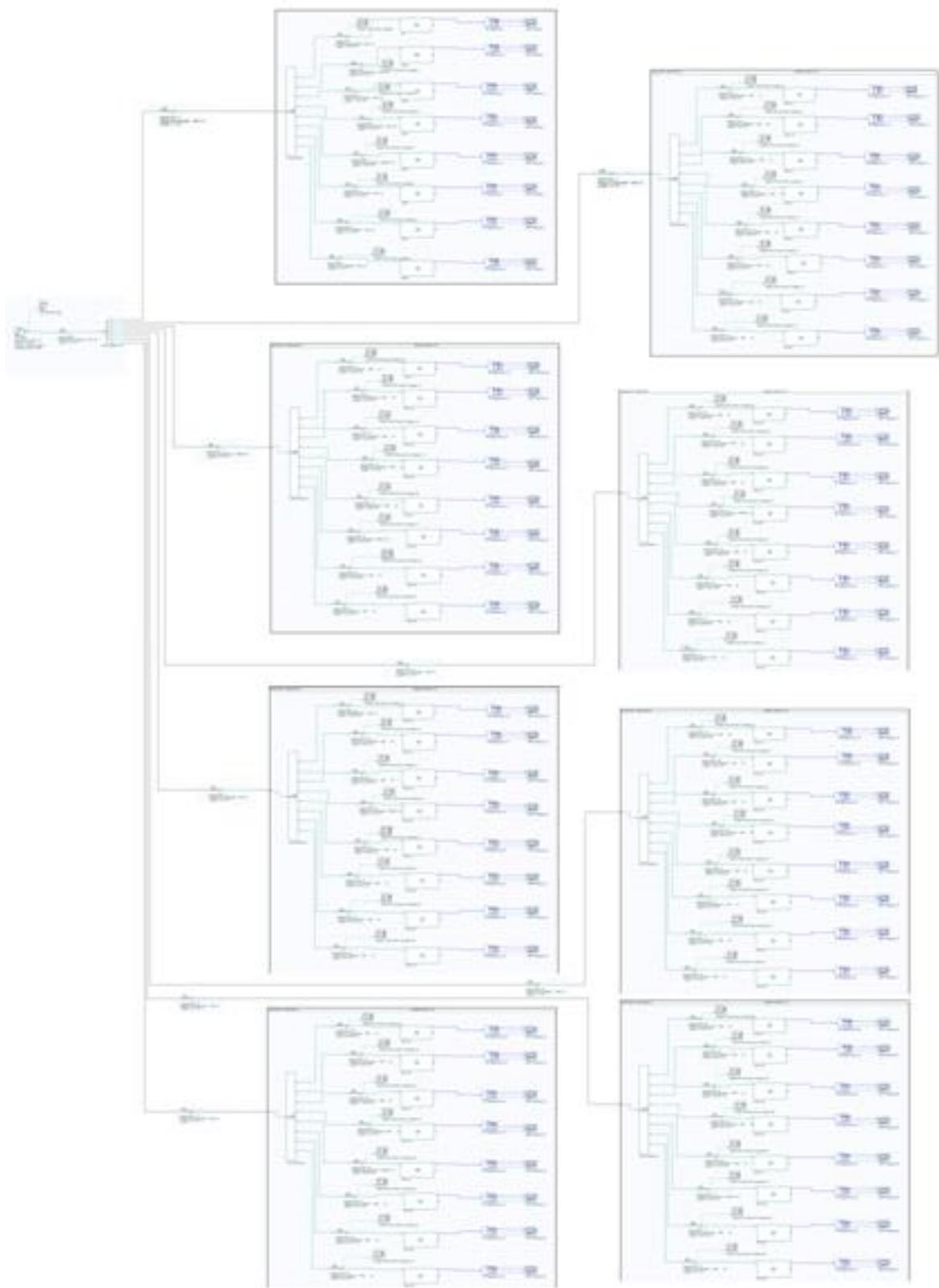


Figura 11-3: Escenario del sistema GPON con 8 subsistemas con 8 ONT's cada uno.

Fuente: Tomado del diseño Simulado en Optisystem por Carlos Cando

3.13.2.2 Escenario de simulación NGPON2

La evolución de las redes PON pasó muchos pasos hasta llegar a NG-PON2. Las tecnologías anteriores PON se desarrollaron para satisfacer los requisitos de ancho de banda de los usuarios y clientes menores, pasando por diferentes tecnologías, como es el caso del Modo de Transferencia Asíncrono (ATM) sobre la Red Óptica Pasiva denominada (APON) estandarizada en la UIT-T G.983.1 en 1995 con velocidades de 155 Mbit/s; apareciendo luego por el año 2000 la Red Óptica Pasiva de Banda Ancha (BPON) estandarizada en la UIT-T con G.983.3 a G.983.5, con una velocidad de transmisión de 625 Mbps en sentido descendente y ascendente.

Posteriormente aparece en el 2001 Gigabit Passive Optical Network (GPON) con velocidades de 2.5 Gbit/s en descendente y 1.25 Gbit/s en ascendente con estándar G.984.1 al G.984.4 y de manera simultánea aparece la red óptica pasiva Ethernet (EPON) estandarizada por IEEE en el estándar 802.3ah conocida como G-EPON para admitir 1Gbit/s simétricos ascendente y descendente.

Hasta aquí se pensaba que el ancho de banda podría cubrir las necesidades actual y futura en ese entonces; sin embargo se generaron nuevas expectativas con el apareamiento de una demanda de tráfico progresiva, y no solo de clientes finales, sino también de ISP y corporativos, apareciendo la necesidad de otras tecnologías como es el caso de la recomendación IEEE802.3av conocido como Red óptica pasiva Ethernet de 10 Gbits (*10 Gigabit Ethernet Passive Optical Network, 10G EPON*) en el año 2007, y apareciendo en las recomendaciones de la UIT otras de manera similar como NGPON1 con velocidades de 10 Gbit/s y NGPON2 a 40 Gbit/s (Figura 12-3).

Tomando esto en consideración, se puede observar que el último paso a seguir según la recomendación UIT-T para las redes pasivas es NGPON2. Si bien es cierto, en la recomendación de la UIT-T G.989.1-3 se establece como mecanismo de multiplexación a TWDM, al principio de su propuesta se tuvieron cuatro alternativas previas a la implementación de NGPON2 (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 4 y 5).

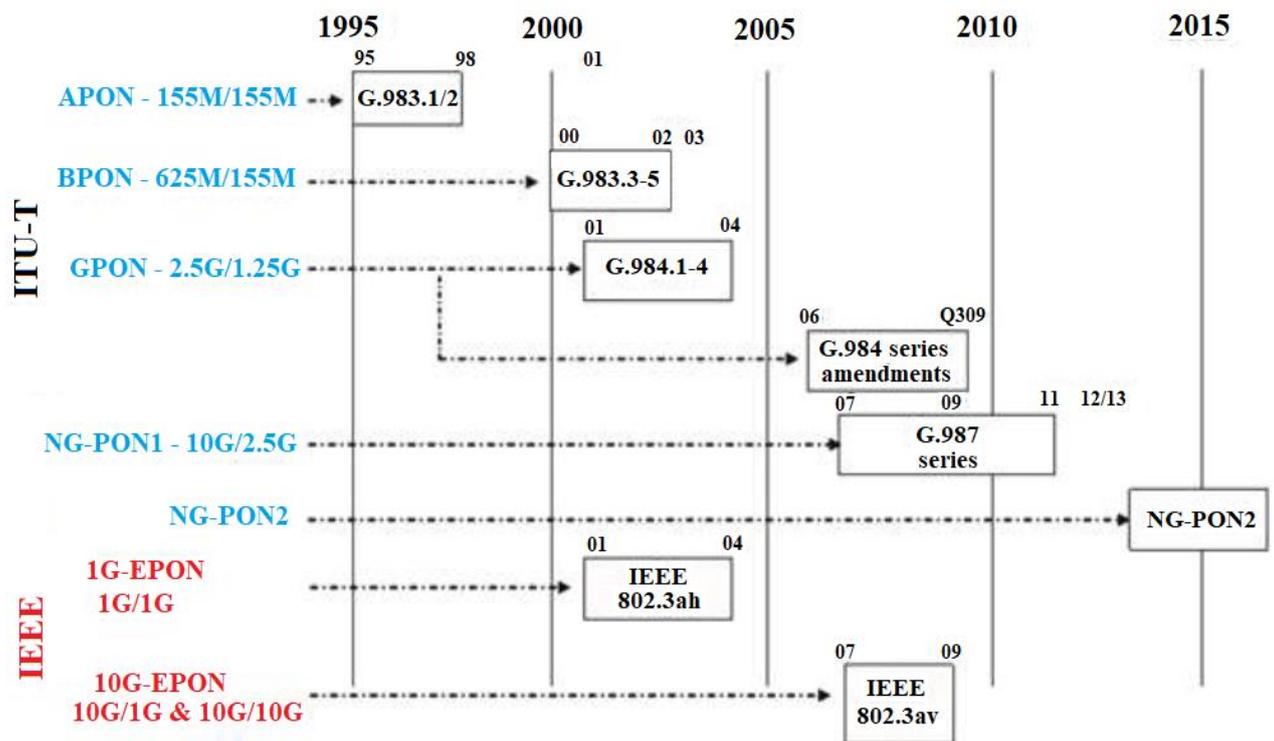


Figura 12-3: Evolución de las redes ópticas pasivas

Fuente: Tomado del trabajo de (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 3)

*Multiplexación de división de Tiempo en redes ópticas pasivas (*Time Division Multiplexing to Passive Optical Network, TDM-PON*).- Esta propuesta consiste en aumentar la velocidad de bits descendente del XG-PON1 definido previamente de 10 Gbps a 40 Gbps. Esta solución requiere una electrónica de velocidad de datos muy alta que aún no está disponible, con la necesidad de más inversión en nuevos dispositivos de red (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 4).

*Multiplexación por división de longitud de onda en redes ópticas pasivas (*Wavelength Division Multiplexing to Passive Optical Network, WDM-PON*).- Este enfoque proporciona un canal de longitud de onda dedicado para cada usuario con una velocidad de datos de 1 Gbits. El espectro de longitud de onda disponible se puede usar con alta eficiencia, por lo que se debe usar WDM ultra denso para servir a un gran número de usuarios. El problema principal de este acercamiento es un alto costo de los transmisores con una longitud de onda de salida láser precisa y los receptores con filtros precisos (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 4).

*Multiplexación por división de frecuencia ortogonal en redes ópticas pasivas (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing to Passive Optical Network, OFDM-PON*).-En este esquema se implementan tres tipos de OFDM-PON, cada una es una estimación de frecuencia basada en la transformada rápida de Fourier (*FastFourierTransform, FFT*) para señales de modulación de amplitud en cuadratura (*Quadrature Amplitude Modulation, QAM*) para generar señales digitales

OFDM en sistemas de transmisión óptica (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 4).

*Multiplexación por división de longitud de onda y tiempo para redes ópticas pasivas (*Time Wavelength Division Multiplexing – Passive Optical Network, TWDM-PON*).- En este enfoque, se utilizan cuatro pares de longitudes de onda para soportar 40 Gbit/s en bajada y una velocidad de datos ascendente de 10 Gbit/s (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 5).

De estas cuatro alternativas de multiplexación, se ha normalizado el TWDM-PON en la UIT-T como sistema para NGPON2 (UIT-T, G.989.2, 2019). Existen trabajos de investigación para NGPON2 utilizando TWDM-PON, como son el realizado por Mohammed Ahmed Elaydi (Ahmed Elaydi, 2014) y Juan Camilo Velásquez Micolta (Velasquez Milcolta, 2014). En estas investigaciones, los autores diseñaron y probaron un sistema TWDM-PON para NG-PON2 pero en frecuencias diferentes a las asignadas actualmente en la recomendación UIT-T G.989.2 (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 5).

Esta recomendación asigna 1596 -1603 nm para bajada, y en subida presenta tres opciones, una de banda ancha 1524-1544 nm, otra opción de banda reducida 1528 – 1540 nm y una tercera de banda estrecha 1532 – 1540 nm indicadas en la Tabla 5 (UIT-T, G.989.2, 2019, pág. 5).

Los valores de las longitudes de onda seleccionados en el sentido descendente para este trabajo son visualizados por el analizador WDM a la salida de la OLT NGPON2 tal como se observa en la Figura 13-3.

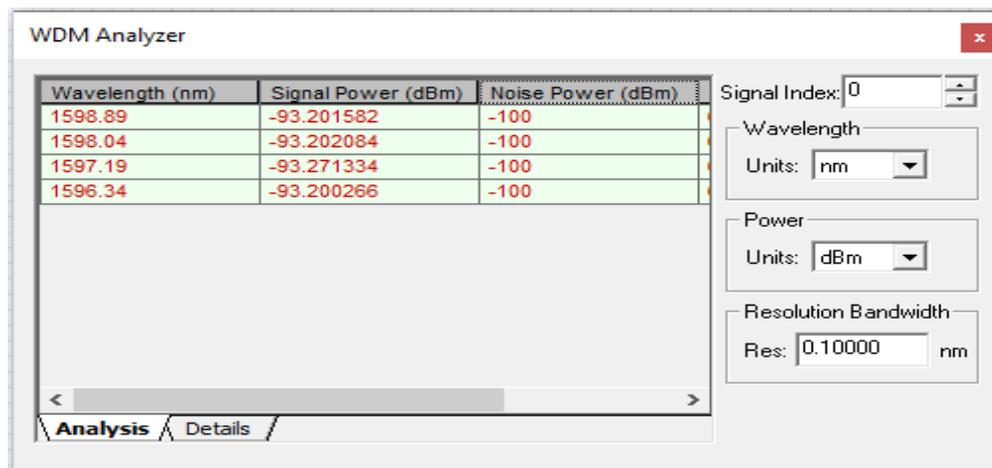


Figura 13-3: Escenario de simulación NGPON2

Fuente: Tomado de la simulación de los escenarios en Optisystem por Carlos Cando

La OLT NGPON2 está formada por cuatro OLT XGPON (Figura 16-3) de 10 Gbit/s cada una, con un formato de codificación de línea sin retorno a cero (NRZ) y una alimentación que oscila entre -10 dBm y 10 dBm, y se asigna una longitud de onda específica (Figura 14), a cada OLT XGPON.

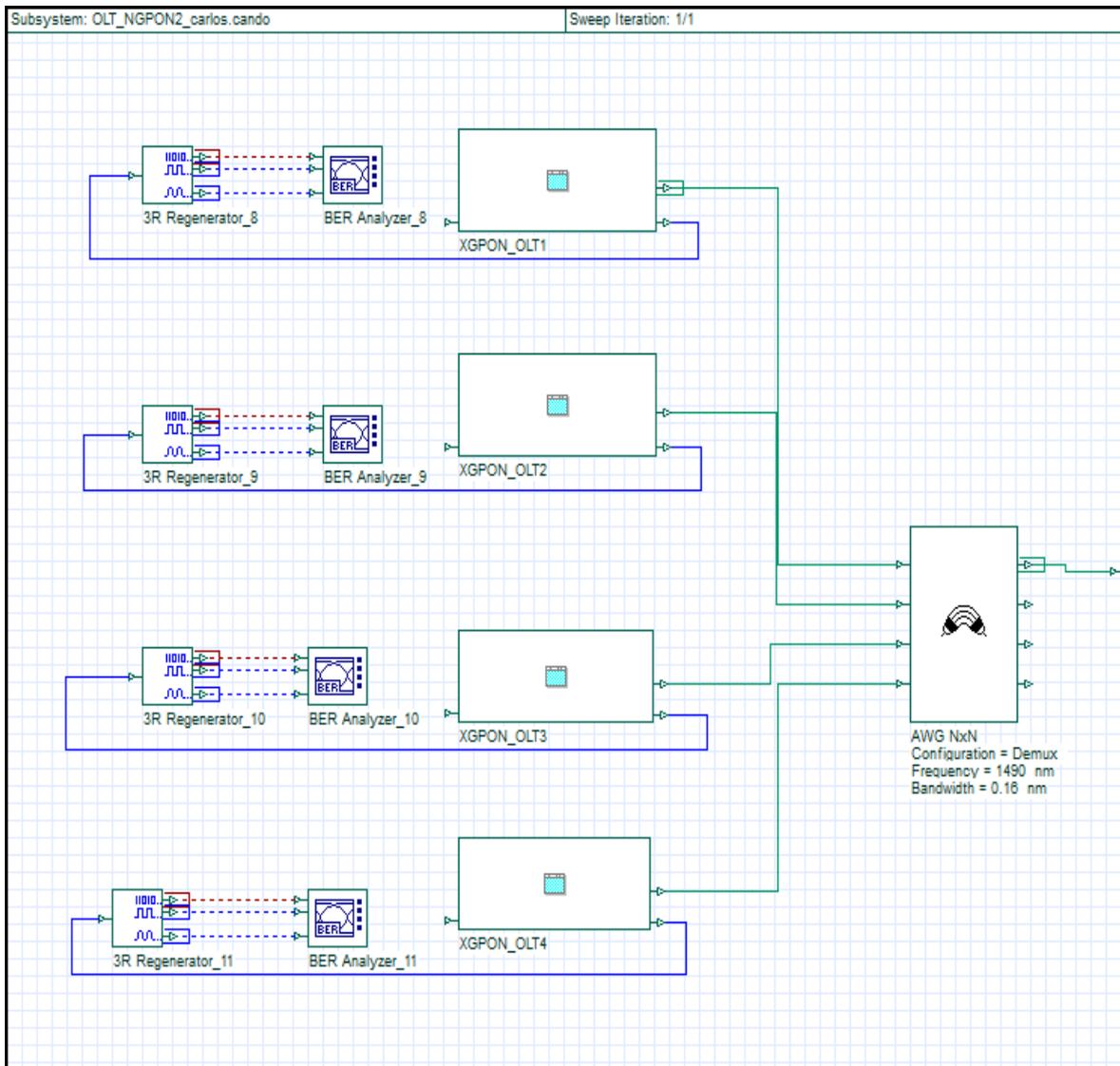


Figura 14-3: OLT GPON2 formado por 4 XGPON

Fuente: Tomado de la simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

Cada OLT XGPON (Figura 15-3), está formado por un generador de secuencia de bits pseudoaleatorios (*Pseudo Random Bit sequence Generator, PRBG*) que genera el flujo de datos a transmitir, seguido de un generador de impulsos NRZ. La línea de datos codificados modula la luz óptica generada por el láser CW utilizando el Modulador Mach-Zehnder.

