



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES

“DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA ITU G987.X PARA LA PARROQUIA DE ZAMBIZA EN LA CIUDAD DE QUITO”

Trabajo de titulación

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTORA: LIZBETH GABRIELA ACHIG MORALES

DIRECTOR: Ing. MSc. OSWALDO GEOVANNY MARTÍNEZ GUASHIMA

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Lizbeth Gabriela Achig Morales

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

Yo, Lizbeth Gabriela Achig Morales, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo
Riobamba, 10 de septiembre de 2021.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Lizbeth Achig Morales', with a stylized flourish underneath.

Lizbeth Gabriela Achig Morales

172231850-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y
REDES

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación; tipo: Proyecto de Investigación, “**DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO CON TECNOLOGÍA ITU G987.X PARA LA PARROQUIA DE ZAMBIZA EN LA CIUDAD DE QUITO**”, realizado por la señorita **LIZBETH GABRIELA ACHIG MORALES**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. PhD. Pedro Severo Infante Moreira PRESIDENTE DE TRIBUNAL	_____	10 / 09 / 2021 _____
Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	_____	10 / 09 / 2021 _____
Ing. Jorge Vicente Yuquilema Illapa MIEMBRO DEL TRIBUNAL	_____	10 / 09 / 2021 _____

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres y a mi familia por creer siempre en mí, por apoyarme, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su amor, gracias a ello he conseguido llegar hasta donde estoy, también le dedico a la memoria de mi Abuelito Gonzalo Achig Tipan que desde el cielo me acompaña con sus bendiciones. A mis amigos, por su apoyo a lo largo de mi formación profesional.

Lizbeth

AGRADECIMIENTO

Mi gratitud, principalmente está dirigida al Dios Todopoderoso por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de mi carrera. A todas y todos quienes de una u otra forma han colocado con un grano de arena para el logro de este Trabajo de Grado, agradezco su valiosa colaboración y paciencia para culminar con éxito esta etapa de mi vida.

Lizbeth

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL	5
1.1 Cable de cobre	5
1.2 Cable de fibra	6
1.2.1 Componentes de la fibra óptica	6
1.2.1.1 Núcleo (Core).....	7
1.2.1.2 Revestimiento (Cladding).....	7
1.2.1.3 Recubrimiento (Coating).....	7
1.2.2 Modos de propagación	7
1.2.2.1 Multimodo	7
1.2.2.2 Monomodo.	8
1.2.3 Normas técnicas de fibra óptica.....	8
1.2.4 Tipos de cables de fibra óptica	9
1.2.4.1 Estructura de cables de fibra óptica	9
1.2.4.2 Cables para tendido aéreo	9
1.2.5 Empalmes de fibra.....	10
1.2.5.1 Empalmes mecánicos	10

1.2.5.2	<i>Empalmes por fusión</i>	11
1.2.6	Conectores Ópticos	11
1.2.7	Factores que afectan las comunicaciones ópticas	11
1.2.7.1	<i>Atenuación</i>	12
1.2.7.2	<i>Dispersión</i>	12
1.2.7.3	<i>Absorción</i>	13
1.2.7.4	<i>Scattering</i>	13
1.2.7.5	<i>Curvatura</i>	13
1.3	Redes Ópticas De Acceso	14
1.3.1	FTTx (Fiber – To - The x)	14
1.3.1.1	<i>FTTH (Fiber To The Home)</i>	15
1.3.1.2	<i>FTTC (Fiber To The Curb)</i>	15
1.3.1.3	<i>FTTB (Fiber To The Building)</i>	15
1.3.1.4	<i>FTTN (Fiber To The Node)</i>	15
1.4	Red Óptica Pasiva (PON)	15
1.4.1	Estructura y Funcionamiento de una red PON	15
1.4.1.1	<i>OLT</i>	16
1.4.1.2	<i>ODN</i>	16
1.4.1.3	<i>ONT</i>	17
1.5	Estándares PON	17
1.5.1	<i>APON</i>	18
1.5.2	<i>BPON</i>	18
1.5.3	<i>EPON</i>	18
1.5.4	<i>GPON</i>	18
1.5.5	XG-PON (10-GPON)	21
1.5.5.1	<i>G.987.1 Requerimientos Generales</i>	21
1.5.5.2	<i>G.987.2 Especificaciones de la capa PMD</i>	25
1.5.5.3	<i>G.987.3: Especificaciones de la capa TC</i>	27
1.5.5.4	<i>G.987.4: Extensiones de Red</i>	27

1.5.6	<i>Comparación de los estándares G-PON y XG-PON</i>	28
1.6	Servicios Triple Play	28
1.6.1	<i>Voz</i>	28
1.6.2	<i>Internet</i>	29
1.6.3	<i>Televisión</i>	29
1.7	Software Optisystem	29

CAPITULO II

2.	MARCO METODOLÓGICO	31
2.1	Metodología de la investigación	31
2.1.1	<i>Tipos de investigación</i>	31
2.1.1.1	<i>Investigación Bibliográfica</i>	31
2.1.1.2	<i>Investigación de campo</i>	31
2.2	Requerimientos del diseño	31
2.2.1	<i>Descripción de la parroquia Zámbriza</i>	32
2.2.2	<i>Recopilación de información por encuestas</i>	33
2.2.2.1	<i>Tamaño de la muestra poblacional</i>	33
2.2.2.2	<i>Análisis de los resultados de la encuesta</i>	34
2.2.3	<i>Selección del tipo de arquitectura de la red</i>	43
2.2.4	<i>Selección de la topología de la Red</i>	43
2.2.4.1	<i>Topología lógica</i>	43
2.2.4.2	<i>Topología física</i>	43
2.2.5	<i>Selección de materiales y equipos</i>	46
2.2.5.1	<i>OLT</i>	46
2.2.5.2	<i>ONTs</i>	47
2.2.5.3	<i>ODF</i>	48
2.2.5.4	<i>Fibra óptica</i>	49
2.2.6	<i>Ubicación geográfica de equipos</i>	51

2.2.6.1	<i>Distribuidor de Fibra Óptica (ODF)</i>	51
2.2.6.2	<i>Diseño de la Red de distribución</i>	55
2.2.7	<i>Determinación de ancho de banda</i>	60
2.3	Presupuesto referencial	61
2.4	Presupuesto óptico	63
2.4.1	<i>Cálculo de atenuación</i>	63
2.4.1.1	<i>Usuario más cercano de la Zona 1</i>	64
2.4.1.2	<i>Usuario más lejano de la Zona 1</i>	64
2.4.1.3	<i>Usuario más cercano de la Zona 2</i>	65
2.4.1.4	<i>Usuario más lejano de la Zona 2</i>	65
2.4.2	Balance óptico de potencia	66
2.4.2.1	<i>Cálculo del balance de potencia del usuario más cercano Zona 1</i>	66
2.4.2.2	<i>Cálculo del balance de potencia del usuario más lejano Zona 1</i>	67
2.4.2.3	<i>Cálculo del balance de potencia del usuario más cercano Zona 2</i>	67
2.4.2.4	<i>Cálculo del balance de potencia del usuario más lejano Zona 2</i>	67

CAPITULO III

3.	RESULTADOS	68
3.1	Simulación de la red	68
3.2	Desarrollo de la simulación	68
3.2.1	<i>Descripción de la OLT</i>	68
3.2.2	<i>Descripción de la ODN</i>	69
3.2.3	<i>Descripción de la ONU</i>	70
3.3	Resultados de la simulación	71
3.3.1	<i>Potencia para la Zona 1</i>	71
3.3.1.1	<i>Potencia a la salida de la OLT</i>	72
3.3.1.2	<i>Potencia recibida por la ONU del usuario más cercana</i>	72
3.3.1.3	<i>Potencia recibida por la ONU del usuario más lejano</i>	72

3.3.2	<i>Potencia para la Zona 2</i>	73
3.3.2.1	<i>Potencia a la salida de la OLT</i>	73
3.3.2.2	<i>Potencia recibida por la ONU del usuario más cercana</i>	73
3.3.2.3	<i>Potencia recibida por la ONU del usuario más lejano</i>	74
3.4	Señales de transmisión	74
3.4.1	<i>Señales de transmisión en la Zona 1</i>	74
3.4.2	<i>Señales de transmisión en la Zona 2</i>	78
3.5	Factor Q y BER (Bit error ratio)	80
3.6	Diagrama de ojo	82
	CONCLUSIONES	86
	RECOMENDACIONES	88
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Crecimiento Poblacional en la parroquia Zámbriza.	33
Tabla 2-2:	Servicio de conexión a internet	34
Tabla 3-2:	Tipo de servicios en el hogar.....	35
Tabla 4-2:	Rango de valores de pago por servicios	36
Tabla 5-2:	Grado de satisfacción del servicio.....	37
Tabla 6-2:	Número de dispositivos conectados	38
Tabla 7-2:	Frecuencia de quejas con los servicios.....	39
Tabla 8-2:	Interés en incremento de velocidad.....	40
Tabla 9-2:	Interés en servicios Triple Play	41
Tabla 10-2:	Cambio a tecnologías más eficientes	42
Tabla 11-2:	Características técnicas del equipo OLT	46
Tabla 12-2:	Características técnicas del equipo ONT	47
Tabla 13-2:	Características de la bandeja ODF	48
Tabla 14-2:	Características de la fibra óptica	49
Tabla 15-2:	Características de atenuación de los Splitter	50
Tabla 16-2:	Cajas Nap	50
Tabla 17-2:	Simbología de redes FTTH.....	51
Tabla 18-2:	Capacidad de servicio	61
Tabla 19-2:	Presupuesto referencial	62
Tabla 20-2:	Valores de atenuación de la red XG-PON	63
Tabla 1-3:	Presupuesto de potencias para la Zona 1	71
Tabla 2-3:	Presupuesto de potencias para la Zona 2.....	73
Tabla 3-3:	Valores de factor Q y BER de la red.....	81
Tabla 4-3:	Diagramas de ojo de la red.....	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1.	Tipos de conectores.....	6
Figura 2-1.	Estructura del cable de Fibra Óptica	7
Figura 3-1.	Arquitecturas de las Redes FTTx	14
Figura 4-1.	Componentes de una Red PON.....	16
Figura 5-1.	Arquitectura de red.....	19
Figura 6-1.	Arquitectura de red.....	22
Figura 1-2.	Mapa de la parroquia Zábiza.....	32
Figura 2-2.	Delimitación en planos de la parroquia Zábiza en AutoCAD.....	44
Figura 3-2.	Division en Zonas de la parroquia Zábiza.....	45
Figura 4-2.	Diagrama de la red	45
Figura 5-2.	Equipo OLT SmartAX MA5800-X2.....	46
Figura 6-2.	Equipo ONT HN8055Q FTTH	47
Figura 7-2.	Bandeja ODF.....	48
Figura 8-2.	Cableado de Fibra Óptica para tendido Aéreo	49
Figura 9-2.	Splitters	49
Figura 10-2.	Cajetines para fusión.....	50
Figura 11-2.	Nomenclatura de cable de fibra óptica.	52
Figura 12-2.	Ubicación geográfica de la OLT.....	52
Figura 13-2.	Ubicación y simbología de la OLT en el programa AutoCAD	53
Figura 14-2.	Sangrado y Mangas troncales MT01 de la Zona1	53
Figura 15-2.	Sangrado y Mangas troncales MT02 de la Zona1	54
Figura 16-2.	Sangrado y Mangas troncales MT01 la Zona 2	54
Figura 17-2.	Sangrado y Mangas troncales MT02 la Zona 2	55
Figura 18-2.	Ubicación de las mangas troncales MT en cada zona.	55
Figura 19-2.	Cajas de distribución ópticas para la MT01	56
Figura 20-2.	NAP más cercana a MT01	56