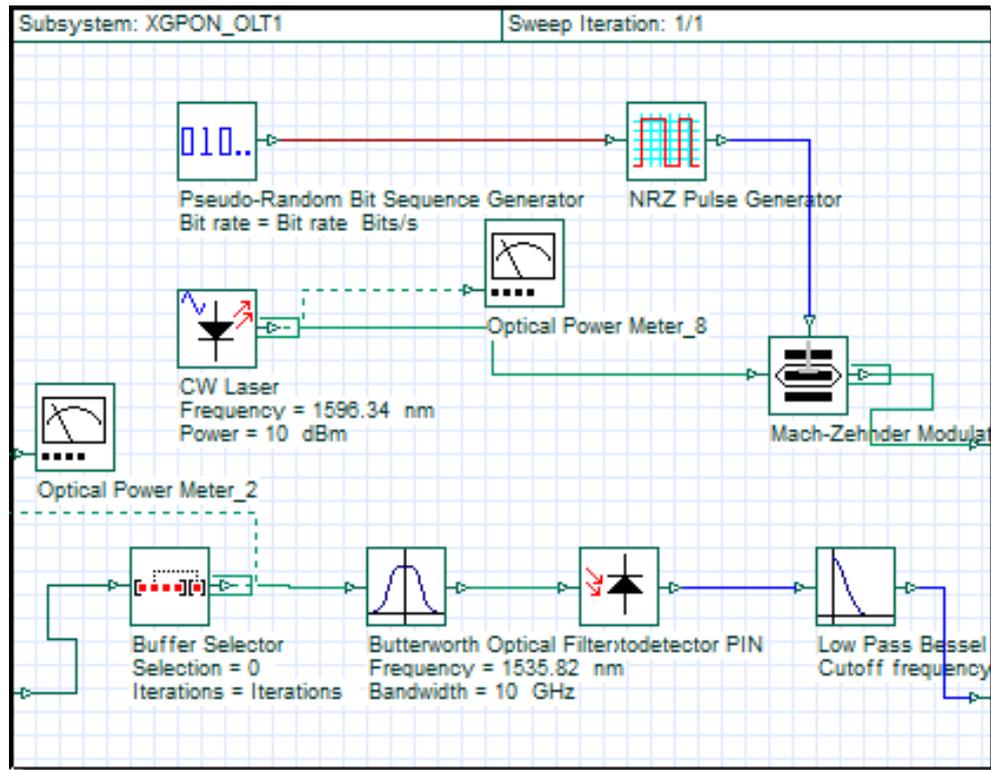


Figura 15-3: Uno de los cuatro OLT XGPON

Fuente: Tomado del subsistema de simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

El *Buffer Selector* recibe todos los datos en sentido ascendente con la técnica de Acceso Múltiple por División de Tiempo (TDMA) transmitidos desde todas las ONUs que transmiten en una sola longitud de onda. Esta longitud de onda se selecciona utilizando un filtro pasa banda y luego se puede utilizar un fotodiodo de bajo costo para recuperar los datos recibidos.

Para armar el OLT NGPON2 formado por cuatro OLT XGPON, XGPON_OLT1, XGPON_OLT2, XGPON_OLT3, y XGPON_OLT4, se multiplexan utilizando un multiplexor denominado (*Arrayed Waveguide Grating, AWG*) (Figura 16-3).

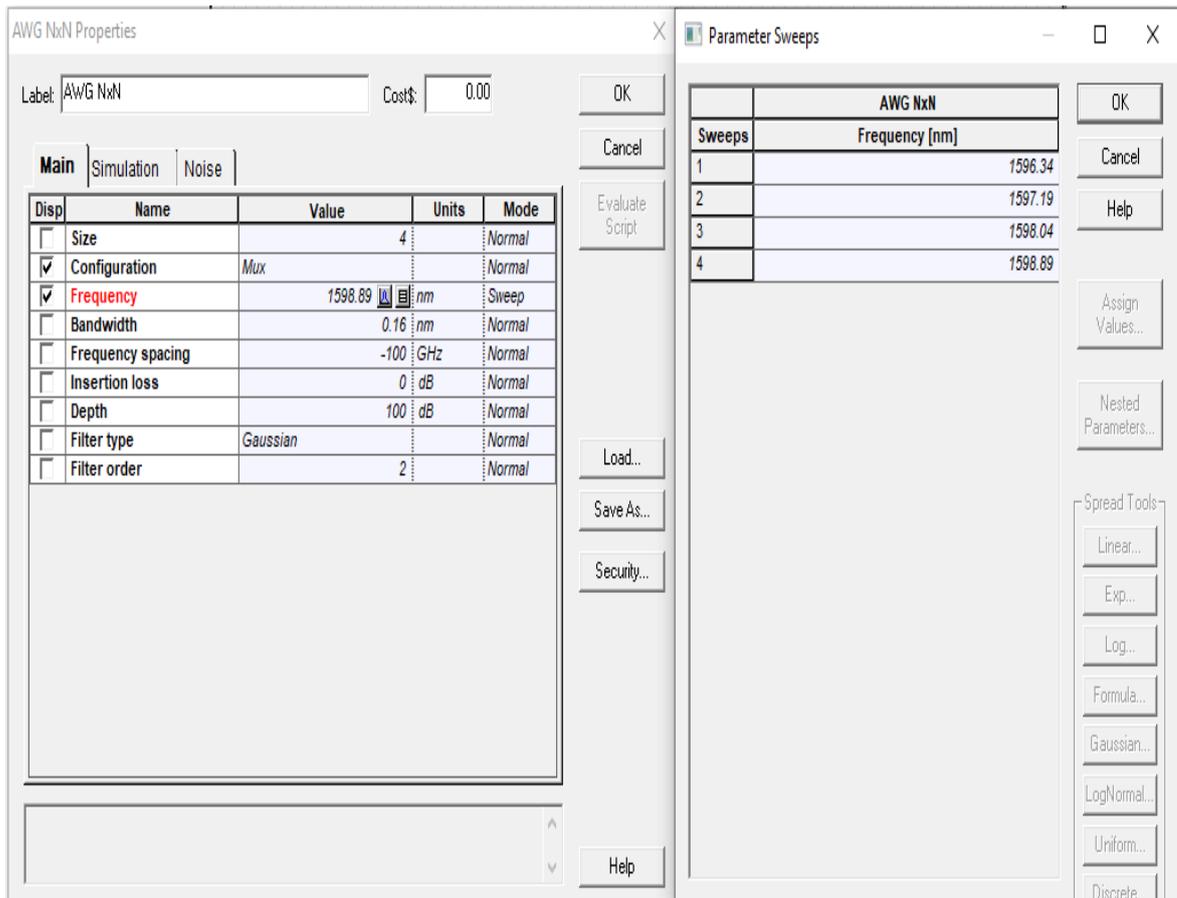


Figura 16-3: Multiplexor Óptico AWG (1 a 4 y 4 a 1)

Fuente: Tomado de la simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

Luego del multiplexor AWG, la salida de señal multiplexada lleva datos con un agregado de 40 Gbps y se dirige a la ODN a través de la Fibra monomodo del estándar G.652D. Esta red de distribución óptica (ODN) consta de dos etapas de divisores de potencia; 1: 8 para obtener 64ONTs.

Por último, la ONT NGPON2 (Figura 17-3), consta de un transmisor y un receptor sintonizables. Este transmisor consiste en un transmisor WDM que puede sintonizar la longitud de onda ascendente requerida y utiliza dos etapas de selección dinámica en la gestión de intervalos de tiempo para transmitir ráfagas de datos solo en el intervalo de tiempo requerido de transmisión donde la OLT controla la asignación de tiempo (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 35).

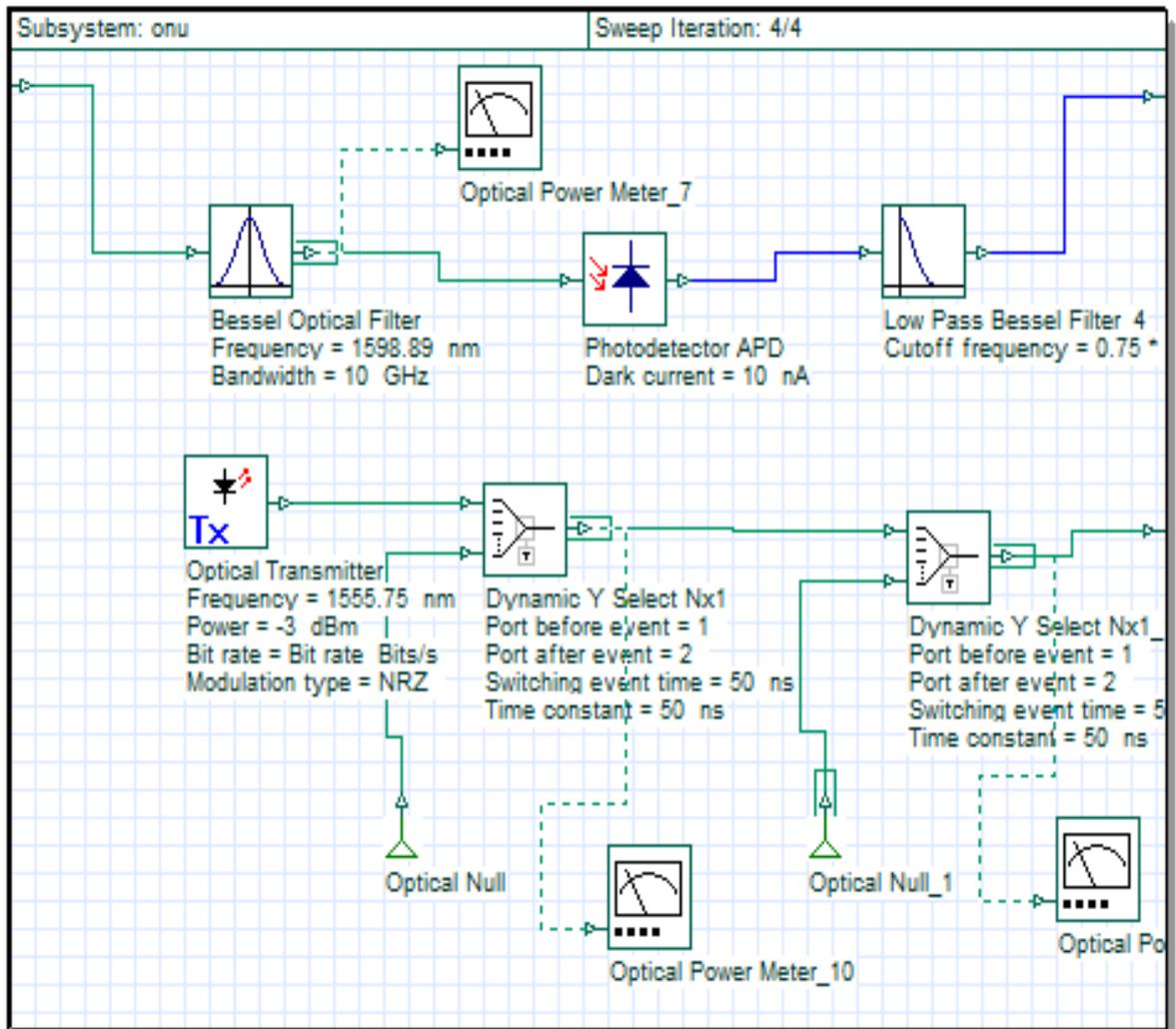


Figura 17-3: Subsistema ONU de NGPON2

Fuente: Tomado del trabajo de investigación (Ahmed Elaydi, 2014, pág. 35)

La parte descendente de la ONU estará encargada de recibir la información mediante un filtro de Bessel filtrando la señal a una frecuencia determinada de una de las cuatro longitudes de onda mencionadas anteriormente, pasando luego por un *Photodetector APD* el mismo que será encargado de transformar la luz en señal eléctrica y por último un filtro adicional de *Bessel* para eliminar cualquier ruido inherente.

Una vez finalizado el diseño de la red NGPON2 y configurada según los parámetros antes mencionados, el diseño de red queda como se muestra en la Figura 18-3. Se debe considerar que se crearon subsistemas para la representación de la OLT, ONT y conjunto de 8 ONTs para representar el escenario del sistema NGPON2.

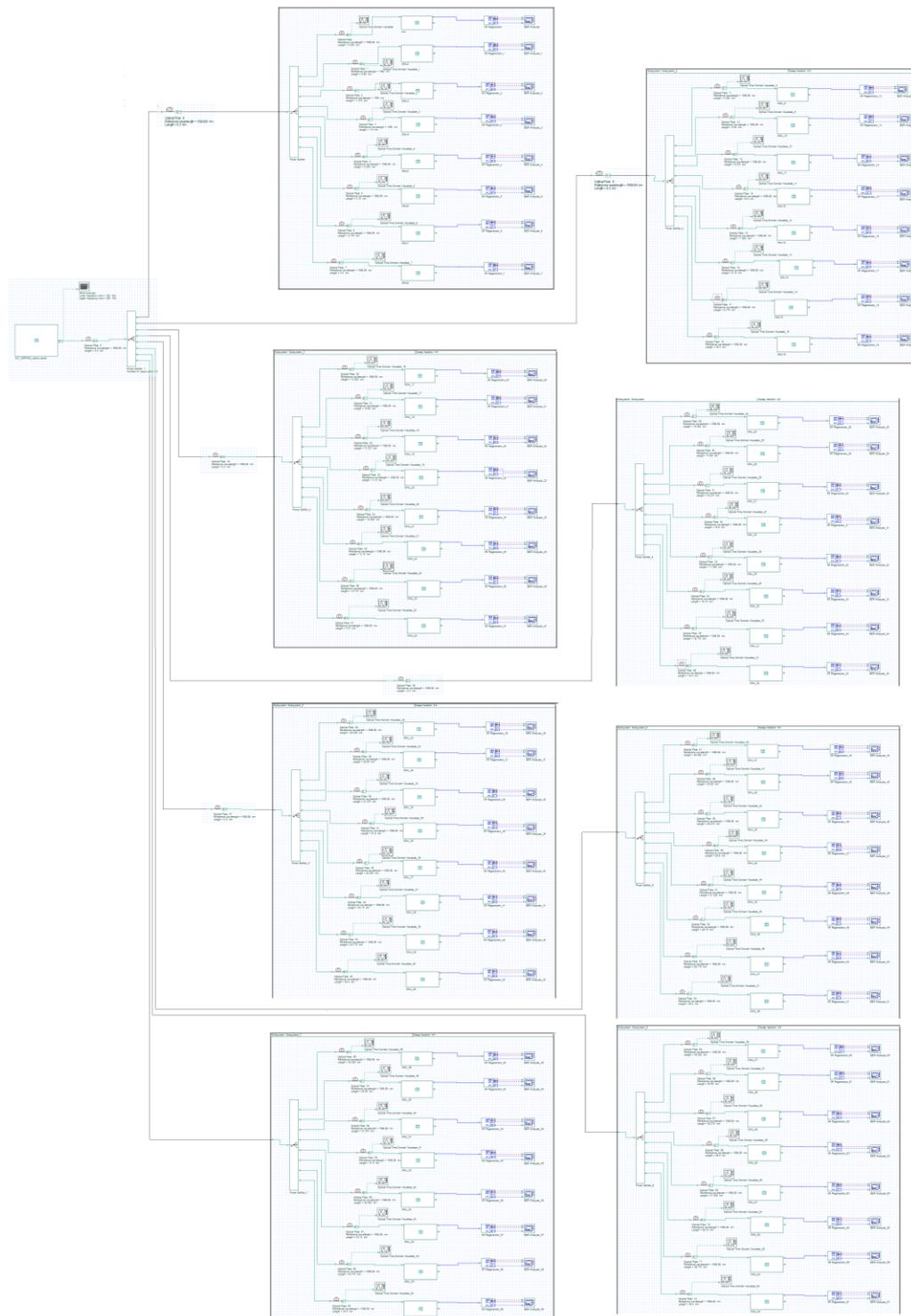


Figura 18-3: Red NGPON2 con 64 ONTs.

Fuente: Tomado de la simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y PRUEBA DE HIPÓTESIS

Para poder realizar nuestra prueba de hipótesis, es necesario encontrar información previa con la cual se pueda validar y justificar la hipótesis planteada. Esta información corresponde a datos obtenidos de manera cuantitativa que consiste en números que representan conteos o mediciones (*como alturas de personas 66 y 77 pulgadas*) o datos cualitativos denominados también categóricos o de atributo que se dividen en diferentes categorías para distinguir algunas características no numéricas (como los colores de ojos verde o café) (TRIOLA, 2009, pág. 6). Para este caso de estudio en particular, como los datos obtenidos en el OptiSystem son de tipo numéricos, nuestros datos serán de tipo cuantitativo; en este sentido el diseño experimental está definido por el tamaño de la muestra a partir de nuestra población de estudio.

Para definir la población de estudio, si ésta es muy grande hay que utilizar datos muestrales para hacer inferencias (*o generalizaciones*) sobre esa población completa. Estas inferencias o generalizaciones significan que las muestras tienen que reflejar las mismas características de la población con la finalidad de que la investigación se refleje a la realidad. Es importante mencionar que cuando los datos muestrales se reúnen de manera inapropiada, ningún método estadístico es capaz de producir resultados válidos. Hace cerca de un siglo, el estadista Benjamín Disraeli manifestó: “Existen tres clases de mentiras: mentiras, viles mentiras y estadísticas. Se ha dicho que las cifras no mienten, pero los mentirosos también usan cifras” (TRIOLA, 2009, pág. 12). En el presente caso de estudio, nuestra población es de 64 elementos, y la muestra presenta 56 elementos; se considera apropiado analizar a la población completa por la proximidad que existe.

Si bien es cierto, se analiza la población completa, en el proceso de obtener información se la va a realizar con la ayuda de las **réplicas**, la cual se refiere a la repetición o duplicación de un experimento para confirmar o verificar los resultados, mientras mayor sea la repetición del experimento, se verifica el valor del mismo con un promedio o se analiza en su conjunto (TRIOLA, 2009, pág. 26). Estos datos obtenidos permiten más adelante analizar la distribución de frecuencias con la finalidad de observar si los mismos siguen alguna de las distribuciones como la distribución normal, la distribución T- Student, Chi cuadrado entre otras, para posteriormente realizar nuestra prueba de hipótesis.

4.1 Análisis de resultados

Para evaluar el desempeño de las redes pasivas GPON y NGPON2, se obtiene información de los siguientes indicadores.

- **Latencia.** - El retardo de los paquetes desde la salida del OLT a la entrada de la ONT
- **Tasa de bits errados (BER).** - Es una medida en base a la probabilidad de tener bits errados a partir de los bits transmitidos.

Estos indicadores (Latencia y BER) corresponden a variables dependientes, que adquieren un valor determinado en respuesta a los funcionamientos de los escenarios de GPON y NGPON2. La información obtenida de estos indicadores permite analizar la naturaleza de los mismos, es decir qué tipo de distribución siguen estos datos para de acuerdo a esto realizar la prueba de hipótesis. Con estos antecedentes se toman 10 réplicas en cada ONU (*Tablas 9-12*) la misma que sirven para su interpretación más adelante.

4.2 Resultados de simulación

Los resultados obtenidos se basan principalmente en la recolección de información con la herramienta OptiSystem, recolectada en formato Excel de las variables antes mencionadas en los escenarios realizados en el capítulo anterior. Para el caso del BER se utiliza la herramienta en el OptiSystem denominada BER Analyzer (Figura 19-4) (Padilla & Avila, 2018, pág. 42).

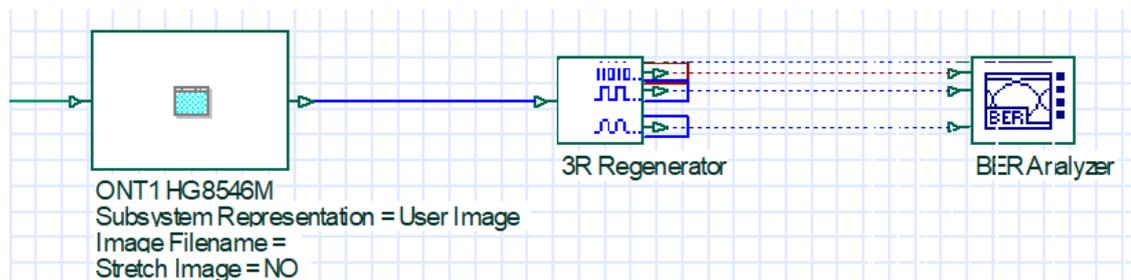


Figura 19-4: Elemento BER Analyzer en OptiSystem

Fuente: Tomado de la simulación realizado en el Optisystem por Carlos Cando

Debido a que la presentación de los datos obtenidos por el OptiSystem es extensa, solo se presenta las 4 figuras del punto más cercano y del punto más lejano de las tecnologías (Figuras 20-4 a la 23-4), y las tablas 8-4 y 9-4 donde se recolectaron los datos del BER.