Figura 21-2.	Cajas de distribución ópticas para la MT02	57
Figura 22-2.	NAP más cercana a la MT02	57
Figura 23-2.	Cajas de distribución ópticas para la MT01	58
Figura 24-2.	NAP más cercana a la MT01	58
Figura 25-2.	Cajas de distribución ópticas para la MT02	59
Figura 26-2.	NAP más cercana a la MT02	59
Figura 27-2.	Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU Masivo/Casa	63
Figura 28-2.	Masivo/Casa Usuario más cercano Zona 1	64
Figura 29-2.	Masivo/Casa Usuario más lejano Zona 1	65
Figura 30-2.	Masivo/Casa Usuario más cercano Zona 2	65
Figura 31-2.	Masivo/Casa Usuario más lejano Zona 2	66
Figura 1-3.	Transmisores en OLT (terminación de la línea óptica).....	68
Figura 2-3.	Receptor OLT (terminación de la línea óptica).....	69
Figura 3-3.	ODN (Red de distribución óptica)	70
Figura 4-3.	Recepción ONU (Unidad de red óptica)	70
Figura 5-3.	Transmisión ONU	71
Figura 6-3.	Potencia de salida de la OLT	72
Figura 7-3.	Potencia recibida en la ONT más cercana.....	72
Figura 8-3.	Potencia recibida por la ONT más lejana.....	73
Figura 9-3.	Potencia de salida de la OLT	73
Figura 10-3.	Potencia recibida por la ONT más cercana.....	74
Figura 11-3.	Potencia recibida por la ONT más lejana	74
Figura 12-3.	Señales de transmisión de audio y datos.....	75
Figura 13-3.	Señales de transmisión de video.	75
Figura 14-3.	Espectro de la señal de salida de la OLT	76
Figura 15-3.	Señales de audio y datos recibidos en la ONT del usuario más cercano	76
Figura 16-3.	Señales de audio y datos recibidos en la ONT del usuario más lejano.....	77
Figura 17-3.	Señales de video recibida en la ONT del usuario más cercano	77
Figura 18-3.	Señales de video recibida en la ONT del usuario más lejano	77

Figura 19-3.	Señal de salida de la ONT	78
Figura 20-3.	Señal recibida en la OLT	78
Figura 21-3.	Señales de audio y datos recibidos en la ONT del usuario más cercano	79
Figura 22-3.	Señales de audio y datos recibidos en la ONT del usuario más lejano.....	79
Figura 23-3.	Señales de video recibida en la ONT del usuario más cercano	79
Figura 24-3.	Señales de video recibida en la ONT del usuario más lejano	80
Figura 25-3.	Señal upstream recibida en la OLT	80
Figura 26-3.	Máximo factor Q y mínimo BER de usuario más cercano de la red	81
Figura 27-3.	Máximo factor Q y mínimo BER de usuario más lejano de la red	82
Figura 28-3.	Elemento del diagrama de ojo	82
Figura 29-3.	El peor diagrama de ojo de la red	83
Figura 30-3.	El mejor diagrama de ojo de la red.....	84

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2.	Porcentaje de tipo de servicio de conexión a internet.....	34
Gráfico 2-2.	Porcentaje de servicios contratados en los hogares	35
Gráfico 3-2.	Porcentaje de rango de valores de pago por servicios	36
Gráfico 4-2.	Porcentaje del grado de satisfacción de los servicios contratados	37
Gráfico 5-2.	Numero de dispositivos conectados a internet.....	38
Gráfico 6-2.	Frecuencia de quejas por fallas en el servicio.....	39
Gráfico 7-2.	Porcentaje de aceptación a incremento de velocidad.....	40
Gráfico 8-2.	Porcentaje de interés en servicios Triple Play	41
Gráfico 9-2.	Porcentaje de aceptación a la tecnología XG-PON	42

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A: Formato de encuesta

Anexo B: Planos de AutoCAD de los barrios del Distrito Metropolitano de Quito parroquia
Zambiza

Anexo C: Cotización de la empresa “Tu conectividad LKD”

Anexo D: Simulación de OLT, ODN y ONT para la Zona 1

Anexo E: Simulación de OLT, ODN y ONT para la Zona 2

RESUMEN

El objetivo de este estudio fue diseñar y simular una red de acceso con tecnología ITU G987.X para la parroquia de Zambiza en la ciudad de Quito, con la finalidad de mejorar los servicios de internet mediante un estudio de los fundamentos teóricos y las características de las redes de acceso, además de la evolución de las redes ópticas pasivas, enfocándose principalmente en el estudio del estándar G987.X (XG-PON). Para precisar la demanda potencial se aplicó una encuesta a los habitantes de la parroquia, tanto en el sector residencial como en el área comercial; con los resultados obtenidos se estimó y calculó la capacidad requerida para cubrir las necesidades de los abonados actuales y futuros de forma eficiente de la red. Además, se determinaron los equipos que cumplen con los parámetros técnicos para operar con la tecnología XG-PON, y a través de la realización de un plano se estableció una ubicación equitativa de los mismos; adicionalmente, se elaboró un presupuesto referencial de los costos de la implementación tecnológica. Finalmente, se realizó una simulación del esquema de la red mediante el software OptiSystem para comprobar el funcionamiento de los elementos pasivos de la red y la fibra óptica. Con los resultados conseguidos en los cálculos y en las simulaciones se logró comprobar el óptimo funcionamiento de la red y la calidad de la señal transmitida en la misma, por consiguiente, las gráficas de la simulación demuestran que la calidad de la señal del sistema de comunicaciones no va a sufrir degradaciones significativas que afecten al diseño planteado cuando existan cambios o crecimiento en la red. Se recomienda utilizar las publicaciones más actuales de las normativas ITU-T G987 ya que aún está en desarrollo, así como la revisión de las correcciones en estándares anteriores y los parámetros de compatibilidad.

Palabras clave: <TELECOMUNICACIONES>, <FIBRA ÓPTICA>, <TRANSMISIÓN DE VIDEO>, <TRANSMISIÓN DE VOZ>, <TRANSMISIÓN DE DATOS>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <SPLITTER(HARDWARE)>, <ZAMBIZA (PARROQUIA)>.

ABSTRACT

This study aimed to design and simulate an access network with ITU G987.X technology for Zambiza parish in Quito city to improve internet services through theoretical foundations and characteristics of access networks study and G987.X (XG-PON) standard passive optical networks' evolution study. First, the potential demand was determined by applying a survey to the parish inhabitants, both in residential and commercial areas. Then, based on the results obtained, the capacity required to cover the needs of the network's current efficiency and future subscribers was estimated and calculated. In addition, the equipment that meets the technical parameters to operate with the XG-PON technology was determined, and an equitable location was established by layout. Moreover, a referential budget was prepared for the technological implementation costs. Finally, a simulation of the network scheme was carried out using the OptiSystem software to check the operation of the passive elements of the network and the optical fiber. It was possible to verify the optimal functioning of the network and the quality of the signal transmitted in it based on the results obtained in the calculations and the simulations. Consequently, the simulation graphs show that the quality of the communication system signal will not suffer significant degradations that affect the proposed design when there are changes or growth in the network. It is recommended to use the ITU-T G987 most current publications regulations because they are still under development the same as the review of corrections in previous standards and the compatibility parameters.

Keywords: <TELECOMUNICATIONS>, <FIBER OPTIC>, <VIDEO BROADCAST>, <VOICE TRANSMISSION>, <DATA TRANSMISSION>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <SPLITTER (HARDWARE)>, <ZAMBIZA (PARISH)>.

INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES

GPON (Gigabit Passive Optical Network) es una tecnología de acceso a las telecomunicaciones que utiliza fibras ópticas para llegar a los usuarios. En la década de 1990, tanto los operadores como los proveedores comenzaron a considerar las redes ópticas pasivas como una solución interesante. Años más tarde, en 2003, el estándar GPON fue aprobado por ITU-T, que es la estandarización de red óptica pasiva (PON) más utilizada en la actualidad. (CALE, SALIHOVIC y IVEKOVIC, 2007, p. 2)

Las redes PON surgen y se ha vuelto una de las tecnologías más usadas actualmente por los proveedores de servicio, ya que logran simplificar la red a base de reducir los elementos activos y el cableado necesario, además puede ofrecer altas velocidades y una gran cantidad de usuarios por hilo de fibra. G-PON, es la red de acceso más efectiva y rentable para los proveedores de servicio, aunque ya existen avances en las nuevas redes como XG-PON, XGS-PON, NG-PON2 que ofrecen mayores velocidades y mayor capacidad de usuarios. (ITU-T G.984.1, 2003)

A nivel Nacional, la Corporación Nacional de Telecomunicaciones Entidad Pública (CNT E.P.) que es la empresa estatal de telefonía fija del Ecuador. Entre los servicios que presta la empresa se tiene telefonía fija local, regional e internacional, provisión de servicios de acceso a internet y desde el 2010 presta servicios móviles de telefonía celular. En la actualidad el número de clientes potenciales ha crecido significativamente en la Empresa y los servicios requeridos por estos se encuentran ligados al avance tecnológico. Actualmente, es difícil para la empresa brindar soluciones de voz, datos y video en varios aspectos. Por ejemplo, la infraestructura de la red de acceso y los medios de transmisión es diferente de la red ATM (modo de transferencia asíncrona), SDH (jerarquía digital síncrona), MPLS (Combinación multiprotocolo mediante etiquetas) y medios como el cobre, fibra óptica, microondas respectivamente, lo que dificulta tanto la gestión, sincronización e instalación de los recursos necesarios para satisfacer la creciente demanda Nacional. (GOMEZ y MOREJON, 2012)

A nivel local, Quito cuenta con fibra óptica gracias a la empresa CNT que han podido otorgar el servicio en varias zonas que no disponían, aunque claramente aún existen zonas sin disponibilidad de servicio, cabe mencionar que existentes varios estudios basados en el estándar GPON G984, como, por ejemplo, el “DISEÑO TÉCNICO DE LA RED DE ACCESO PARA LA EMPRESA ARCLAD S.A., MEDIANTE TECNOLOGÍAS FTTX (FIBER TO THE X), A TRAVÉS DE LA INFRAESTRUCTURA DE RED DE CNT E.P. Y CRITERIOS DE INSTALACIÓN” realizado por Carlos Javier Acosta Arias en 2012, (ACOSTA, 2012) el “DISEÑO DE UNA RED DE ACCESOS GPON EN LA ESPOCH PARA PROVEER SERVICIOS TRIPLE-PLAY (VOZ,