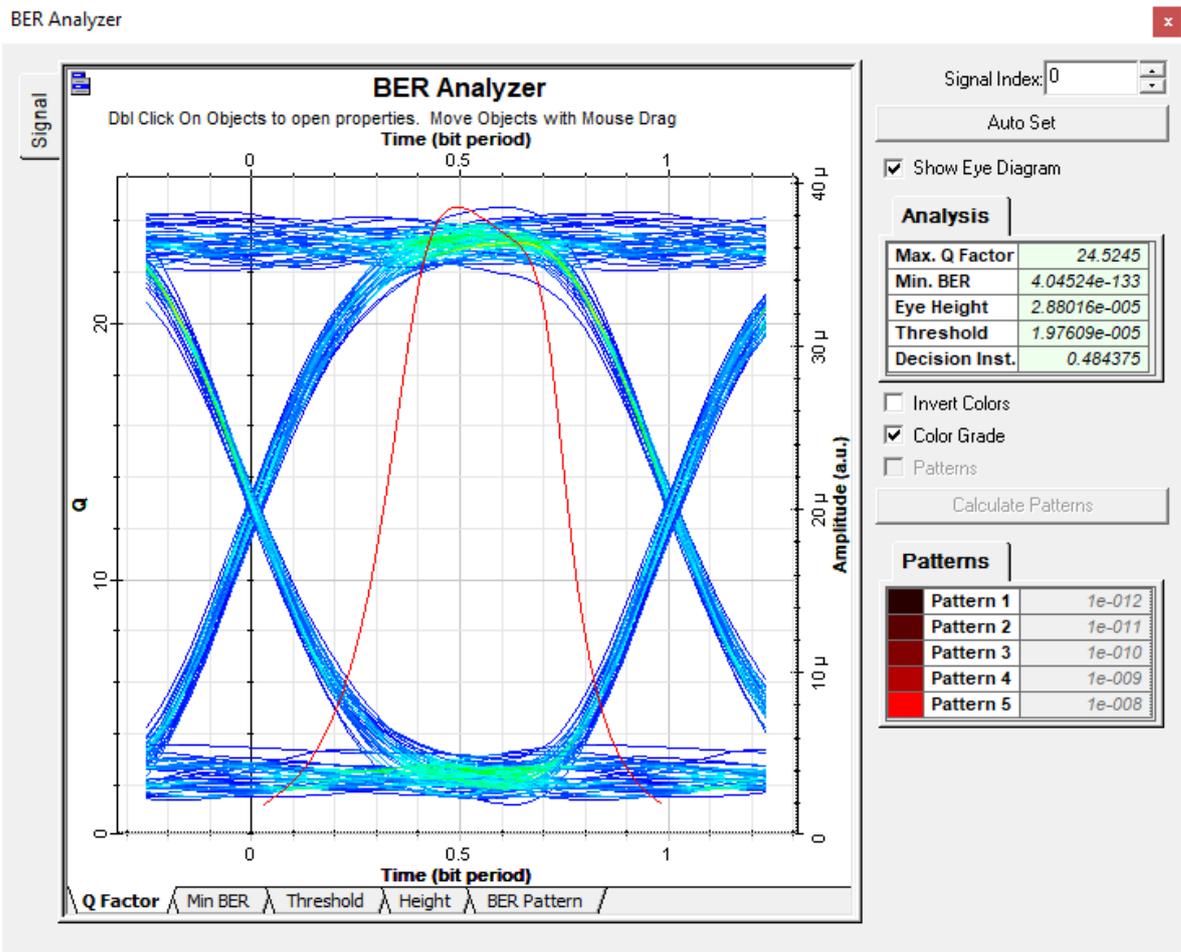


Figura 20-4: Primer BER obtenido en el punto más cercano en GPON

Fuente: Tomado de la simulación del escenario GPON en Optisystem por Carlos Cando

De los datos observados en el BER Analyzer en el punto más cercano (0,625 Km) para el caso del escenario GPON (Figura 20-4), se observa:

*El valor del BER para GPON es $4.04524e^{-133}$.

*También se observa el factor Q, que representa la calidad de la señal; a mayor valor Q el sistema tiene una mejor calidad, el valor Q para GPON es 24,5245.

*La altura del diagrama del OJO ($2.88016e^{-5}$) cuyo valor medio representa el margen de defensa contra el ruido,

*El mejor instante de muestreo (0.484375).

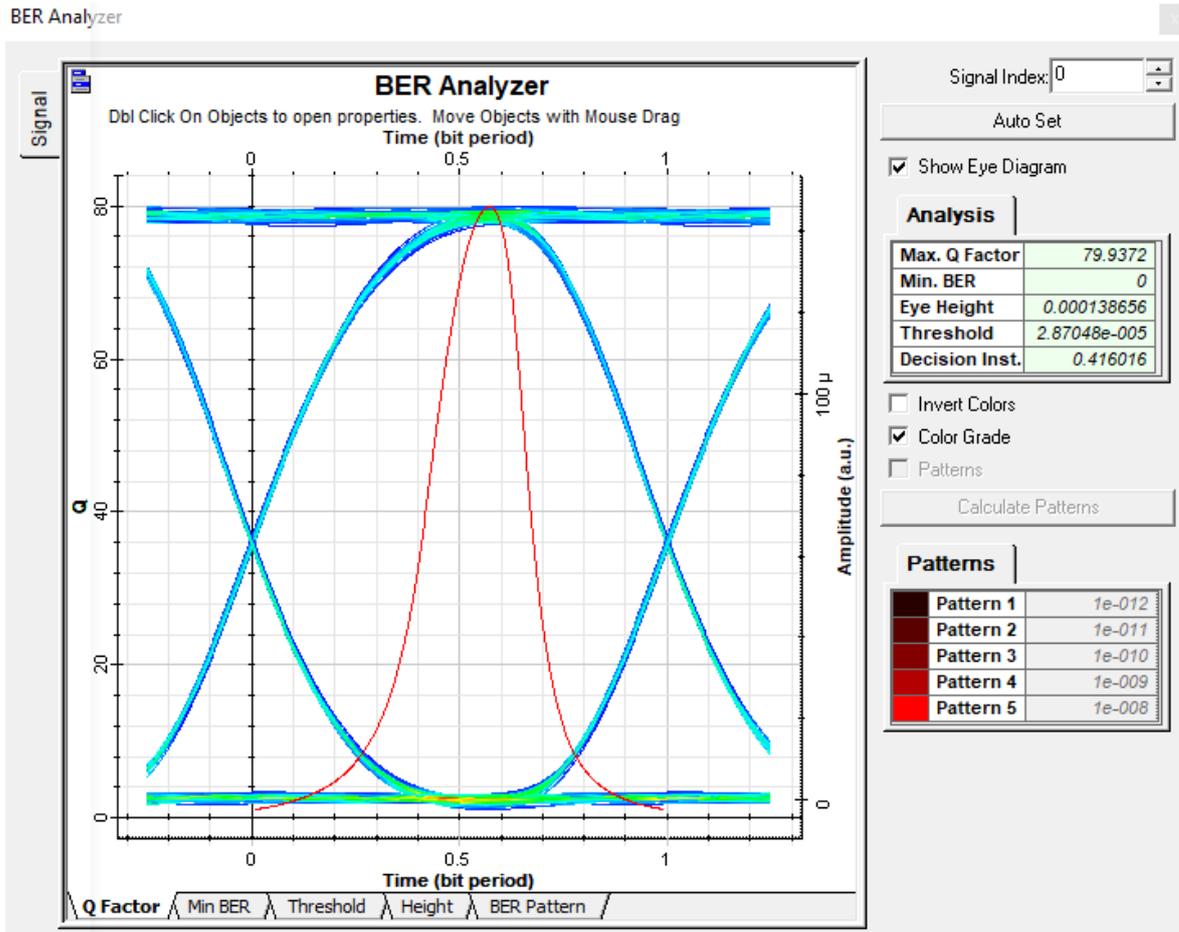


Figura 21-4: Primer BER obtenido en el punto más cercano en NGPON2

Fuente: Tomado de la simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

De los datos observados en el BER Analyzer en el punto más cercano (0,625 Km) para el caso del escenario NGPON2 (Figura 21-4), se observa:

- *Al BER de NGPON2 cuyo valor es cero, presenta mejor respuesta al caso GPON.
- *También se observa el factor Q es 79.9372, presentando este último mejor calidad.
- *La altura del diagrama del OJO (0.000138656) cuyo valor medio representa el margen de defensa contra el ruido, y
- *El mejor instante de muestreo (0.416016).

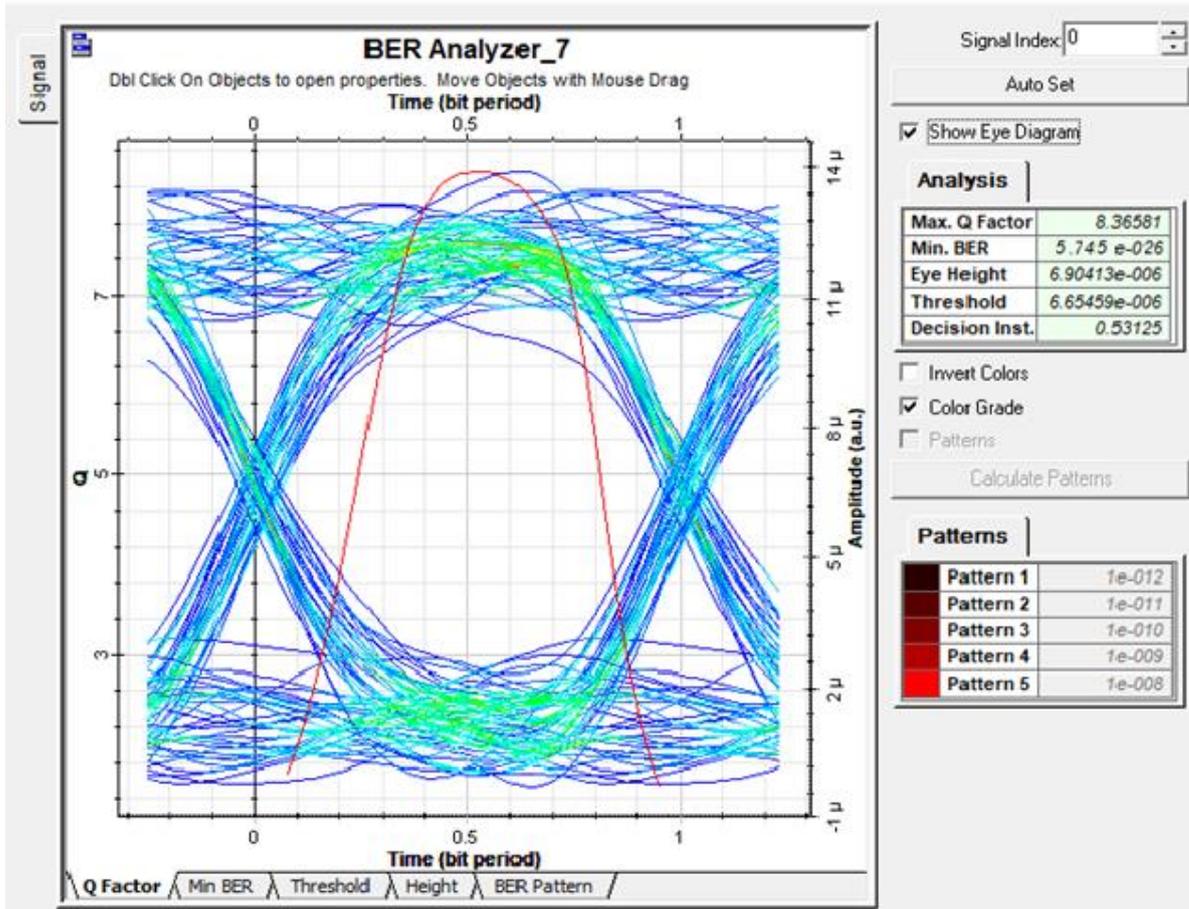


Figura 22-4: BER obtenido en el punto de 20 Km en GPON

Fuente: Tomado de la simulación del escenario GPON en Optisystem por Carlos Cando

De los datos observados en el BER Analyzer en el punto más lejano (20 Km) para el caso del escenario GPON (Figura 22-4), se observa mayor pérdida y menos calidad respecto al punto más cercano, así:

*El valor del BER para GPON es $5.745e^{-26}$.

*El factor Q presenta un valor de 8,36581.

*La altura del diagrama del OJO ($6.90413e^{-6}$) cuyo valor medio representa el margen de defensa contra el ruido, y

*El mejor instante de muestreo (0.53125).

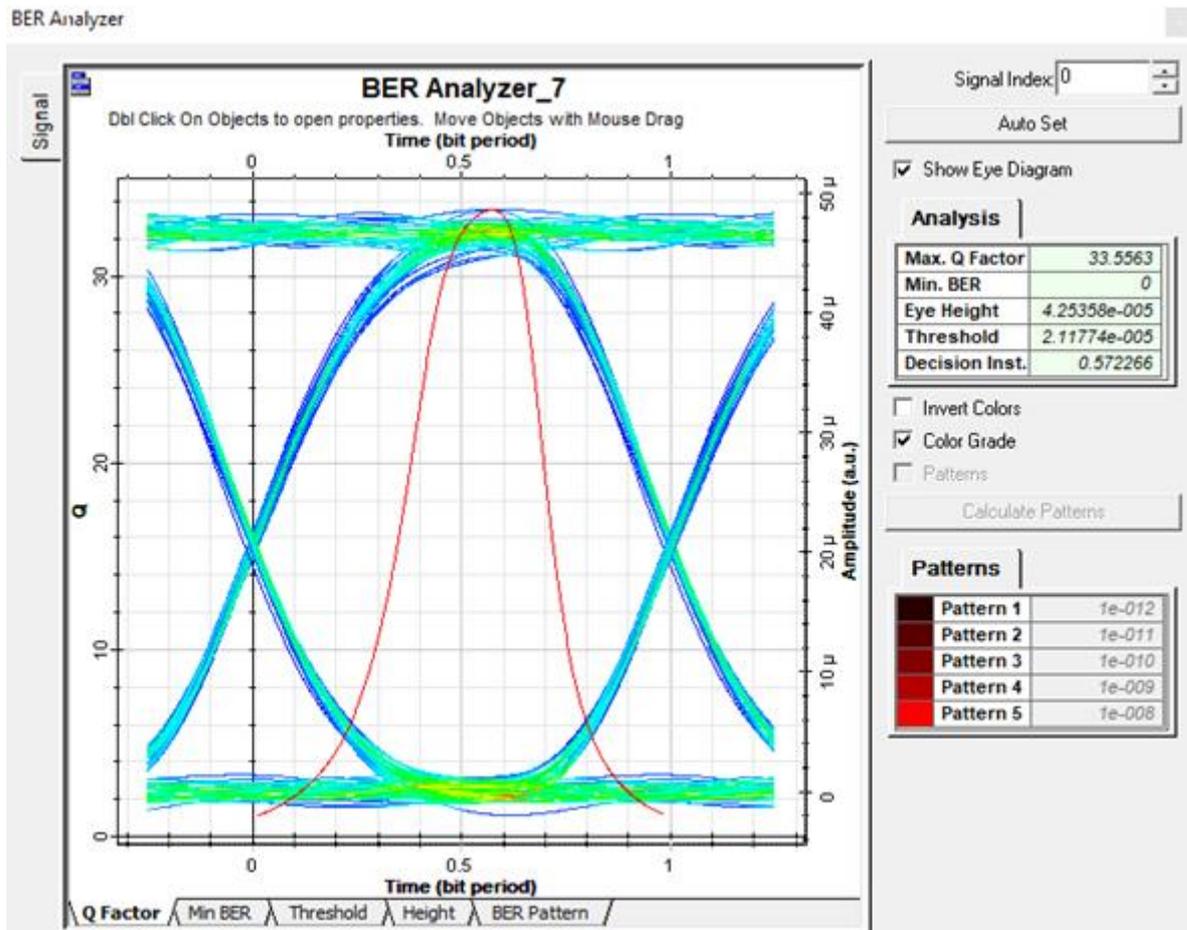


Figura 23-4: BER obtenido en el punto de 20 Km en NGPON2

Fuente: Tomado de la simulación del escenario NGPON2 en Optisystem por Carlos Cando

De los datos observados en el BER Analyzer en el punto de (20 Km) para el caso del escenario NGPON2 (Figura 23-4), se observa:

*El valor del BER para es 0.

*El factor Q presenta un valor de 33,5563.

*La altura del diagrama del OJO ($4.2535e^{-5}$) cuyo valor medio representa el margen de defensa contra el ruido, y

*El mejor instante de muestreo (0.572266).

Tabla 8-4: Obtención de datos BER en las ONT GPON con Optisystem

BIT ERROR RATE (BER) Sistema GPON											
No	10 Muestras tomadas consecutivas en cada ONT										Promedio
1	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³	4,05 ⁻¹³³
2	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶	2,86 ⁻¹²⁶
3	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹	1,02 ⁻¹¹⁹
4	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³	1,64 ⁻¹¹³
5	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷	1,07 ⁻¹⁰⁷
6	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²	2,92 ⁻¹⁰²
7	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷	4,13 ⁻⁹⁷
8	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²	3,89 ⁻⁹²
9	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷
10	8,68 ⁻⁸³	8,68 ⁻⁸³	8,68 ⁻⁸³	8,68 ⁻⁸³	8,68 ⁻⁸¹	5,24 ⁻⁸¹					
11	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸	1,56 ⁻⁷⁸
12	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴	1,59 ⁻⁷⁴
13	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁰	1,08 ⁻⁷⁶	1,08 ⁻⁷⁶	1,08 ⁻⁷⁶	1,08 ⁻⁷⁶	6,48 ⁻⁷¹
14	4,96 ⁻⁶⁷	4,96 ⁻⁶⁷	4,96E-67	4,96 ⁻⁶⁷	4,96 ⁻⁶⁷	4,96 ⁻⁶⁷	4,96E-67	4,96 ⁻⁶⁷	4,96 ⁻⁶⁷	4,96E-67	4,96 ⁻⁶⁷
15	1,46 ⁻⁶³	1,46 ⁻⁶⁴	2,77 ⁻⁶⁴								
16	2,46 ⁻⁸⁷	2,46 ⁻⁸⁷	2,76 ⁻⁶⁰	2,46 ⁻⁶⁰	2,03 ⁻⁶⁰						
17	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷	3,67 ⁻⁵⁷
18	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴	3,42 ⁻⁵⁴
19	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹	2,14 ⁻⁵¹
20	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹	8,90 ⁻⁴⁹
21	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶	2,70 ⁻⁴⁶
22	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴	6,53 ⁻⁴⁴
23	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹	1,27 ⁻⁴¹
24	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹	1,89 ⁻³⁹
25	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷	2,11 ⁻³⁷
26	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵	1,74 ⁻³⁵
27	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³	1,08 ⁻³³
28	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²	5,39 ⁻³²
29	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰	2,26 ⁻³⁰
30	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹	8,10 ⁻²⁹
31	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷	2,39 ⁻²⁷
32	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶	5,74 ⁻²⁶
33	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴	1,16 ⁻²⁴
34	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³	2,03 ⁻²³
35	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²	3,05 ⁻²²
36	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹	3,93 ⁻²¹
37	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰	4,42 ⁻²⁰
38	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹	4,40 ⁻¹⁹
39	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸	3,86 ⁻¹⁸
40	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷	2,98 ⁻¹⁷
41	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶	2,08 ⁻¹⁶
42	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵	1,32 ⁻¹⁵
43	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵	7,58 ⁻¹⁵
44	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴	3,91 ⁻¹⁴

45	1,84 ⁻¹³										
46	8,06 ⁻¹³										
47	3,30 ⁻¹²										
48	1,25 ⁻¹¹										
49	4,39 ⁻¹¹										
50	1,44 ⁻¹⁰										
51	4,45 ⁻¹⁰										
52	1,28 ⁻⁰⁹										
53	3,46 ⁻⁰⁹										
54	8,93 ⁻⁰⁹										
55	2,20 ⁻⁰⁸										
56	5,13 ⁻⁰⁸										
57	1,14 ⁻⁰⁷										
58	2,45 ⁻⁰⁷										
59	5,06 ⁻⁰⁷										
60	1,00 ⁻⁰⁶										
61	1,91 ⁻⁰⁶										
62	3,52 ⁻⁰⁶										
63	6,29 ⁻⁰⁶										
64	1,09 ⁻⁰⁵										

Fuente: Datos Obtenidos mediante el analizador BER en el diseño realizado

Realizado por: Carlos Cando

Como se dijo anteriormente, este proceso de obtener información se realizó con la ayuda de las **réplicas**, mediante la repetición del experimento para obtener datos que permitan analizar su distribución de frecuencias, y observar si los mismos siguen alguna de las distribuciones como la distribución normal, la distribución T- Student, Chi cuadrado, u otras, para posteriormente realizar la prueba de hipótesis.