VIDEO Y DATOS)” realizado por Hipatia Teresa Ilbay Yupa en 2016, (ILBAY, 2015) la “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” realizado por Holguer David Manjarres Altamirano en 2017; (MANJARRES, 2017) por otro lado los estudios basados en el estándar XG-PON son limitados, existiendo dos a nivel de Ecuador, el primero realizado en 2013 por Andrea Carolina Villacís Valencia titulado “DISEÑO DE UN RED 10G-PON PARA EL BARRIO CARCELÉN ALTO 3D” (VILLACÍS, 2013) y el segundo, realizado en 2019 por Luis Fernando Pozo Sunta y Kevin Andrés Zurita Zurita titulado “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA RED DE ACCESO 10G-PON PARA EL SECTOR DE LA MARISCAL” (POZO y ZURITA, 2019), por lo que hay poca información acerca de la tecnología XG-PON en Ecuador.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿El realizar un correcto diseño y simulación de una red de acceso con tecnología ITU G987.X permitirá brindar mejores prestación para la parroquia de Zámbez en la ciudad de Quito?

SISTEMATIZACIÓN DEL PROBLEMA

- ¿El servicio de internet que existe actualmente es suficiente para cubrir las necesidades demandadas por los clientes?
- ¿La tecnología XG-PON es adecuada para brindar un mejor servicio de internet en la parroquia de Zámbez en la ciudad de Quito?
- ¿Al evaluar parámetros de calidad de la red de acceso permitirá brindar mejores servicios de conectividad?
- ¿Qué costo tendrá la implementación de una red XG-PON?

JUSTIFICACIÓN TEÓRICA

La gran demanda de servicios de telecomunicaciones de nueva generación requiere un gran ancho de banda y por consiguiente una alta tasa de transmisión, debido a que estos nuevos servicios integran diversas aplicaciones de tipo multimedia para el usuario final, algunos de estos son de nueva generación como la telefonía IP, televisión en alta definición, domótica, videoconferencias, juegos en la red, entre otros; en cuyo caso, para su implementación y despliegue la ITU-T ha desarrollado tecnologías de telecomunicaciones con redes PON que ofrecen las características de ancho de banda. (ITU-T G.984.1, 2003)

En la actualidad está muy extendido el uso de la fibra óptica para enlaces domésticos, partiendo de las redes con topología o arquitectura FTTH (Fibre To The Home o Fibra hasta la casa) para el acceso a Internet, basándose en acceso óptico pasivo como GPON las cuales maneja

velocidades a partir de 1,244 Gbps hasta 2,48 Gbps. (ITU-T, 2003) La evolución del estándar G-PON es XG-PON que permite llevar un gran ancho de banda al usuario final con su respectiva tasa de transferencia de datos de 10 Gbps de bajada y 2.5 Gbps de subida. Además, apoyándose en los anteriores estándares de la UIT, se permite reutilizar los componentes existentes de las redes heredadas de Fibra Óptica. (ITU-T G.987.3, 2014)

En base a estas ventajas el desarrollo de este caso de estudio pretende brindar una solución de comunicación en la parroquia de Zábiza perteneciente a ciudad de Quito cuyo escenario no ha sido considerado en la expansión de las tecnologías sobre fibra óptica, por lo que la aplicación de una nueva infraestructura puede mejorar el acceso a internet y sus servicios de forma eficiente.

JUSTIFICACIÓN APLICATIVA

En los últimos años el desarrollo tecnológico ha permitido que gran cantidad de servicios y aplicaciones sean ejecutadas de forma remota, es decir, a través de una conexión a internet; este avance ha impactado directamente sobre el ancho de banda necesario para satisfacer los paquetes tecnológicos, de forma que tecnologías como ADSL (línea digital de suscriptor asincrónica) que son usadas actualmente en gran parte de las redes de acceso fijo en CNT EP ya no sean lo suficientes para cubrir esas necesidad, ya que esta tecnología cuentan con dificultades técnicas para brindar mayor ancho de banda de acceso a internet, debido a que la red de cobre teóricamente cubre un ancho de banda máximo de 24 Mbps a una distancia menor a 500 metros (CNT, 2011), esto ha causado que se vea la necesidad de migrar paulatinamente la redes de acceso de cobre a redes FTTH que soportan un ancho de banda mayor, de hasta 10 Gbps y cubrir así la demanda actual y futura respecto a velocidad de conexión y calidad de servicio. (CONDE, QUEZADA y LABANDA, 2018)

La importancia de este estudio radica en la utilización del estándar ITU G987.X (XG-PON o 10GPON), con el cual se permite mejorar la comunicación, la velocidad de transmisión, el ancho de banda y disminuir las pérdidas de datos, además se toma en cuenta que aún no está implementado en esta zona alguna red de este tipo; como base para próximas modificaciones, se realizará el análisis de costo beneficio para la tecnología XG-PON, el diseño y la evaluación de la red se realizará mediante el software de simulación Optisystem para posteriormente realizar un análisis financiero y de viabilidad, tomando en cuenta el balance de potencia entre el usuario más cercano y el usuario más lejano del área de diseño. (ABDALLA, IDRUS y MOHAMMAD, 2013)

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseñar y simular una red de acceso con tecnología ITU G987.X para la parroquia de Zambiza en la ciudad de Quito

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analizar los parámetros técnicos de las normativas ITU G987.X para determinar sus prestaciones.
- Realizar un estudio de la demanda actual del servicio de internet en la parroquia de Zambiza de la ciudad de Quito.
- Diseñar y evaluar mediante software la infraestructura de una red de acceso utilizando el estándar ITU G987.X para la parroquia de Zambiza en la ciudad de Quito.
- Determinar los equipos necesarios de la red de acceso para proveer internet de calidad y los costos de implementación.

CAPITULO I

1. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

1.1 Cable de cobre

Es el más antiguo medio de comunicación de los medios guiados y su uso inicial se originó con el telégrafo. Sirve para transportar información analógica e información digital. Al ser constituidos por cobre, son susceptibles a las interferencias electromagnéticas. Sus desventajas más notables son; una gran atenuación, son costosos, de gran volumen, pesados, codiciados por delincuentes. (TOMASI, 2003, p. 526)

El cable de cobre tiene dos clasificaciones importantes: cable coaxial y cable de par trenzado.

- *Cable coaxial*: el cable de coaxial cuenta con un núcleo de cobre, rodeado por material dieléctrico, una malla de metal lo protegido para aislar de las interferencias electromagnéticas, que luego es cubierto por una protección externa, este tipo de cable es principalmente usado en redes telefónicas análogas y digitales, asimismo se sabe que actualmente se usan en conexiones de televisión por cable. (ZAMBRANO, 2017)
- *Par trenzado*: es parecido al cable telefónico, consta de 8 hilos, los cuales están trenzados de dos en dos, y son de fácil identificación debido a sus colores, el trenzado se usa para reducir la diafonía, el ruido y la interferencia eléctrica. (ZAMBRANO, 2017) La capacidad de transmisión dependerá de la categoría de cable que se esté empleando, por ejemplo, para transmisión digital según la norma 568A de la EIA/TIA (Electronic Industries Alliance / Telecommunications Industry Association) existen 10 categorías de cable. Las categorías 1, 2, 3 y 4 ya no son utilizados. Las categorías usadas actualmente son la 5, 5e, 6, 6e y 7. Las restantes 3 categorías son propuestas por EIA/TIA. (JARDON y LINARES, 2005, p. 47)

Además, por la forma de blindaje se subclasifican en:

- Unshielded Twisted Pair (UTP): se caracteriza por no tener apantallamiento
- Shielded Twisted Pair (STP): a diferencia del UTP este cable cuenta con apantallamiento individual y de cobre
- Screened Twisted Pair (ScTP): su blindaje cuenta con apantallamiento global
- Foiled Twisted Pair (FTP): su blindaje cuenta con apantallamiento de aluminio

En la Figura 1-1, se visualizan los tipos de conectores por su forma de blindaje.

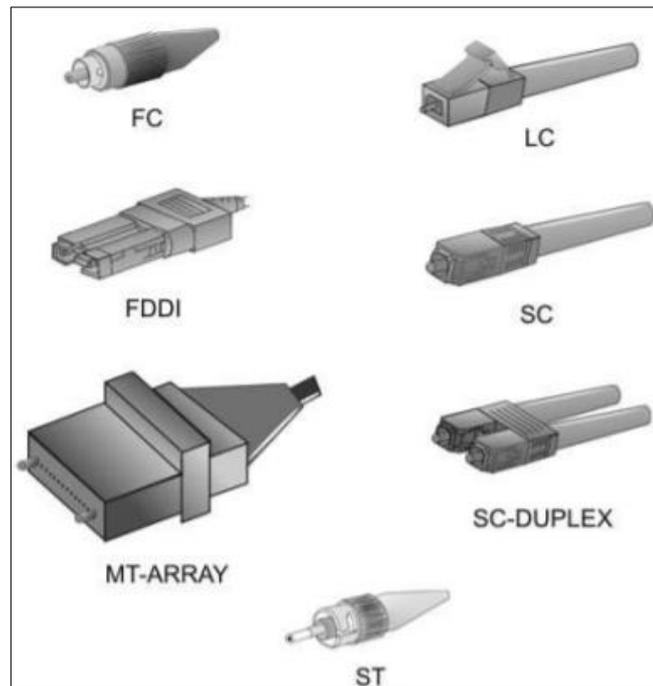


Figura 1-1. Tipos de conectores

Fuente: (VARGAS, 2014, p. 25)

La distancia de transmisión en este tipo de cable se encuentra entre 100m y 200m para datos digitales y analógicos respectivamente. (CASTRO Y FUSARIO, 1999, pag 435)

1.2 Cable de fibra

Medio dieléctrico transparente que permite el paso de la luz de un extremo a otro con mínimas pérdidas (OPTRAL, 2019). La fibra óptica se ha convertido en el medio de transmisión más utilizado en las redes de telecomunicaciones, esto debido a las características que posee como su gran capacidad de transmisión de información, es decir, cuenta con un mayor ancho de banda, también es inmunes a interferencias electromagnéticas lo que le otorga un mayor alcance, además es más seguros, más ligeros y flexibles a comparación de otros tipos de medio de transmisión como el cable de cobre. (ESPAÑA, 2005; TOMASI, 2003, p. 526)

Por su forma de instalación existen dos categorías: subterráneas o canalizadas y aéreas. Las fibras canalizadas tienen una protección especial anti-roedores.

1.2.1 Componentes de la fibra óptica

La fibra óptica está compuesta por: el núcleo (hilos), revestimiento (cladding) y recubrimiento (coating o buffer) como se muestra en la Figura 2-1.