Estos 10 datos en cada ONT representan un total de 640 muestras aleatorias simples, los mismos que pueden ser usados directamente para su análisis; sin embargo se ha decidido obtener el promedio de cada uno con la finalidad de que el análisis estadístico en el SPSS sea un poco más rápido; este promedio reflejará la misma información para nuestra distribución de frecuencias.

Una particularidad de las tablas 8-4 y 9-4, es que se puede observar que los datos permanecen constantes para cada réplica, quizás porque las mediciones no son tomadas en condiciones con equipos reales; sin embargo reflejan (simulan) un estudio experimental real.

Tabla 9-4: Obtención de datos BER en las ONT NGPON2 con Optisystem

BIT ERROR RATE (BER) Sistema NGPON2											
No	10 Muestras tomadas consecutivas en cada ONT GPON2										Promedio
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
34	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
36	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
37	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
38	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
39	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
41	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰	1,09 ⁻²⁴⁰
42	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸	3,92 ⁻²²⁸
43	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶	1,51 ⁻²⁸⁶
44	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²	8,01 ⁻²¹²
45	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵	7,43 ⁻¹⁸⁵
46	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴	4,83 ⁻¹⁷⁴
47	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴	5,88 ⁻¹⁶⁴
48	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴	3,13 ⁻¹⁶⁴
49	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹	4,60 ⁻¹⁶¹
50	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰	1,56 ⁻¹⁵⁰
51	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²	4,05 ⁻¹⁹²
52	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵	2,16 ⁻¹⁴⁵
53	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹	2,90 ⁻¹²¹
54	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³	1,31 ⁻¹¹³
55	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹	4,59 ⁻¹⁰⁹
56	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸	3,77 ⁻¹⁰⁸
57	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷	7,83 ⁻¹⁰⁷
58	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸	1,88 ⁻⁹⁸
59	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷	1,38 ⁻¹²⁷
60	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹	7,88 ⁻⁹⁹
61	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰	5,01 ⁻⁸⁰
62	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴	5,11 ⁻⁷⁴
63	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²	3,47 ⁻⁷²
64	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹	7,88 ⁻⁷¹

Fuente: Datos Obtenidos mediante el analizador BER en el diseño realizado

Realizado por: Carlos Cando

Los datos obtenidos para el caso de la Latencia, se utiliza en el Visualizador óptico en el Dominio del Tiempo (*OptiSystem el elemento Optical Time Domain Visualizer, OTDV*) (Figura 24-4).

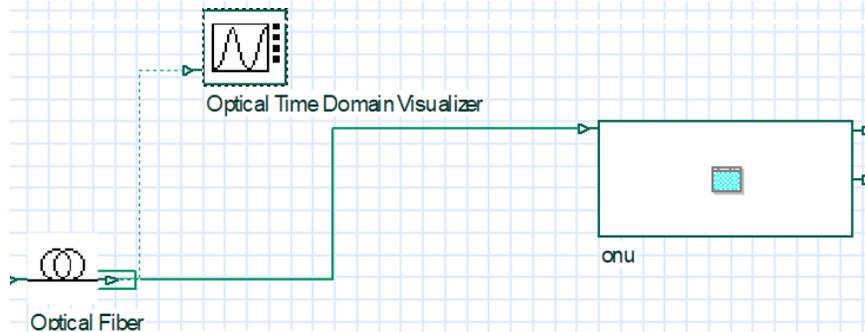


Figura 24-4: Elemento Optical Time Domain Visualizer en Optisystem

Fuente: Tomado del escenario de Simulación por Carlos Cando

Se debe recalcar que las mediciones de latencia presentadas en las tablas 10-4 para el caso GPON y tabla 11-4 para el caso NGPON2 se recolectaron del OptiSystem mediante las gráficas del OTDV, las mismas que por su extensión se presentan gráficas del punto más cercano y del más lejano para las dos tecnologías; esto no es de mucha importancia ya que lo que interesa es si son los datos obtenidos en las tablas antes mencionadas, ya que esta información permitirá analizar nuestra hipótesis.

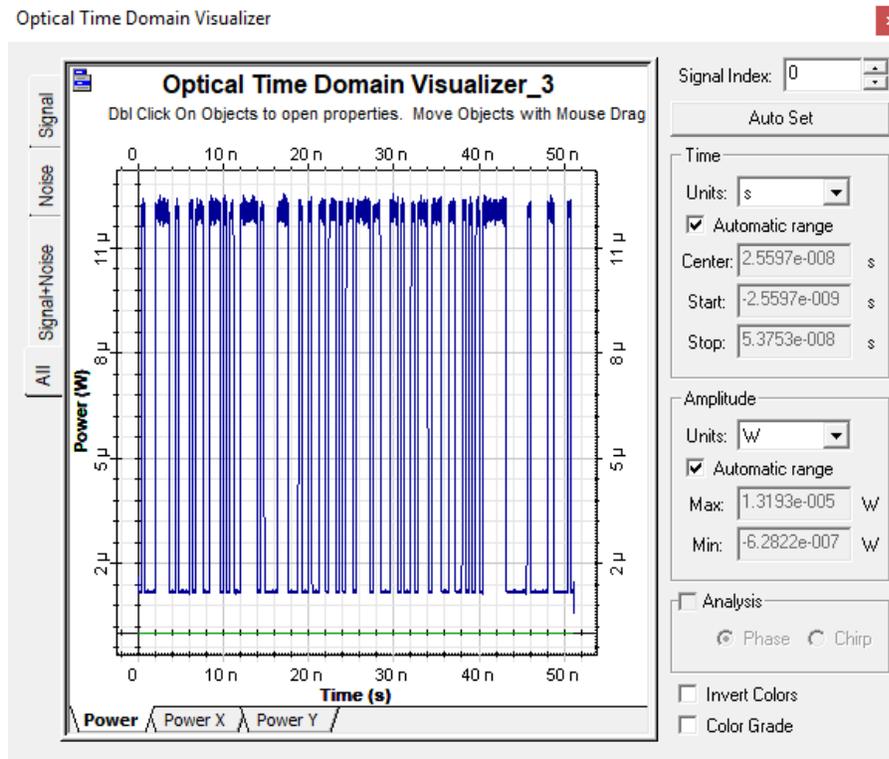


Figura 25-4: Visualización con OTDV en punto más cercano GPON.

Fuente: Tomado del escenario de Simulación de GPON por Carlos Cando

En la figura 25-4, se presenta la medición de la latencia en el punto más cercano (0.625 Km), con un valor de $5.3753e^{-8}$ segundos, y la medición de latencia para el punto de 40 Km obtenido de la Figura 26-4. Estos valores resultan ser aproximadamente iguales, probablemente debido a la utilización del OptiSystem, no siendo obtenidos en esquemas reales.

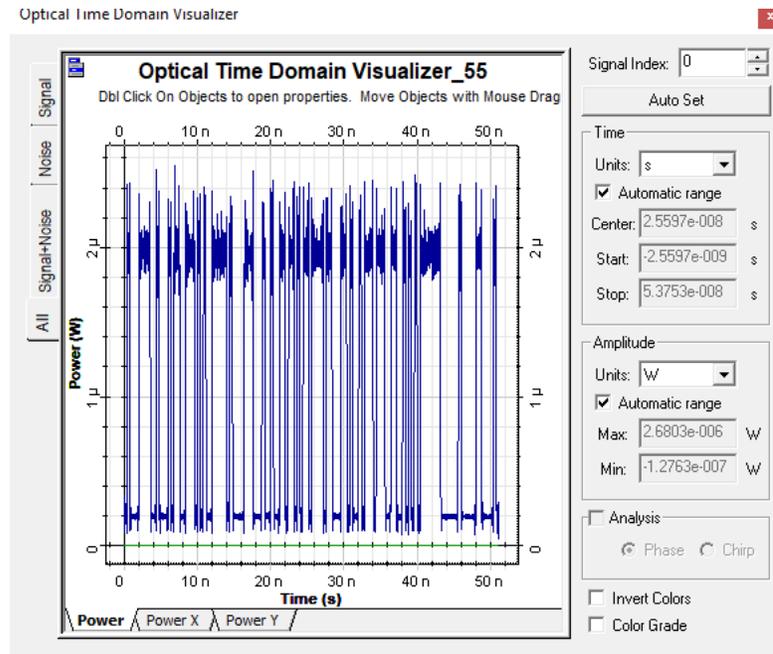


Figura 26-4: Visualización con OTDV en punto más lejano GPON
Fuente: Tomado del escenario de Simulación de GPON por Carlos Cando

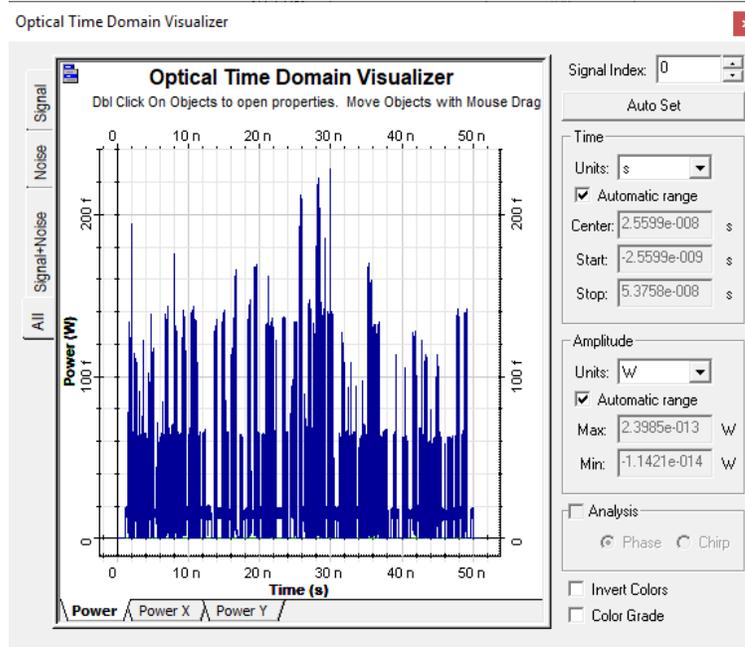


Figura 27-4: Visualización con OTDV en punto más cercano en NGPON2
Fuente: Tomado del escenario de Simulación de NGPON2 por Carlos Cando

En la figura 27-4, se presenta la medición de la latencia en el punto más cercano (0.625Km), con un valor de $5.3753e^{-8}$, y la medición (Figur28) para el punto más lejano (40 Km) es igual en NGPON2. No se puede precisar por qué se presenta valores similares, y a futuro se podría realizar este estudio en un escenario real, con un grado de medición más precisa que la que brinda OptiSystem.

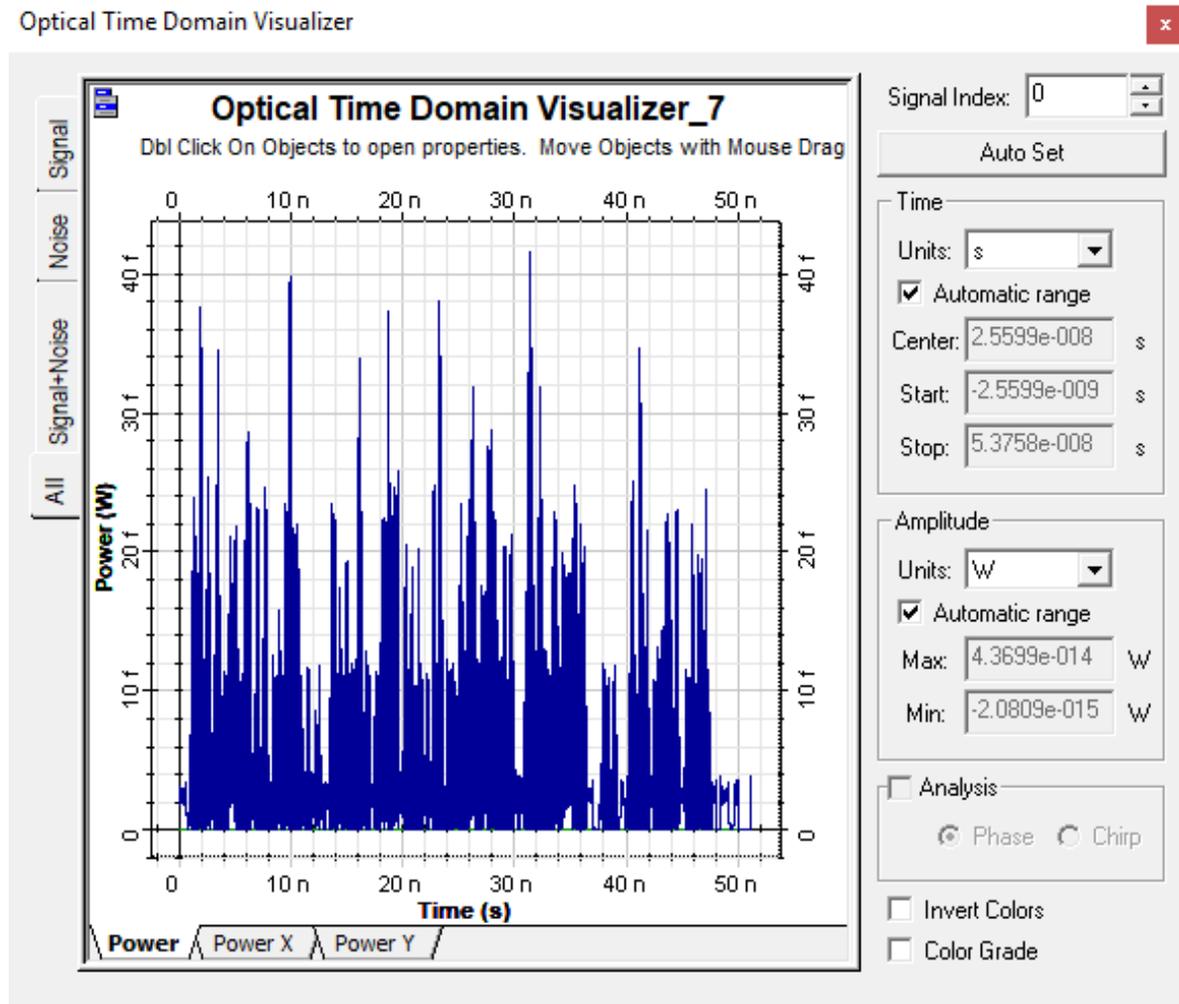


Figura 28-4: Visualización con OTDV en punto de 20 km NGPON2.

Fuente: Tomado del escenario de Simulación de NGPON2 por Carlos Cando

Estos datos obtenidos presentan una particularidad, que fueron constantes y similares para las diferentes distancias de las ONTs (Tabla 11-4 y 12-4), como es el caso de GPON la latencia permaneció en $5,3753e-8$ segundos y para el caso de NGPON2 la latencia permaneció en $5,3758e-8$ segundos.

4.3 Demostración de la hipótesis

Para la demostración de la hipótesis se debe realizar una prueba de hipótesis (o *prueba de significancia*) la cual implica un procedimiento estándar para probar una aseveración acerca de una propiedad de una población (TRIOLA, 2009, pág. 386).

Existen pasos o procedimientos que ayudan a realizar la prueba de hipótesis:

- Dada la aseveración (Nuestra propuesta de investigación), identificar la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, y expresar ambas de forma simbólica.
- Teniendo los datos muestrales, calcular el valor estadístico de prueba.
- Dado un nivel de significancia, identificar el valor (o los valores) crítico (s).
- Dado un valor del estadístico de prueba, identificar el valor p.
- Decisiones y conclusión de una prueba de hipótesis en términos sencillos y sin tecnicismos.

Sin embargo, existen ciertos criterios de decisión a la hora de tomar la decisión de rechazar o no rechazar la hipótesis nula y suele realizarse por medio del **método tradicional** de prueba de hipótesis, el **método del valor p**, o bien, la decisión puede basarse en los **intervalos de confianza**.

En el **Método tradicional** se dice: Rechace H_0 si el estadístico de prueba cae dentro de la región crítica, y no rechace H_0 si el estadístico de prueba no cae dentro de la región crítica (TRIOLA, 2009, pág. 395). La región crítica (o región de rechazo) es el conjunto de todos los valores del estadístico de prueba que pueden provocar que se rechace la hipótesis nula. Observe la región más oscura en la Figura 29-4, es lo que se denomina la región crítica (TRIOLA, 2009, pág. 392). Por otro lado, el estadístico de prueba en cambio es un valor que se utiliza para tomar la decisión sobre la hipótesis nula, y se calcula convirtiendo al estadístico muestral (la media muestral) en una puntuación (como z , t o χ^2), bajo el supuesto de que la hipótesis nula es verdadera. Para calcular el estadístico de prueba para medias se puede hacer con la siguiente fórmula (a) (TRIOLA, 2009, págs. 391,392):

$$z_c = \frac{\bar{x} - \mu}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}$$

(a)

Este valor de z calculado (z_c), se debe comparar con una z de tabla Z_t el mismo que se obtiene de

acuerdo al nivel de significancia en una tabla de contingencia que se encuentran normalizados como datos estadísticos (TRIOLA, 2009).

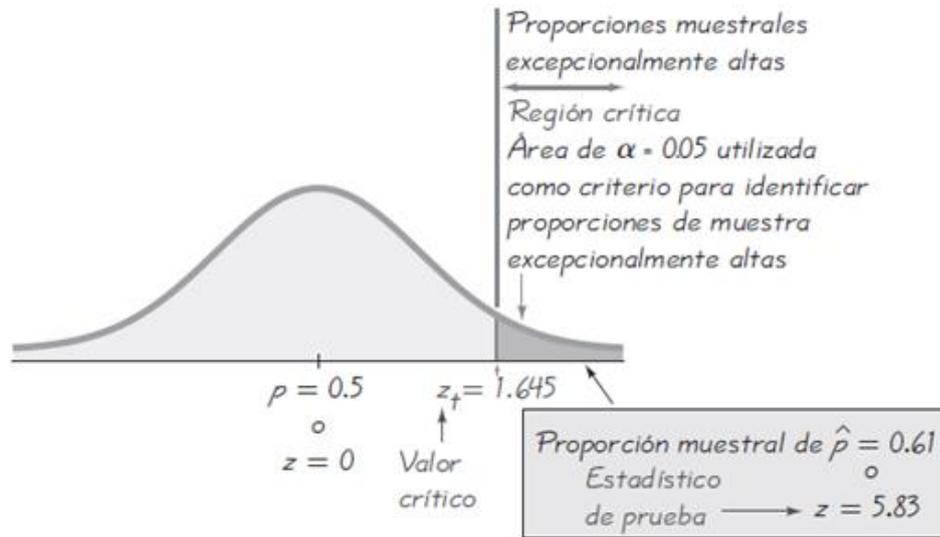


Figura 29-4: Región crítica, valor crítico (z_t) y estadístico de prueba (z_c)

Fuente: (TRIOLA, 2009, pág. 395)

El **Método del valor p** dice: Rechace H_0 si el valor de $p \leq \alpha$ (donde α es el nivel de significancia, tal como 0,05) y no rechace H_0 si el valor p es $> \alpha$ (TRIOLA, 2009, pág. 395). El **nivel de significancia** (α) es la probabilidad de que el estadístico de prueba caiga en la región crítica, cuando la hipótesis nula es verdadera. Si el estadístico de prueba cae en la región crítica, rechazamos la hipótesis nula, de manera que α es la probabilidad de cometer el error de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera (TRIOLA, 2009, pág. 392). Las opciones más comunes para α son 0.05, 0.01 y 0,10. Aunque la más común es 0,05, este valor representa el 5% y esto representa la probabilidad de rechazar la hipótesis nula cuando es verdadera.

Y los **intervalos de confianza** se dice que: Como un estimado del intervalo de confianza de un parámetro de la población contiene los valores posibles de tal parámetro, rechace la aseveración de que el parámetro poblacional tiene un valor que no está incluido en el intervalo de confianza (TRIOLA, 2009, pág. 395).

Decisión del método a utilizar: En los últimos años, el uso del método del **valor p** ha aumentado, junto con la inclusión de valores p en los resultados de programas de cómputo como es el caso del SPSS. Por su rapidez y rápida interpretación de los resultados el procedimiento de análisis estadístico con el SPSS ha sido de vital importancia en la toma de decisiones, no solamente en la realización de estudios investigativos; muchas empresas optan para predecir información útil para sus empresas. Desde este punto de vista, el método que se utiliza en este trabajo investigativo es el del valor p, que con la ayuda del sistema SPSS, para que nuestra interpretación sea lo más

confiable posible.

Para el desarrollo de nuestra hipótesis, primero se va a recordar cuál es nuestra Hipótesis nula (Ho) y nuestra hipótesis alternativa (H1) o también denominada hipótesis de investigación.

Hipótesis Nula (Ho).- La aplicación de NGPON 2 no mejorará el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON.

Hipótesis de Investigación (Hi).- La aplicación de NGPON 2 mejorará el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON.

Para analizar nuestra hipótesis, es imprescindible considerar las variables dependientes e independientes en base a la hipótesis de investigación planteada en este trabajo, la misma que indica lo siguiente: *La aplicación de NGPON 2 mejorará el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON*, y se determinan las siguientes variables:

* Variables independientes

- Escenario con GPON
- Escenario conNGPON2

*Variables dependientes

- Retardo en la transmisión (latencia)
- Tasa de bits perdidos (Bit error rate, BER)

Cuando se presentan dos grupos a los cuales se va a realizar pruebas independientes de una variable determinada; para nuestro caso los dos grupos corresponden a GPON y NGPON2, y una variable específica el caso del BER, siempre se va a trabajar con una T Independiente (Figura 30-4), en el uso del SPSS. Se debe ingresar los datos para conocer si los mismos cumplen una distribución normal o no; si cumple la normalidad y homogeneidad se lo analizaría con la distribución T Student, pero si cumple la normalidad, pero no la homogeneidad se lo analizaría con la T Welch. En el caso de que en nuestro análisis no aparezca una distribución normal se utiliza el sistema U MANN WEITH (Figura 31-4).



Figura 30-4: Técnica de análisis de datos
Fuente: Tomado de (Reyes, 2016)

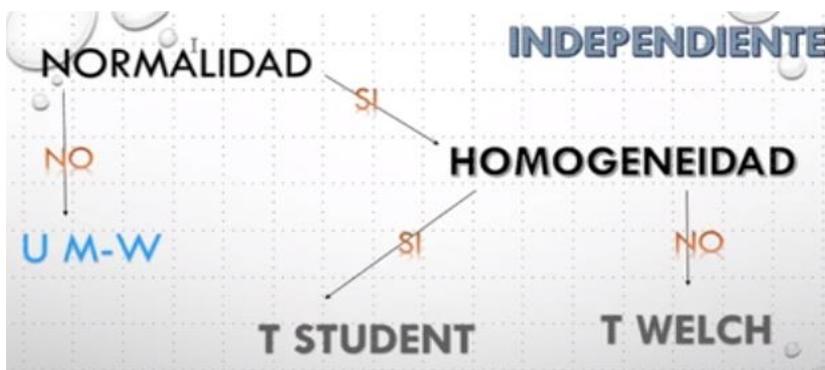


Figura 31-4: Elección de la técnica para análisis de datos en SPSS
Fuente: Tomado de (Reyes, 2016)

Entonces primero se ingresa los datos en el SPSS para analizar si los datos siguen la distribución normal en cada caso, para luego realizar la prueba de hipótesis con alguna de las técnicas antes mencionadas.

4.3.1 Demostración de la hipótesis para el caso del BER

Lo primero que se hace es ingresar los datos encontrados de los escenarios en el SPSS. Para ingresar los datos en nuestro SPSS, se observa que al final se encuentra dos iconos, el uno Vista de datos y la otra Vista de Variables (Figura 32-4). Para ingresar nuestros datos primero debemos crear las variables necesarias para nuestro análisis como en nuestro caso el BER, Latencia y la Variable Independiente (GPON y NGPON2). Para el ingreso de los datos, simplemente se llena debajo de Nombre, Tipo, Anchura, Decimales, Etiqueta, Valores, Perdidos, Columnas, Alineación Medida y Rol.

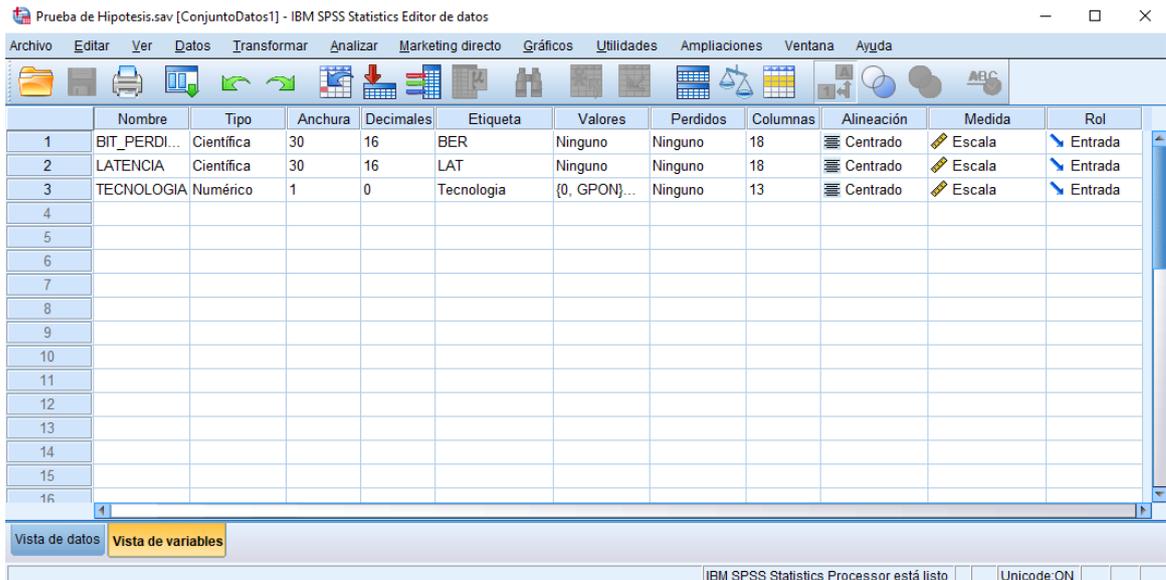


Figura 32-4: Creación de variables en el SPSS

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Se debe mencionar que nuestra variable independiente (TECNOLOGIA), presenta dos grupo (GPON y NGPON2) y se etiqueta con el valor 0 a GPON y con el Valor 1 a NGPON2 (Figura 33-4), con la finalidad de poder distinguir los datos al momento de ingresar en vista de datos.

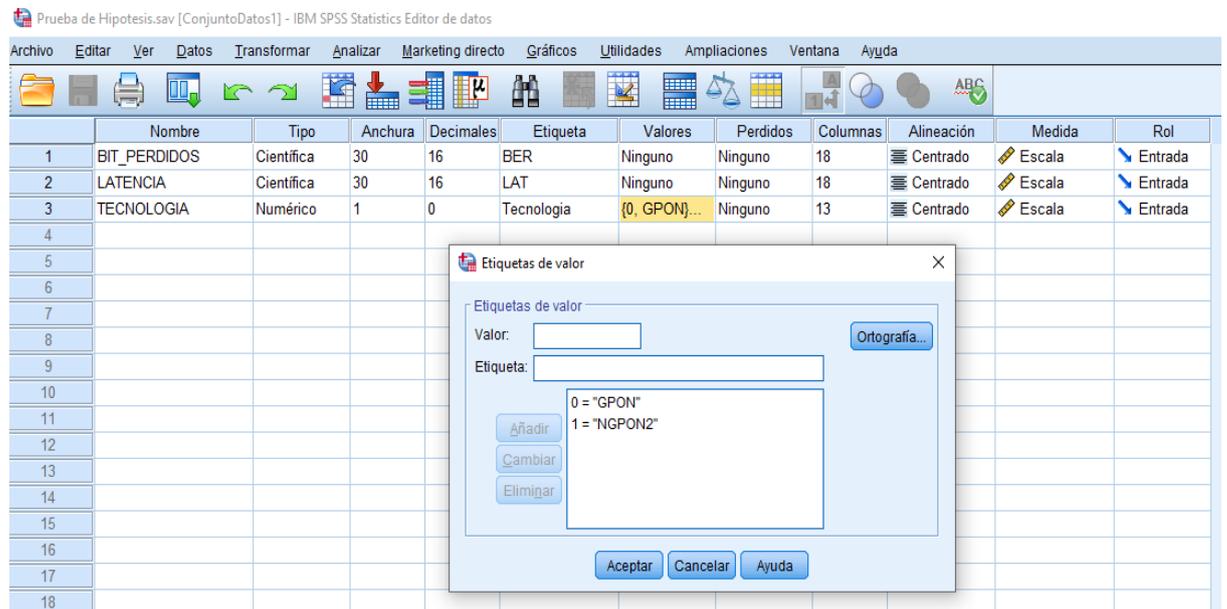


Figura 33-4: Etiquetado de la variable independiente (GPON y NGPON2)

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Una vez especificadas las variables en el SPSS, a continuación, se procede a ingresar los datos en **Vista de Datos** (Figura 34-4) de las tablas 8-4, 9-4,10-4 y 11-4; según las variables antes mencionadas.

	BIT_PERDIDOS	LATENCIA	TECNOLOGIA	var	var	var	var	var
1	4,050000000000000E-133	0,000000000000000E+000	GPON					
2	2,860000000000000E-126	0,000000000000000E+000	GPON					
3	1,020000000000000E-119	0,000000000000000E+000	GPON					
4	1,640000000000000E-113	0,000000000000000E+000	GPON					
5	1,070000000000000E-107	0,000000000000000E+000	GPON					
6	2,920000000000000E-102	0,000000000000000E+000	GPON					
7	4,130000000000000E-097	0,000000000000000E+000	GPON					
8	3,890000000000000E-092	0,000000000000000E+000	GPON					
9	2,210000000000000E-087	0,000000000000000E+000	GPON					
10	5,240000000000000E-081	0,000000000000000E+000	GPON					
11	1,560000000000000E-078	0,000000000000000E+000	GPON					
12	1,590000000000000E-074	0,000000000000000E+000	GPON					
13	6,480000000000000E-071	0,000000000000000E+000	GPON					
14	4,960000000000000E-067	0,000000000000000E+000	GPON					
15	2,770000000000000E-064	0,000000000000000E+000	GPON					
16	2,030000000000000E-060	0,000000000000000E+000	GPON					
17	3,670000000000000E-057	0,000000000000000E+000	GPON					
18	3,420000000000000E-054	0,000000000000000E+000	GPON					
19	2,140000000000000E-051	0,000000000000000E+000	GPON					

Figura 34-4: Ingreso de datos en Vista de Datos

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

A continuación, se procede a analizar si los mismos cumplen una función de normalidad o no. Para esta parte nos dirigimos a donde diga *Analizar*, *Estadísticos descriptivos* y *Explorar* (Figura 35-4), y se desplegará la información de la Figura 36-4.

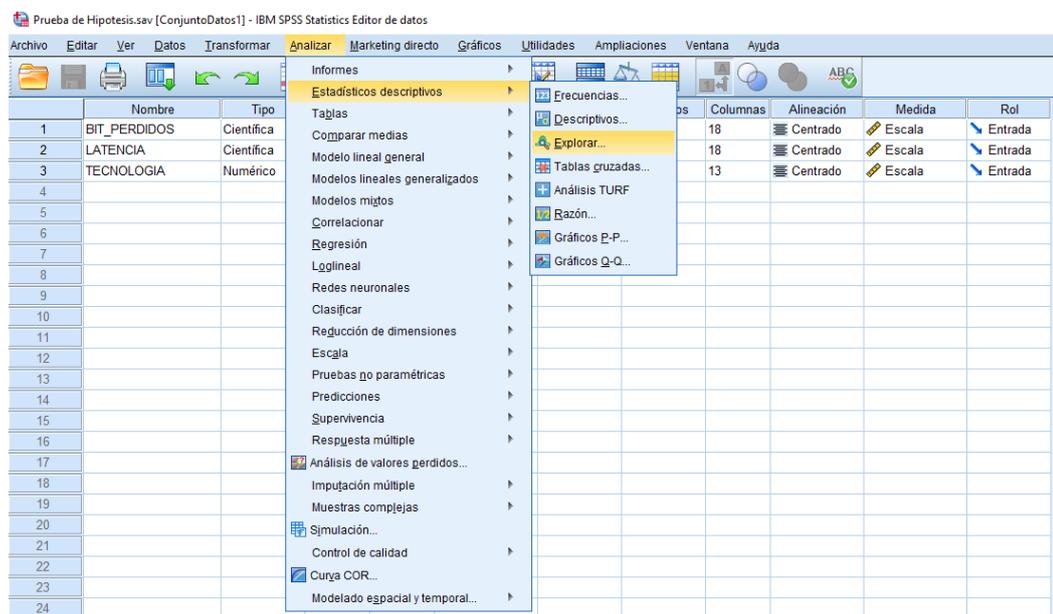


Figura 35-4: Análisis de normalidad en SPSS

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante



Figura 36-4: Explorador de datos para análisis de normalidad del BER
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Para esta parte de estudio, se analiza el BER, para lo cual es necesario pasar a lista de dependientes la variable BER y Tecnología a lista de factores según como se muestra en la Figura 36-4. Luego en la parte de Gráficos se pide realizar la prueba de normalidad en *Gráficos de normalidad* con pruebas (Figura 37-4) y se presenta la información de las Figuras 38-4, 39-4 y 40-4.



Figura 37-4: Seleccionar Gráfico de normalidad con pruebas
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

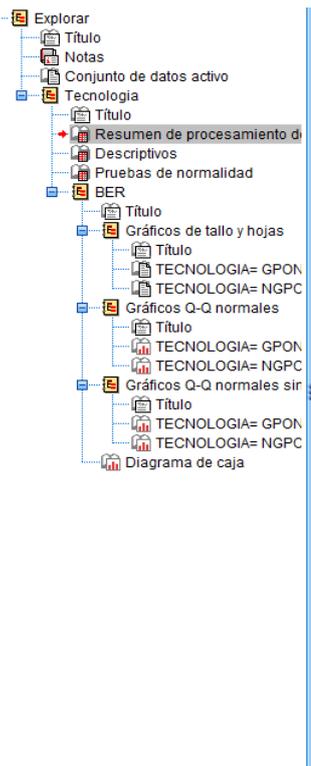
Explorar

[ConjuntoDatos1] D:\TELECOM COPIA\Tesis\Prueba de Hipotesis.sav

Tecnología

Resumen de procesamiento de casos							
	Tecnología	Casos				Total	
		Válido		Perdidos		N	Porcentaje
		N	Porcentaje	N	Porcentaje		
BER	GPON	64	100,0%	0	0,0%	64	100,0%
	NGPON2	64	100,0%	0	0,0%	64	100,0%

Figura 38-4: Resumen del procesamiento de casos
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

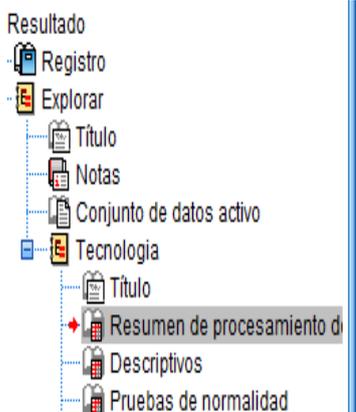


Tecnologia		Estadístico	Error estándar	
BER	GPON	Media	3,839472E-7	2,030950E-7
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior: -2,190584E-8 Límite superior: 7,898002E-7	
		Media recortada al 5%	6,042743E-8	
		Mediana	6,08700E-25	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	1,624760E-6	
		Mínimo	4,0500E-133	
		Máximo	1,090000E-5	
		Rango	1,090000E-5	
		Rango intercuartil	3,60500E-11	
		Asimetría	5,350	,299
		Curtosis	30,799	,590
	NGPON2		Media	1,28622E-72
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior: -1,17480E-72 Límite superior: 3,74725E-72	
		Media recortada al 5%	6,96108E-82	
		Mediana	0,000000E+0	
		Varianza	,000	
		Desviación estándar	9,85226E-72	
		Mínimo	0,000000E+0	
		Máximo	7,87976E-71	
		Rango	7,87976E-71	
		Rango intercuartil	5,1963E-164	
		Asimetría	7,977	,299
		Curtosis	63,740	,590

Figura 39-4: Análisis descriptivo de la variable independiente

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Numéricamente hablando se puede observar que el valor de la media del BER en GPON ($2,030950e^{-7}$) es mayor que el valor de la media del BER en NGPON2 ($1,23153e^{-72}$) según la Figura 40. Ciertamente existe una menor tasa de bits errados (BER) en el sistema NGPON2 respecto a GPON, pero la pregunta no es ésta más bien la pregunta es si son o no realmente significativos estos valores para determinar si se cumple o no la hipótesis de investigación planteada (H_i).



Tecnologia	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
BER GPON	,457	64	,000	,258	64	,000
NGPON2	,519	64	,000	,112	64	,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 40-4: Prueba de normalidad en SPSS

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Como se observa en la Figura 40, aparecen 2 pruebas de normalidad; la una es Kolmogorow-Smirnow y la otra de Shapiro-Wilk, ambas para probar la normalidad de los datos. Sin embargo,

la prueba de Kolmogorow-Smirnow se utiliza para cuando son muestras grandes mayor de 30 individuos y la de Shapiro-Wilk cuando las muestras son menores o iguales a 30 individuos (Reyes, 2016).

Para el presente caso se analizan 64 elementos por lo que la normalidad se lo hace con la prueba de Kolmogorow-Smirnow y se observa que el grado de significancia (Sig.) es de cero para los dos casos (GPON y NGPON2). Se debe mencionar que el valor de significancia corresponde al número p-valor.

El criterio para determinar la normalidad se indica en el método del valor p, y se selecciona un nivel de significancia de 0,05.