1.2.1.1 Núcleo (Core)

El núcleo es el encargado de transmitir señales ópticas que llevan información y son provenientes de una fuente (luz), esta información llega al dispositivo de recepción, por medio de la reflexión interna que se genera, siendo así la parte interna y la más importante de la fibra óptica, además, posee un diámetro que va entre $8\mu\text{m}$, $9\mu\text{m}$ o $125\mu\text{m}$. Mientras mayor es el diámetro del núcleo, mayor será la cantidad de luz que la fibra óptica pueda transportar, es decir, que se puede transmitir una mayor cantidad de información. (ALULIMA y PALADINES, 2014)

1.2.1.2 Revestimiento (Cladding)

El revestimiento posee un índice de refracción mucho menor que la del núcleo, consiguiendo con esto actuar como una capa reflejante, es decir, consigue que las ondas de luz que traspasan el núcleo sean reflejadas y retenidas, siendo la parte intermedia que rodea y protege al núcleo añadiendo una capa de plástico para que el cable absorba los golpes y proteja al núcleo contra curvaturas excesivas. (ALULIMA y PALADINES, 2014; POZO y ZURITA, 2019)

1.2.1.3 Recubrimiento (Coating)

Parte externa de la fibra, protege las capas interiores de daños externos como: manipulación, medio ambiente, roedores y demás.

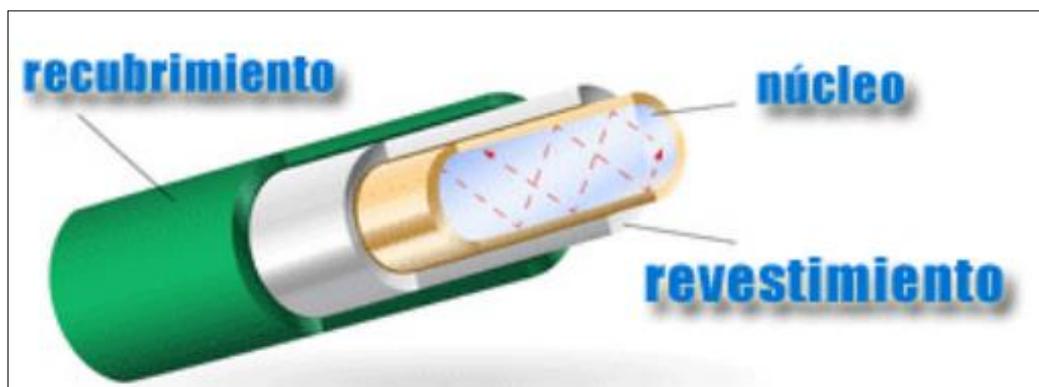


Figura 2-1. Estructura del cable de Fibra Óptica

Fuente: (ALULIMA y PALADINES, 2014)

1.2.2 Modos de propagación

La fibra óptica puede ser clasificada por su modo de propagación o con el diámetro del núcleo ya que están relacionados, de esta forma existe dos modos de propagación, multimodo y monomodo.

1.2.2.1 Multimodo

“La fibra óptica multimodo tiene un diámetro de núcleo entre $50\mu\text{m}$ a $140\mu\text{m}$, lo que permite una gran apertura en el cono de aceptación, facilitando el ingreso de varios haces de luz en diferentes

ángulos, de ahí su nombre multi (varios) modos”. (TENECORA, 2019) Los diámetros más usados de núcleo en la fibra multimodo es de 50µm o 62.5µm, esto hace que el acoplamiento de la luz sea muy sencillo, además tiene más de mil modos de propagación de luz, son simples de diseñar y muy económicos, lamentablemente solo puede ser usado en sistemas de corta distancia (menores a 1 km). (ILBAY, 2015)

El núcleo de una fibra multimodo en comparación con de la fibra monomodo contiene un índice de refracción mayor, aunque el orden de magnitud del revestimiento es el mismo.

1.2.2.2 Monomodo.

El núcleo de la fibra monomodo es de menor diámetro que el de multimodo, llegando a propagar un solo haz de luz en línea recta, esto se debe al pequeño tamaño del núcleo que esta entre los 8 µm a 10 µm, de tal manera que “es capaz de alcanzar mayor distancia y una tasas de transmisión más elevadas, asimismo elimina la atenuación por dispersión modal y disminuye el ruido, su desventaja es que tiene un mayor costo y es difícil de manipular”(ILBAY, 2015; ALULIMA y PALADINES, 2014).

1.2.3 Normas técnicas de fibra óptica

En la Tabla 1-1 se presentan las descripciones de los tipos de normativas establecidas por la ITU-T (Unión Internacional de Telecomunicaciones-Telecomunicaciones), cada una de las cuales trabaja a diferentes longitudes de ondas y tasas de transferencia variables.

Tabla 1-1: Tipos de normas técnicas de la Serie G enfocadas a la fibra ópticas

Normativa	Descripción
G651 (02/98)	“Características de un cable de fibra óptica multimodo de índice gradual de 50/125 µm”.
G652 (03/03)	“Características de las fibras y cables ópticos monomodo”.
G653 (10/00)	“Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada”.
G654 (06/02)	“Características de los cables de fibra óptica monomodo con corte desplazado”.
G655 (03/03)	“Características de los cables de fibra óptica monomodo con dispersión desplazada no nula”.
G656	“Características de una fibra y cable con una dispersión distinta de cero para el transporte ópticos de banda”.
G657	“Características de una cable y fibra óptica monomodo insensible a la perdida de flexión”.

Fuente: (ITU-T, 2004)

La Tabla 2-1 presenta los valores principales de las normativas mencionadas en la Tabla 1-1.