Si el valor **P-valores** mayor o igual al valor de significancia (0,05) los datos provienen de una distribución **normal** y se Acepta **Ho**

Si el valor **P-valor** es menor al valor de significancia (0,05) los datos no provienen de una distribución **normal** y se Acepta **H1**

Entonces dado que el P-valor es menor que el grado de significancia 0,05, entonces se dice que los datos NO provienen de una distribución normal, y para corroborar esto se observa el gráfico de histograma en el SPSS y se dirige a la parte de *Gráficos, cuadro de diálogos antiguos y Histograma*, (Figura 41-4) y nos despliega la información de la Figura 42-4.

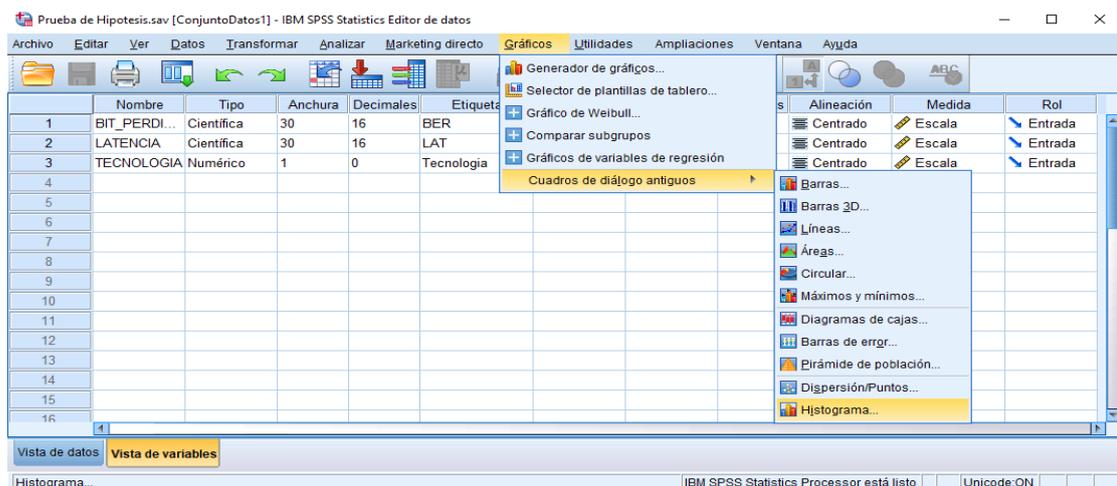


Figura 41-4: Prueba de normalidad del BER busca histograma

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

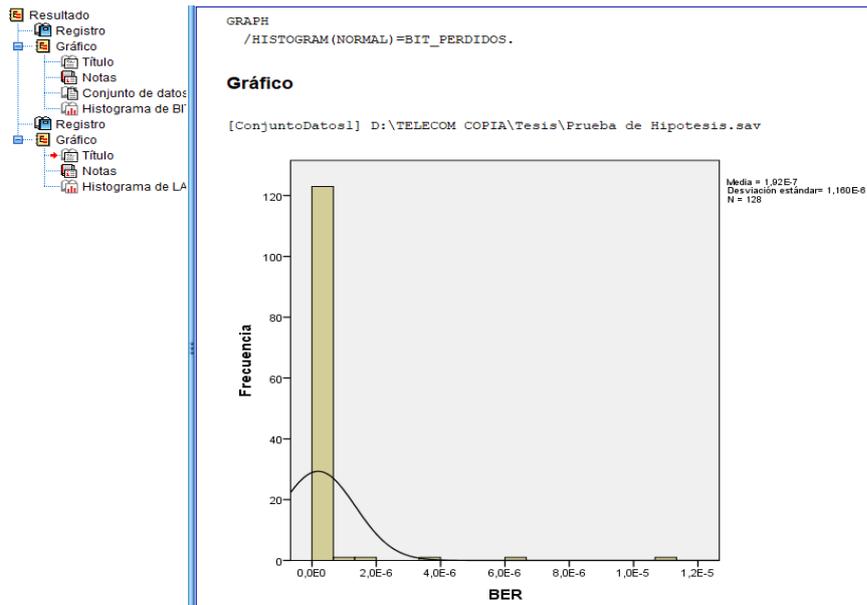


Figura 42-4: Histograma de la prueba de normalidad del BER
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Como se comprueba, que los datos no siguen una función de distribución normal, es decir no existe normalidad de los datos, se prosigue con la técnica de U MANN WHITNEY según la Figura 43-4.

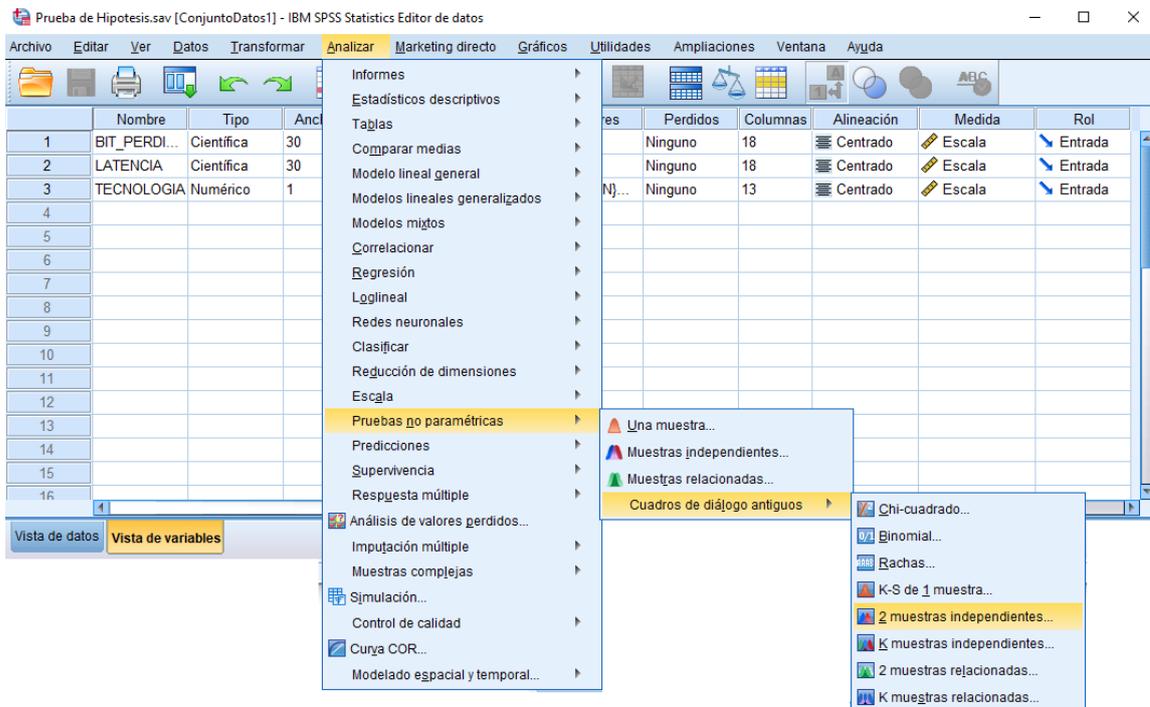


Figura 43-4: Búsqueda de prueba de U MANN WHITNEY
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

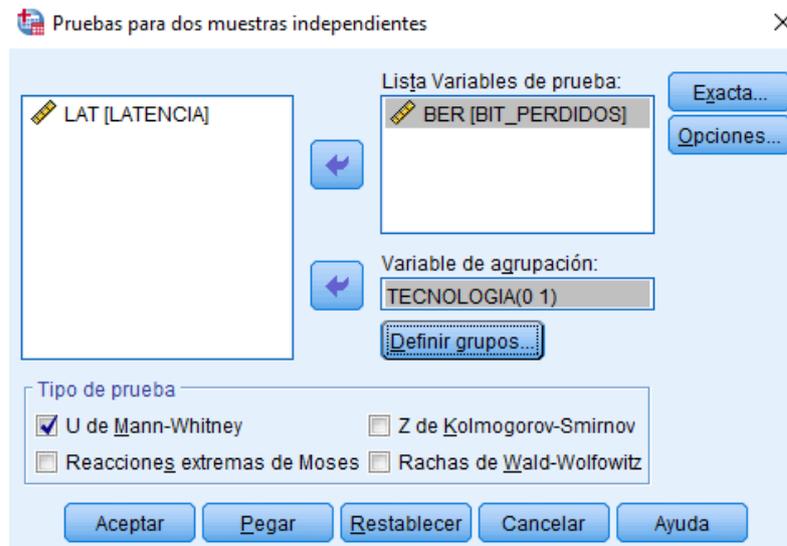


Figura 44-4: Prueba para dos muestras independientes con U MANN WHITNEY
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

La prueba de la U de Mann-Whitney (también llamada de Mann-Whitney-Wilcoxon, prueba de suma de rangos Wilcoxon, o prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney) es una prueba no para métrica aplicada a dos muestras independientes.

```

NPAR TESTS
  /M-W= BIT_PERDIDOS BY TECNOLOGIA(0 1)
  /MISSING ANALYSIS.

```

➔ Pruebas NPar

Prueba de Mann-Whitney

Rangos				
	Tecnología	N	Rango promedio	Suma de rangos
BER	GPON	64	95,28	6098,00
	NGPON2	64	33,72	2158,00
	Total	128		

Estadísticos de prueba^a

	BER
U de Mann-Whitney	78,000
W de Wilcoxon	2158,000
Z	-9,535
Sig. asintótica (bilateral)	,000

a. Variable de agrupación:
Tecnología

Figura 45-4: Prueba de hipótesis con U MANN WHITNEY
Fuente: Ingresado en SPSS por Carlos Cando

Lo que se debe interpretar de la Figura 45-4 en el SPSS es que el denominado **P-valor** conocido como **Sig.asintótica (bilateral)**, es menor que el nivel de significancia 0,05. Se concluye entonces

que, se acepta la Hipótesis alternativa H1 para el caso del BER, “*la aplicación de NGPON2 mejora el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON*”.

4.3.2 Demostración de la hipótesis para el caso de la Latencia

Como se dijo anteriormente, se procede a analizar si los datos ingresados cumplen o no una función de normalidad; para esto igualen el SPSS se va a la parte de *Analizar, Estadísticos descriptivos y Explorar*, (Figura 41-4) y analizamos en este caso la Latencia, para lo cual en esta parte se pasa a *Lista de dependientes* la variable denominada **LAT (LATENCIA)** y la variable **TECNOLOGIA** a *Lista de factores* según como se muestra en la Figura 46-4.



Figura 46-4: Explorador de datos para análisis de normalidad de la LATENCIA

Fuente: Ingresado en SPSS por Carlos Cando

Luego para ver si cumple la distribución normal, en la Figura 45-4, se va a la parte de Gráficos y aparece la Figura 47-4 donde se selecciona en *Gráficos de normalidad con pruebas* para la prueba de normalidad y se selecciona continuar y aceptar desplegando la información de las figuras 48-4 y 49-4.

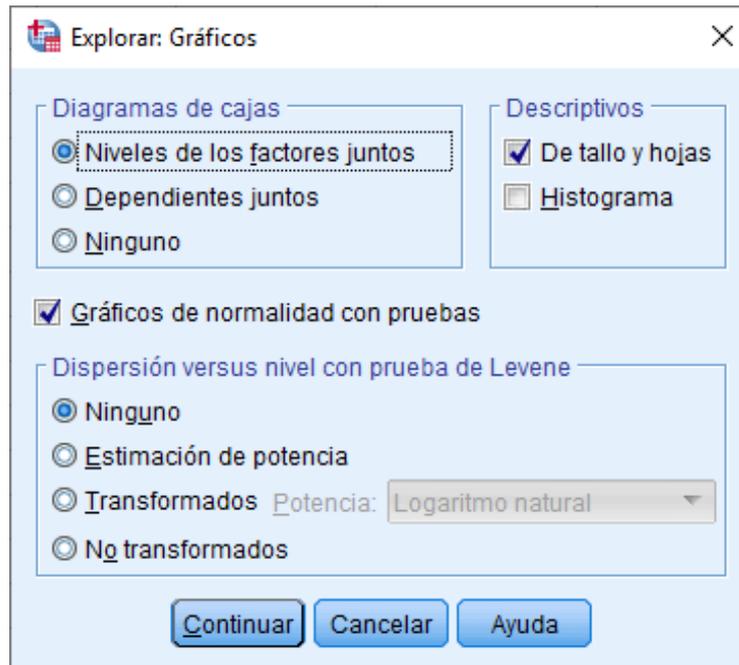


Figura 47-4: Gráfico de normalidad con pruebas para LATENCIA
Fuente: Ingresado en SPSS por Carlos Cando

LatenciaNormalidad_CarlosCando.spv [Documento3] - IBM SPSS Statistics Visor

Archivo Editar Ver Datos Transformar Insertar Formato Analizar Marketing directo Gráficos Utilidades Ampliaciones Ventana Ayuda

EXAMINE VARIABLES=LATENCIA BY TECNOLOGIA
 /PLOT BOXPLOT STEMLEAF NPLOT
 /COMPARE GROUPS
 /STATISTICS DESCRIPTIVES
 /CINTERVAL 95
 /MISSING LISTWISE
 /NOTOTAL.

Explorar

Avisos

LAT es constante cuando Tecnologia = NGPON2. Se incluirá en cualquier diagrama de cajas generada, pero se omitirá otro resultado.

Tecnologia

Resumen de procesamiento de casos

Tecnologia	N	Válido	Casos Perdidos		Total	
			N	Porcentaje	N	Porcentaje
LAT GPON	64	100,0%	0	0,0%	64	100,0%
NGPON2	64	100,0%	0	0,0%	64	100,0%

Figura 48-4: Resumen de procesamiento de casos para la Latencia
Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

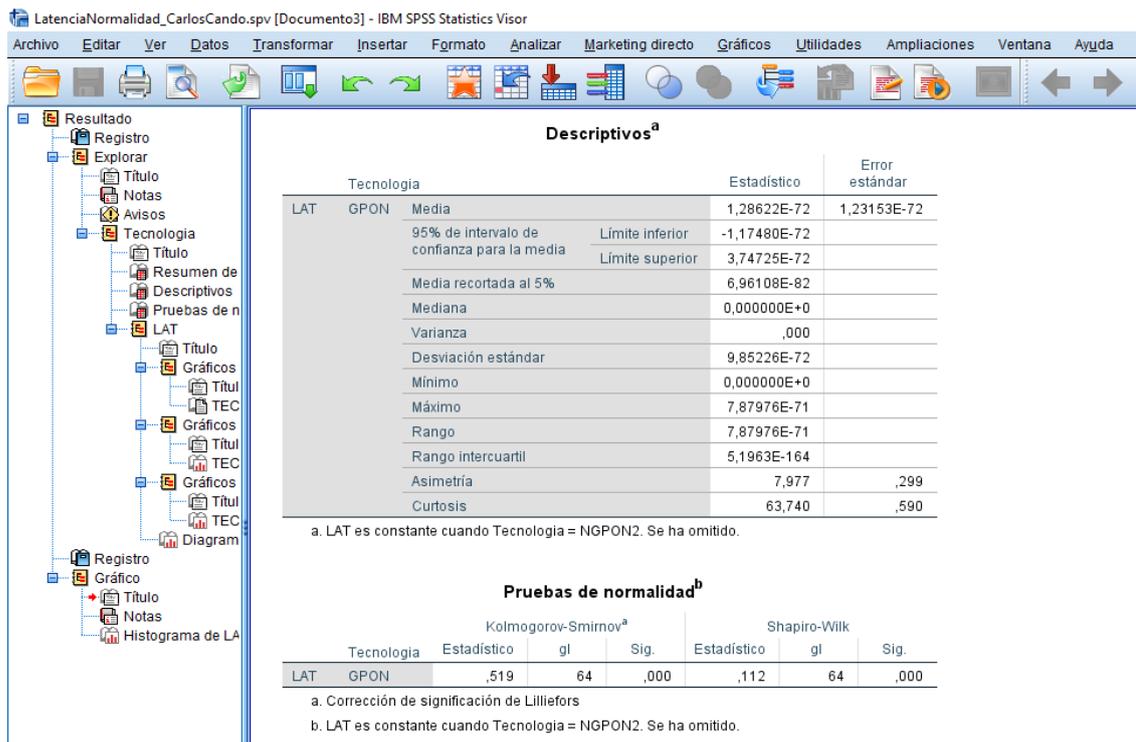


Figura 49-4: Prueba de normalidad para el caso de la Latencia

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Numéricamente hablando se puede observar que el valor de la media del GPON es mayor que el valor de la media de NGPON2, ya que esta última presenta una tendencia nula (Figura 48-4 y 49-4) lo que se podría de momento decir que al tener NGPON2 menor latencia que GPON es mejor sistema. Igual, esto no basta para comprobar nuestra hipótesis, así que se realiza el análisis de normalidad para ver qué prueba se utiliza y de esta manera poder realizar la hipótesis.

Como se observa en la Figura 49-4, aparece solo una prueba de normalidad, la de GPON, con las dos pruebas antes mencionadas la una de Kolmogorow-Smirnow y la otra de Shapiro-Wilk, como se manifestó anteriormente se utiliza la prueba de Kolmogorow-Smirnow y se ve que el grado de significancia (Sig.) es de cero para el caso de GPON. ¿Y qué pasó con la normalidad de NGPON2? Bueno, al analizar la normalidad de los datos se observa que los mismos son tan bajos que el SPSS no dio valor alguno, por lo tanto, se vio reflejado acá y debemos mencionar que el valor de significancia que corresponde al p-valor es cero para las dos tecnologías.

Entonces dado que el P-valor es menor que el grado de significancia 0,05, entonces se concluye que los datos NO provienen de una distribución normal, y para corroborar esto se observa el gráfico de histograma en el SPSS en *Gráficos, Cuadro de diálogos antiguos, Histograma*, y nos despliega el diagrama de la Figura 50-4.

```
GRAPH  
/HISTOGRAM=LATENCIA.
```

→ **Gráfico**

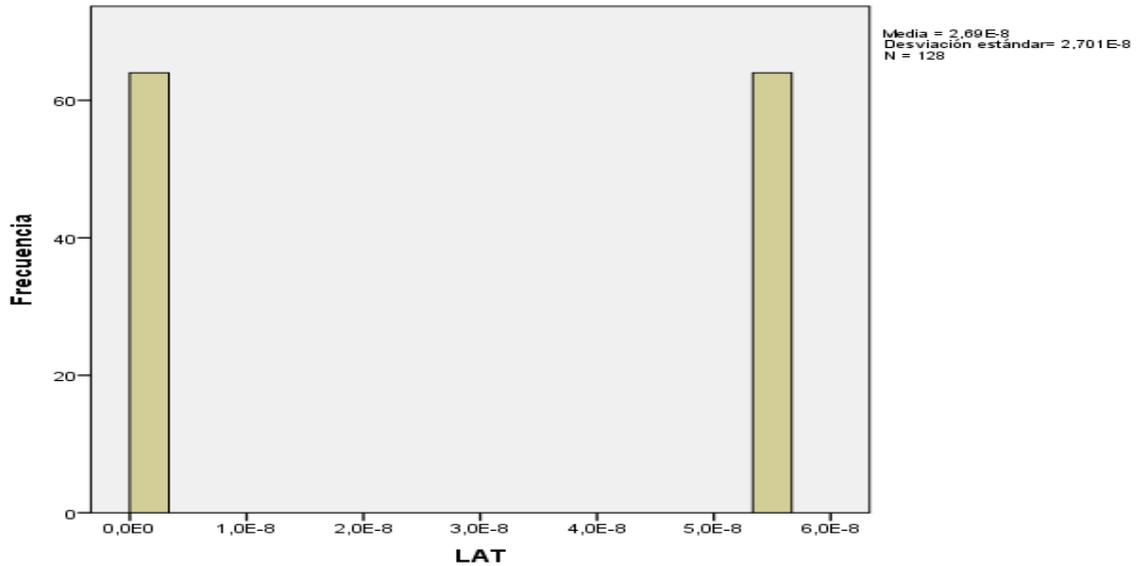


Figura 50-4: Gráfico de frecuencias de la LATENCIA

Fuente: Tomado del sistema SPSS por el estudiante

Como se puede observar y de acuerdo a los datos de normalidad obtenidos, la naturaleza de los mismos no sigue una función normal, por lo tanto, corresponde de manera similar realizar la prueba de hipótesis con la prueba de U MANN WHITHNEY (Figura 51-4).

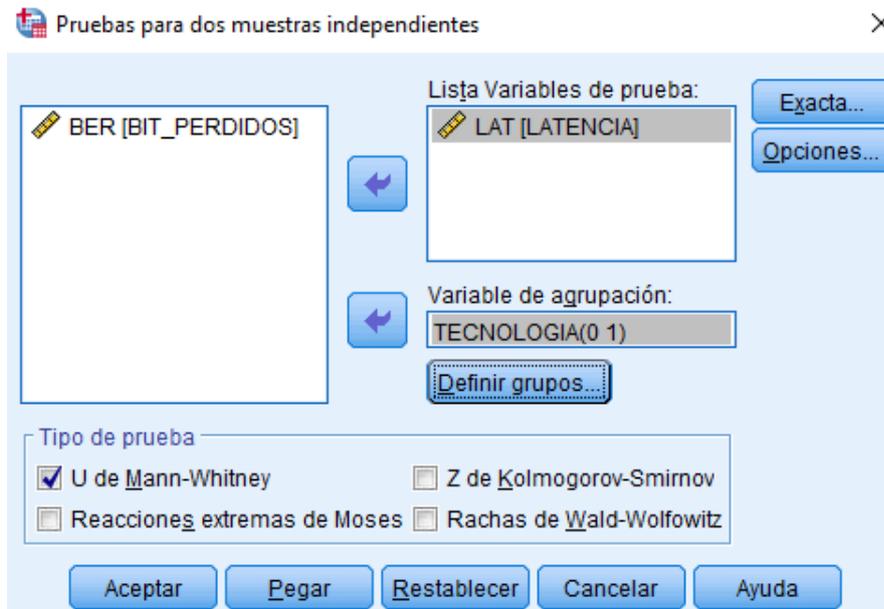


Figura 51-4: Prueba de dos muestras independientes para la LATENCIA

Fuente: Ingresado en SPSS por Carlos Cando

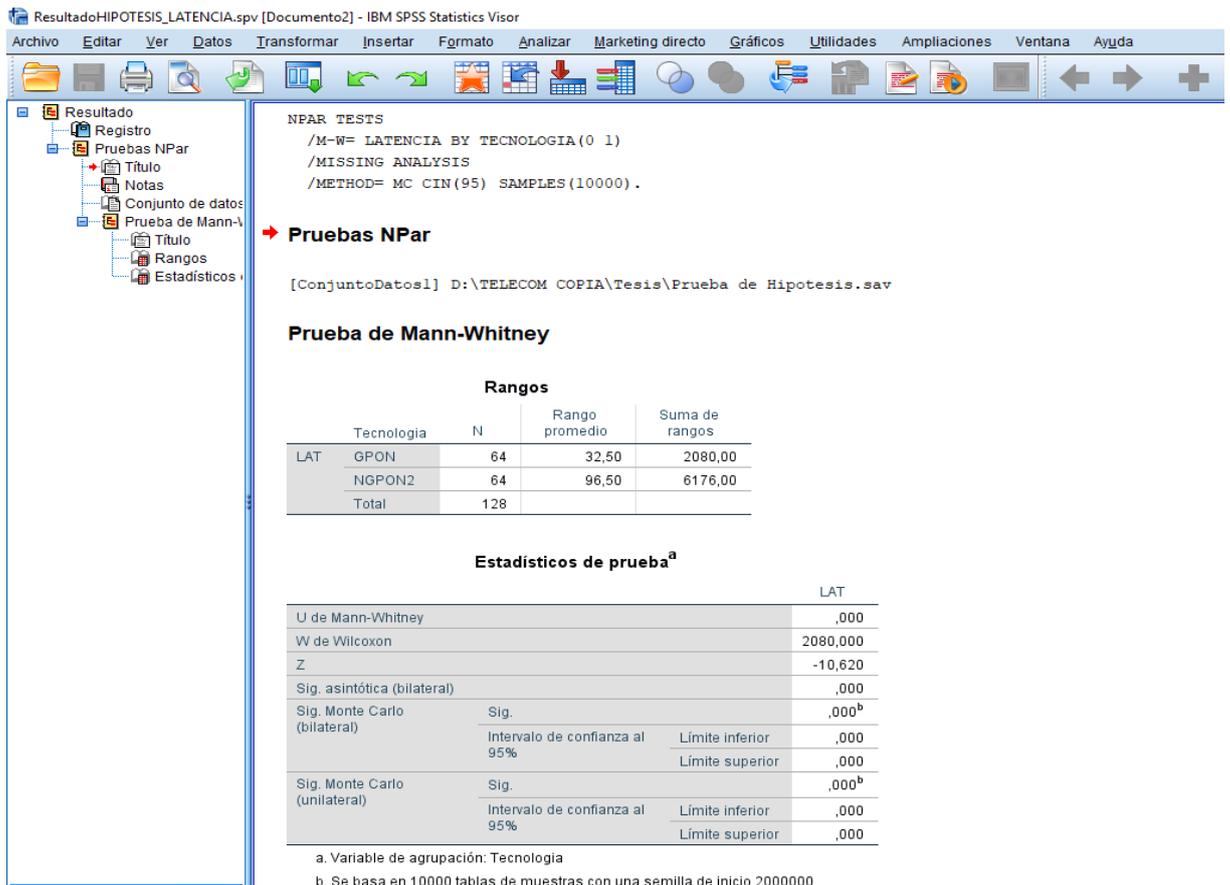


Figura 52-4: Prueba de hipótesis con U MANN WHITNEY

Fuente: Ingresado en SPSS por Carlos Cando

Lo que se interpreta de acuerdo a la figura 52-4, es que como el denominado **P-valor** conocido en el SPSS como Sig.Asintótica (bilateral) es menor que el nivel de significancia 0,05, se concluye que se acepta la Hipótesis alternativa H_i para el caso de la Latencia y se rechaza la Hipótesis Nula (H_0).

CONCLUSIÓN DE LA HIPÓTESIS:

De acuerdo al análisis realizado con el método del p valor y con la ayuda del SPSS, se concluye que:

Se acepta la **Hipótesis de la Investigación (H_i):** “*La aplicación de NGPON2 mejora el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON*”, y se rechaza la Hipótesis nula (H_0).

CAPÍTULO V

5. PROPUESTA

5.1 Desarrollo en software de una red Híbrida GPON y NGPON2

Para el desarrollo del sistema propuesto, se debe considerar la arquitectura de red pasiva híbrida mostrada en la Figura 53-5.

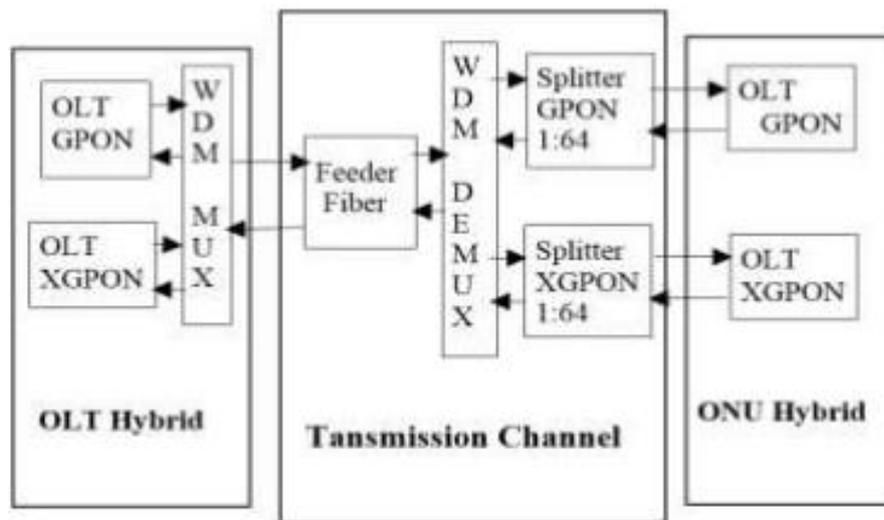


Figura 53-5: Estructura lógica de un sistema Híbrido

Fuente: Obtenido del paper de (Farizi, 2017, pag. 4)

Aquí se pueden observar tres aspectos fundamentales:

*La OLT está conformada por los módulos GPON y NGPON antes expuestos para la transmisión y recepción uniendo los dos sistemas con un DEMUX WDM en una sola circuitería (Figura 53-5).

*El ODN formado por el mismo tipo de fibra óptica y *splitters* que tienen la capacidad de multiplexar y demultiplexar las señales ya sean de GPON o NGPON2 (Figura 56-5).

/*La ONT de manera similar formada por un DEMUX WDM con la finalidad de discernir las señales entrantes o salientes, con los módulos respectivos de transmisión o recepción tanto para GPON y NGPON2 en una sola circuitería (Figura 54-5).

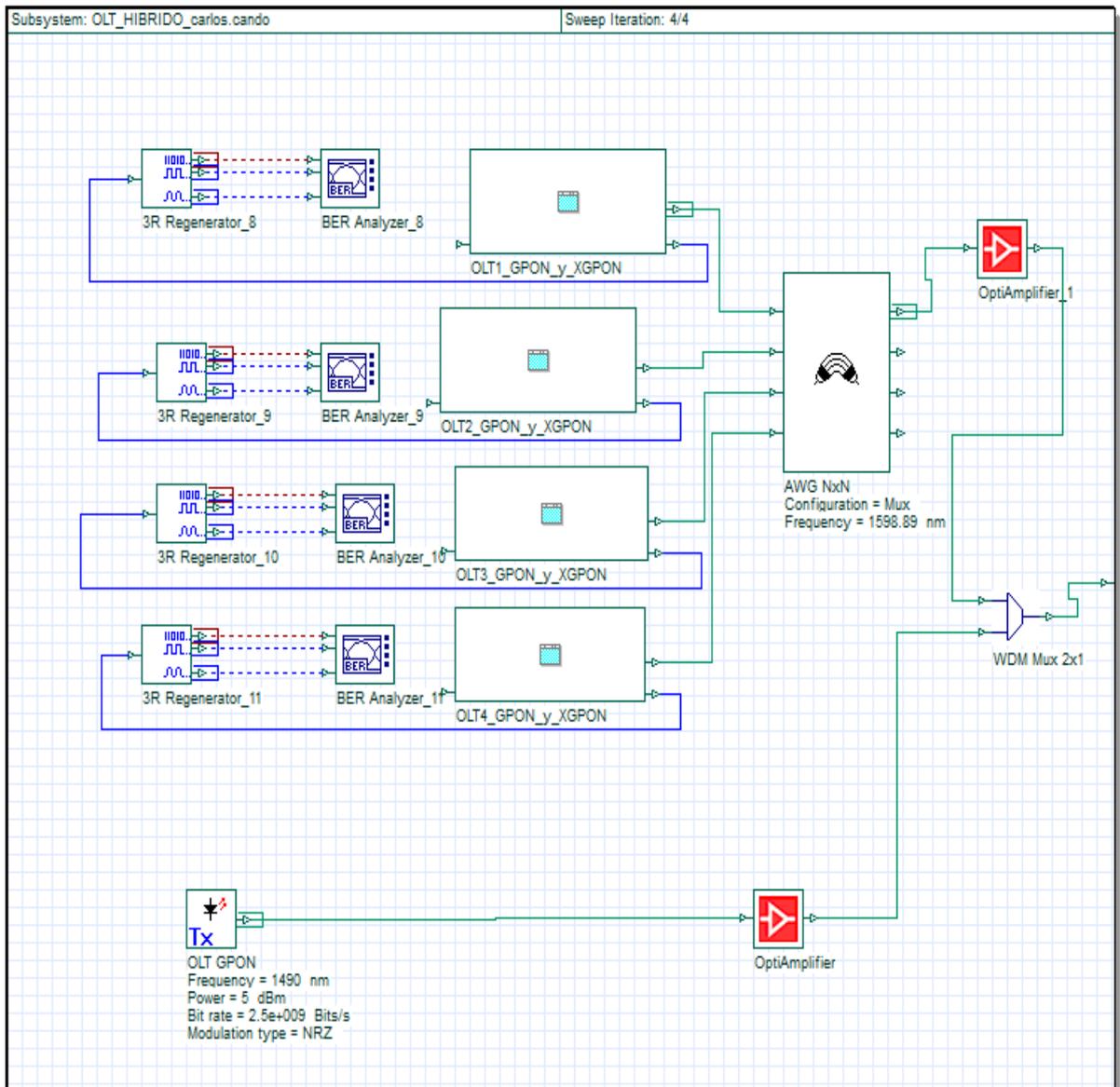


Figura 54-5: OLT híbrida GPON y NGPON2

Fuente: Simulado en OPTISYSTEM por Carlos Cando

En la figura 54-5 se observan los módulos completos que conforman la OLT Híbrida formado por:

- *El módulo de sistema GPON y
- *Los 4 módulos de XGPON que multiplexados por un sistema AWG da un sistema OLT NGPON2,
- *Se multiplexa con un Mux WDM

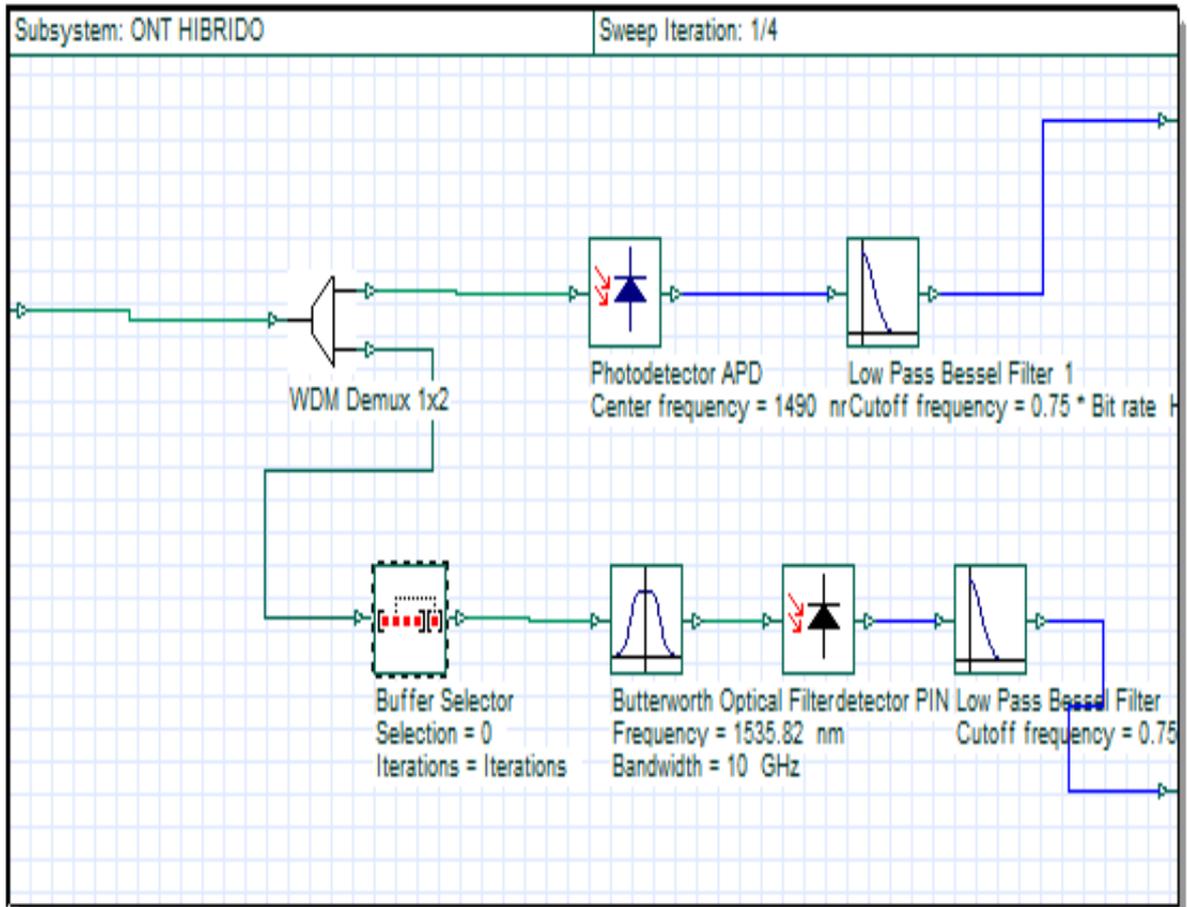


Figura 55-5: ONT Híbrido GPON y NGPON2

Fuente: Simulado en OPTISYSTEM por Carlos Cando

En la figura 55-5 se observan los módulos completos que conforman la ONT Híbrida formado por:

- *El módulo de sistema GPON formado por la parte receptora, más
- *La parte receptora del ONU NGPON2.
- *Para recibir una señal se recibe con un Demux WDM.

Por último, se observa la red total híbrida (Figura 56-5), formada por los diferentes subsistemas antes mencionados, dando como resultado un sistema robusto y compatible con GPON a NGPON2.

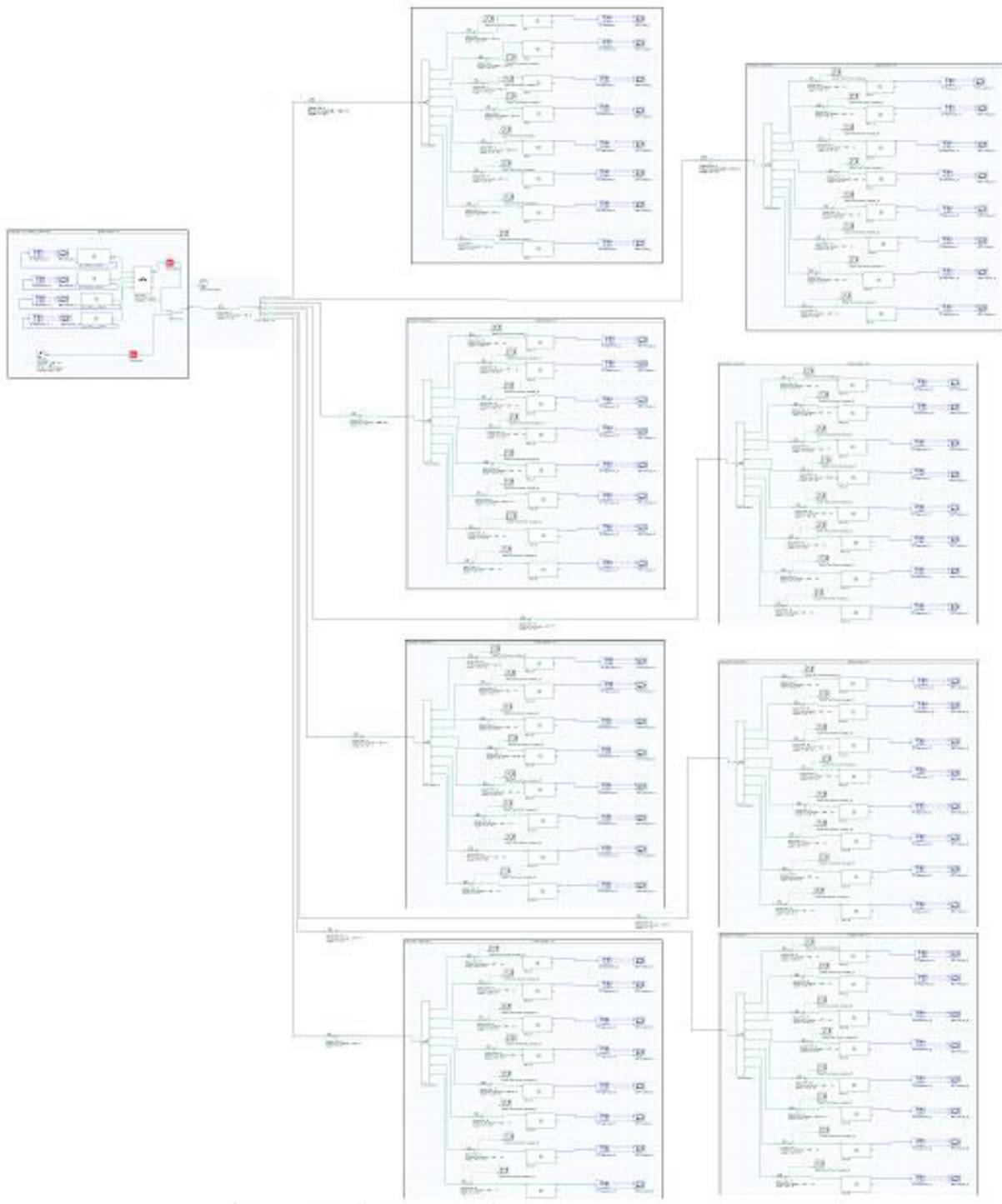


Figura 56-5: Diagrama general de red GPON y NGPON2
Fuente: Simulado en OPTISYSTEM por Carlos Cando

5.2 Elaboración de una guía de implementación de NGPON2

La elaboración de la guía de implementación de NGPON2, se basa fundamentalmente en una guía de implementación en base a diseño; así se tiene:

5.2.1 Consideraciones iniciales

Las consideraciones iniciales son planteadas para el siguiente caso:

Área de cobertura hasta 40 km

Requerimiento de ancho de banda de 20Gbps

Se cuenta con 64 ONTS

Se presenta dos niveles de spliteo de 8:1

Distancias consideradas en el diseño e implementación de NGPON.

5.2.2 Criterios generales de diseño

- **Diagrama lógico general de la red de acceso.** - El diagrama lógico de la red NGPON2 (Figura 46-4) está formado por un diagrama que indica tentativamente el sitio a cubrir con la finalidad de llegar a más usuarios y mayores distancias con esta tecnología (Cadena Bolaños, 2014, pág. 87).

5.2.3 Selección del tipo de fibra óptica, tendido y herrajes

- **Tipo de fibra óptica.** - El tipo de fibra óptica de NGPON2 está dado por la especificada en la recomendación G.989.2, donde se considera que se debe usar fibra óptica del tipo G.652 [18].
- **Tendido de la fibra óptica.** - Para el tendido de la fibra óptica, se tiene que considerar si amerita que sea tendido aéreo o tendido terrestre en partes donde las ordenanzas municipales así lo requieran, los mismos que deberían cumplir con las autorizaciones pertinentes (Cadena Bolaños, 2014, pág. 93).

5.2.4 Cálculo de la muestra de la población a servir

Es necesario realizar un cálculo de la muestra de la población a servir, con la finalidad de recolectar información para encontrar al mercado potencial. Una de las herramientas de investigación que se utiliza a la hora de obtener información de este tipo, son las encuestas por lo que será necesario realizar un modelo de encuesta de acuerdo al tipo de servicio a prestar, el

precio, etc.

5.2.5 Tabulación de encuestas y análisis de resultados.

Una vez realizadas las encuestas, es necesario tabularlas, con la finalidad de obtener información precisa del usuario potencial, en cuanto a precio, velocidad, tipo de servicio, de que, si tiene o no el servicio, si está interesado o no de algún servicio, y también sobre el lugar con la finalidad de llegar a estos posibles usuarios.

5.2.6 Estimación de la demanda

Luego de ejecutado el análisis de mercado, se puede realizar la estimación de la demanda potencial de algún servicio a prestar con la red NGPON2. Esto será de vital importancia en el diseño de la red, pues en base a esto se realizaría el tendido físico del mismo.

5.2.7 Proyección de la demanda

Si bien es cierto, con la estimación de la demanda se tendría ya en primera instancia la red a donde ubicar, es bueno también tener una proyección de demanda a futuro con la ayuda de algún método que permita proyectar la demanda encontrada, en base a Excel o alguna otra herramienta informática.

5.2.8 Dimensionamiento de la red NGPON2

El dimensionamiento de la red NGPON2, estará basado en varias situaciones, las más comunes son:

- Requerimientos en cuanto a tipo de servicios a utilizar (Ejemplo: Voz, datos, video, multimedia, juegos en línea, foros de discusión, etc.), se debe considerar la suma total del tráfico por usuario ya sea residencial, cooperativo e ISPs.
- El dimensionamiento también estará basado en el número de usuarios potenciales a servir y el tipo de usuarios.

Con estos antecedentes se calcula la capacidad total de bajada y de subida en nuestra red NGPON2.

5.2.9 Distribución de zonas

Una vez recopilado la ubicación de los usuarios potenciales y la proyección, se empieza a distribuir la red NGPON2 por zonas, de acuerdo a nuestros requerimientos.

5.2.10 Cálculo y distribución de los elementos de la red

Con la distribución de las zonas, se podría pensar ya en obtener un cálculo de los elementos de red necesarios para una primera fase, de acuerdo a los usuarios potenciales encontrados. Estos elementos son la OLT, número de cajas, cables de fibra óptica, splitters, entre otros, así como su ubicación y tendido exactos.

5.2.11 Presupuesto de potencia óptico para los casos críticos

Para calcular el presupuesto de potencia de nuestra propuesta de estudio investigativo se toman en cuenta los casos más críticos, estos corresponden al usuario más cercano con menos pérdida en la ODN y al usuario más lejano con mayores pérdidas en la ODN.

5.2.11.1 Pérdidas mínimas en la ODN usuario más cercano

Para el usuario más cercano las pérdidas en la ODN deben ser mínimas, siendo calculados según la Figura 57-5.

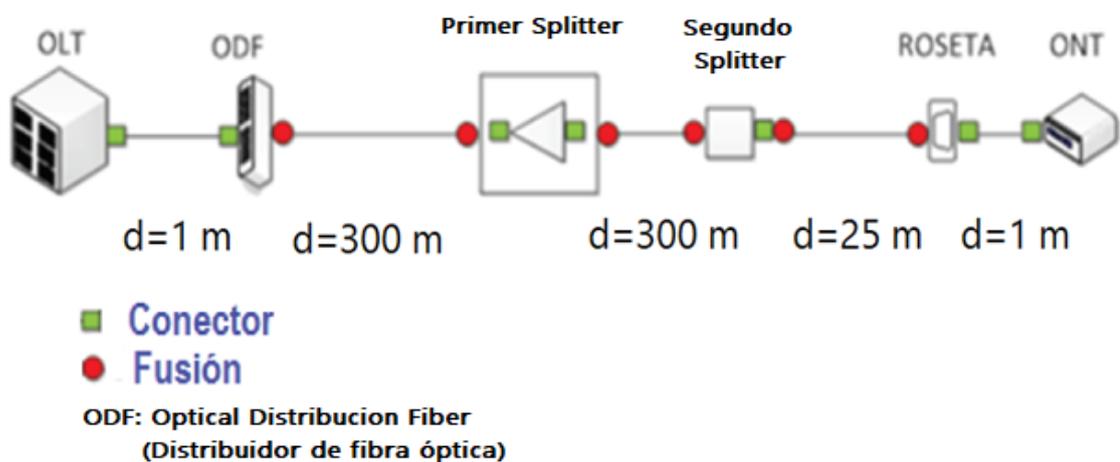


Figura 57-5: Usuario más cercano con pérdidas mínimas en la ODN NGPON2

Fuente: El autor

El coeficiente de atenuación máximo desde 1310 nm a 1625 nm es de 0,4dB/Km en la fibra óptica G.652D (Cadena Bolaños, 2014, pág. 92), sin embargo para NGPON2 en la longitud de trabajo está alrededor de 0,2 dB/Km (Jiménez, pág. 28). En la tabla 12 se observan las pérdidas totales del usuario más cercano.

Tabla 12-5: Presupuesto de potencia para el usuario más cercano

PÉRDIDAS MÍNIMAS DEL USUARIO MAS CERCANO PARA EL PRESUPUESTO OPTICO				
Elementos de la red de fibra óptica		Cantidad	Pérdida promedio del elemento (dB)	Pérdida Total (dB)
Conectores		7	0,5	3,5
Empalmes de fusión		6	0,1	0,6
Splíter	1x8	2	10,5	21
Fibra óptica G652.D a 1598		0,627 Km	0,20 dB/Km	0,1254
ATENUACIÓN TOTAL (dB)				25,2254

Fuente: Datos Obtenidos según el diseño e implementación de NGPON2 (Figura 56)
Realizado por: Carlos Cando

Según la Tabla 4-2, perteneciente a las pérdidas permitidas según la clase de ODN, para la Clase E2, no se puede tolerar pérdidas menores a 20 dB, de lo contrario saturaría al detector óptico.

5.2.11.2 Pérdidas máximas en la ODN usuario más lejano

Para el usuario más lejano las pérdidas en la ODN deben ser máximas, siendo calculados según la Figura 58-5:

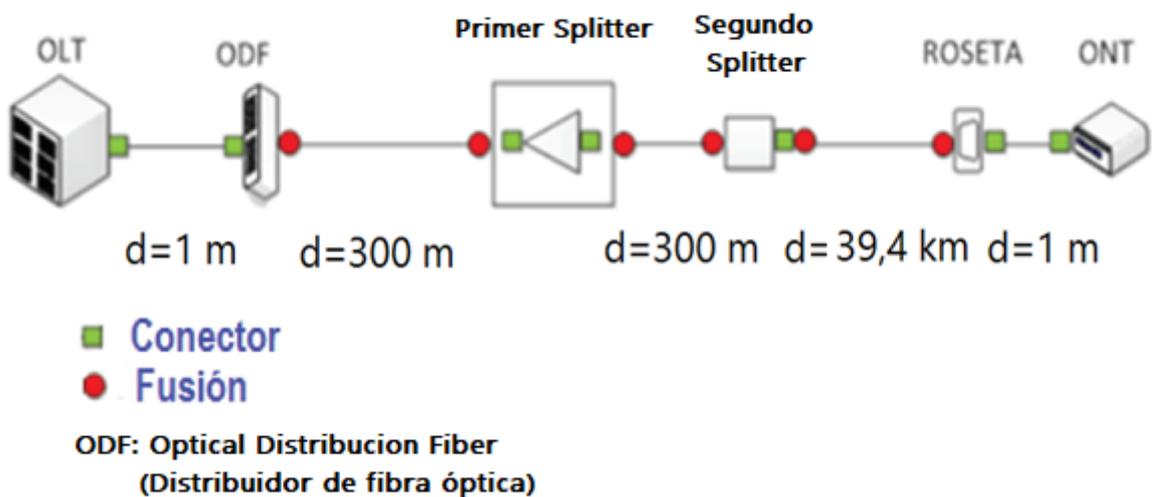


Figura 58-5: Usuario más lejano con pérdidas máximas en la ODN NGPON2
Fuente: El autor

Tabla 13-5: Presupuesto de potencia para el usuario más lejano

PÉRDIDAS MÁXIMAS DEL USUARIO MAS LEJANO PARA EL PRESUPUESTO ÓPTICO				
Elementos de la red de fibra óptica		Cantidad	Pérdida promedio del elemento (dB)	Pérdida Total (dB)
Conectores		7	0,5	3,5
Empalmes de fusión		6	0,1	0,6
Spliter	1x8	2	10,5	21
Fibra óptica G652.D a 1598		39,4 Km	0,20 dB/Km	7,88
ATENUACIÓN TOTAL (dB)				32,98

Fuente: Datos Obtenidos según el diseño e implementación de NGPON2 (Figura 56)

Realizado por: Carlos Cando

Según la Tabla 4-5, perteneciente a las pérdidas según la clase de ODN, para la clase E2 no puede tolerar pérdidas mayores a 35 dB, de lo contrario no se recuperaría la señal.

Tabla 14-5: Resultados obtenidos de GPON y NGPON2

	BER (bits)		Latencia(s)	
	Punto más cercano (0.625 Km)	Punto más lejano (20 Km)	Punto más cercano (0.625 Km)	Punto más lejano (20 Km)
GPON	$4.04524e^{-133}$	$5.745e^{-26}$	$5.375e^{-8}$	$5.375e^{-8}$
NGPON2	0	0	$5.375e^{-8}$	$5.375e^{-8}$

Fuente: Datos Obtenidos según el diseño e implementación de las Tablas 8-4 al 11-4

Realizado por: Carlos Cando

CONCLUSIONES

- De los resultados obtenidos se concluye que existen muy buenas oportunidades para implementar NGPON2 respecto a GPON llegando a sus usuarios residenciales y corporativos a una distancia de más de 20 Km (hasta 40 Km) con tasas de transmisión de hasta 40 Gbit/s por puerto, permitiendo en estas características implementar hasta 256 clientes que compartan dicha velocidad.
- El diseño de los escenarios GPON y NGPON2 fueron establecidos en base a las mismas características, en cuanto a número de dispositivos clientes (64 ONTs), un punto central (OLT), ONTs ubicadas a diferentes distancias del punto central OLT, misma velocidad (2488,32 Mbit/s) para que tenga la misma oportunidad de reflejar los parámetros bajo las mismas circunstancias.
- De los resultados obtenidos del diseño y la implementación se concluye que en estos escenarios se observa una mejora en la eficiencia de NGPON2 con un valor del **BER** de 0 respecto al valor del **BER** para GPON obtenido 5.745^{e-26} a los 20 Km, y por otro lado la latencia, presenta una medición similar constante para las dos tecnologías.
- Con los datos obtenidos del BER y latencia, se evaluaron los resultados en base a un método de realización de la hipótesis, denominado prueba de hipótesis. El método seleccionado para la realización de la hipótesis fue el método del valor p, que con la ayuda del sistema SPSS fue comprobada la hipótesis a favor de la Hipótesis alternativa H_i concluyendo que: “*La aplicación de NGPON2 mejora el desempeño de las redes pasivas FTTH con respecto al uso de GPON*”, y se rechazó la Hipótesis nula (H_0).
- De la propuesta de implementar un sistema NGPON2 que puede coexistir con tecnologías anteriores (GPON y XPON) como un sistema híbrido, se considera que se puede implementar como una opción de actualización sin problemas e incluso puede reemplazar totalmente las tecnologías anteriores como GPON y XGPON, ya que al trabajar con altas capacidades como 40 Gbit/s, es considerable una solución robusta incluso para prestar servicios a ISPs.

RECOMENDACIONES

- Los sistemas GPON de la actualidad, solo trabajan hasta 20 Km a velocidades de hasta 2.5 Gbit/s, por lo que es recomendable prestar mucha atención a NGPON2 y preparar el camino a su coexistencia disminuyendo el impacto de una migración total.
- Si bien es cierto se ha elegido como método de multiplexación a TWDM para NGPON2, existen estudios previos respecto como TDM-PON, WDM-PON y OFDM-PON los cuales se recomienda analizarlos y evaluar su eficiencia.
- Evaluar el desempeño de una NGPON2 utilizando otros parámetros tales como: tasa de paquetes usados y variación de retardos.
- Se recomienda continuar con esta investigación analizando en futuro casos reales.
- Se recomienda hacer uso del sistema de diseño GPON para el caso de NGPON2.

BIBLIOGRAFÍA

- ALTICELABS.** (2016). *The requirements, the deployment and coexistence scenarios and the NGPON2 optics*. Obtenido de http://www.alticelabs.com/content/02_NGPON.pdf
- Nesset, D.** (2015). *NG-PON2 Technology and Standards. IEEE*, 8.
- Toapanta, L. M.** (12 de 2018). *Análisis técnico comparativo entre LR-PON y XPON*. Quito.
- Gomez Bossano, M. S.** (11 de 2013). *Estudio y diseño de una red de acceso GPON para los servicios de telecomunicaciones triple play (voz, video y datos) en el sector oriental de la ciudad de Riobamba*. Riobamba, Chimborazo, Ecuador.
- Cadena Bolaños, G.** (11 de 2014). *Diseño de una red de Acceso para brindar servicios triple play con tecnología GPON en las cabeceras cantonales de Tulcán, Montúfar y Mira para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones CNT-EP*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Manjarres Altamirano, H. D.** (10 de 2017). *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*. Riobamba, Chimborazo.
- Velasquez Milcolta, J. C.** (09 de 2014). *Analysis of performances and tolerances of the second generation passive optical networks (NG-PON2) for FTTH systems*. Catalunya, España.
- Ngah, N. A.** (2018). *Demonstration of XGS-PON and GPON Co-Existing in the Same Passive Optical Network*.
- Osorio, A.** (2016). *Redes GPON-FTTH, Evolución y puntos críticos para su despliegue en Argentina*. Argentina.
- UIT-T.** (03 de 2008). *G.984.1. Obtenido de Opticas Pasivas con Capacidad de Gigabit: Características Generales*: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1-200803-I/es>
- UIT-T.** (03 de 2003). *G.984.2. Obtenido de Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabit: Especificación de la capa dependiente de medios*: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200303-I/es>
- UIT-T.** (01 de 2014). *G.984.3. Obtenido de Gigabit-capable passive optical networks: Transmission convergence layer*: [https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401 - I/es](https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3-201401-I/es)
- UIT-T.** (02 de 2008). *G.984.4. Obtenido de GPON: ONT management and control*: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.4-200802-I/es>
- Green, P. E.** (2006). *FIBER TO THE HOME The new empowerment*. New Jersey: Willey Interscience.
- UIT-T.** (03 de 2013). *G.989.1. Obtenido de 40-Gigabit-capable passive optical networks (NGPON2)*: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.1-201303-I/es>
- Escola, H. F.** (2018). *Estudio de factibilidad para la implementación de un laboratorio de*

Comunicaciones ópticas en la facultad de ingeniería eléctrica y electrónica de la Escuela Politécnica Nacional. Quito.

- Ahmed Elaydi, M.** (2014). *Next Generation Pasival Optical Network Stage two NGPON2 UIT-T.* (02 de 2019). G.989.2. *Obtenido de 40-Gigabit-capable passive optical networks 2(NGPON2): Physical media dependent (PMD) layer specification:* <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.989.2-201902-I/es>
- TRIOLA, M. F.** (2009). *ESTADÍSTICA* (Décima ed.). México: Addison Wesley.
- Farizi, N. R.** (03 de 2017). *International Journal on Electrical Engineering and Informatics.* *Obtenido de* <http://www.ijeei.org/docs-1144215208590316b13cb1d.pdf>
- IEEE.** (2017). *Versatile customers, do we have FTTH solutions?* *Obtenido de* <https://ieeexplore.ieee.org/document/6964208/>
- Reyes, I. D.** (11 de 2016). *¿Que tecnica uso según mi matriz? 1º parte, spss, universidad de Sevilla.* *Obtenido de* https://www.youtube.com/watch?v=rN0-_mGHb7Q
- Álvarez, M., Berrocal, J., González, F., Pérez, R., Román, I., & Vásquez, E.** (2009). *Tecnologías de Banda Ancha y Convergencia de Redes.* Madrid.
- Jiménez, M. S.** (s.f.). *Comunicaciones Ópticas.* Escuela Politecnica Nacional
- Padilla, J., & Avila, A.** (08 de 2018). *Análisis comparativo entre los Amplificadores Opticos EDFA, RAMAN y SOA mediante Simulación.*