Tabla 2-1: Características técnicas de las normativas de fibra óptica

Normativa	Atenuación	Longitud de Onda	Diámetro de Revestimiento	Tipo de Propagación
ITU-T G651	0.3 dB/Km – 1.0 dB/Km	850/1310 nm	50/245µm	Multimodo
ITU-T G652	0.5 dB/Km	1310/1550 nm	8 a 10/125µm	Monomodo
ITU-T G653	0.35 dB/Km	1550 nm	7.8 a 8.5/125µm	Monomodo
ITU-T G654	0.22 dB/Km	1550 nm	9.5 a 10.5/125µm	Monomodo
ITU-T G655	0.4 dB/Km	1550/1625 nm	8 a 11/125µm	Monomodo
ITU-T G656	0.35 dB/Km	1550/1625 nm	7 a 11/125µm	Monomodo
ITU-T G657	0.4 dB/Km	1310/1550 nm	8 a 7/125µm	Monomodo

Fuente: (CRUZ, 2019)

1.2.4 Tipos de cables de fibra óptica

La determinación del tipo de cable de fibra óptica dependerá del tipo de red y del ambiente en que vaya a ser usado, esto debido a que los cables tienen diferentes estructuras como, por ejemplo, el cable de tipo subterráneos el cual cuenta con protección contra roedores, otros son los cables de tipo submarinos y por último los cables de tipo aéreos. (ZAMBRANO, 2017)

1.2.4.1 Estructura de cables de fibra óptica

Por su estructura los cables de fibra óptica son de dos tipos:

- *Cable de estructura de holgada o libre:* puede ser usados en instalaciones para el exterior e interiores, varios tubos de fibra lo conforman, cada uno con diámetro de entre dos a tres milímetros, estos tubos pueden encontrarse huecos o rellenos de un gel hidrófugo, esto para hacerlo resistente al agua. “Está rodeado por una cubierta protectora que rodea un miembro central de refuerzo y el tubo holgado aleja las fuerzas mecánicas exteriores de la fibra”. (OPEN UP, 2017; CRUZ, 2019)
- *Cable de estructura ajustada:* usado en instalaciones de interiores, las fibras cuentan con una protección secundaria, además, cada fibra lleva una protección de plástico extrusionado, con la cual se llega a un diámetro de 900 µm, también es más flexible, y tiene un radio de curvatura más pequeño que el del cable de estructura holgada. (OPEN UP, 2017)

1.2.4.2 Cables para tendido aéreo

Los cables de tendido aéreo son de tres tipos, los cuales se detallan a continuación:

- *Figure 8*

Este cable obtiene su nombre por su figura, incorpora un cable mensajero de hacer, el mismo que se encuentra a lo largo del cable, es fáciles de instalar se sujeta directamente al poste con un determinado tipo de herrajes, además tiene capacidad de 6 a 96 hilos, y su recubierta externa es fabricada de polietileno de alta resistencia. (OPTRONICS, 2020; ALULIMA y PALADINES, 2014)

- *Optical ground wire (OPGW)*

Las funciones que cumple este cable con conexión a tierra son las de encargarse de proteger los cables de transmisión de los rayos, de cortocircuito, y también proporciona la transmisión de señales de voz, vídeo o datos. Su estructura está formada por un tubo de acero que contiene en su interior varias fibras ópticas y están diseñados para proporcionar resistencia mecánicas, al mismo tiempo, soportar condiciones duras de instalación y operación, y logra comunicaciones a largas distancias de hasta 10km. (RODRÍGUEZ, 2012; VILLACÍS, 2013)

- *Cable Auto Soportado Completamente Dieléctrico (ADSS)*

Para aplicaciones aéreas en distancias cortas, medias y largas como, por ejemplo, carreteras, terrenos, cruce de ríos, montañas, entre otros. Ofrece una gran flexibilidad para la colocación en torres de transmisión aéreas, eliminando la necesidad de un mensajero de apoyo. El diseño de núcleo seco y capacidad de alta resistencia a la tensión adecuado para las condiciones ambientales y eléctricas más duras. Inmunes a interferencias, no es susceptible a la caída de rayos ya que no tiene alma metálica, por lo que es económico. (CRIOLLO, 2015; RODRÍGUEZ, 2012)

1.2.5 Empalmes de fibra

Técnica que se utiliza para unir dos fibras y aumentar el alcance de la red, puede ser mediante empalme mecánicos o por fusión. (JARDON y LINARES, 2005)

1.2.5.1 Empalmes mecánicos

“Alinean dos fibras desnudas de manera precisa y las asegura con elementos mecánicos cubiertos de epoxi o resina sintética”. (ZAMBRANO, 2017) Se utilizan en empalmes de fibra multimodo y para restauraciones temporales, así mismo este tipo de empalmes generan pérdidas de 0.1 dB a 0.8dB. (CRUZ, 2019)

1.2.5.2 Empalmes por fusión

Consiste en unir con precisión dos fibras de forma permanente por medio de un instrumento denominado fusionadora, es decir, se alinean dos fibras con precisión, sin coating y cortadas de forma recta. Además, este tipo de empalme poseen menor atenuación comparado con el mecánico, es alrededor de 0.1 dB. (CRUZ, 2019)

1.2.6 Conectores Ópticos

Los conectores permiten formar un enlace entre dos o más hilos de fibras óptica, dando una fácil conexión y desconexión para los dispositivos que interconectan. Los conectores pueden ser de varios tipos como. (ALULIMA y PALADINES, 2014)

- *Tipo ST*: establecido en el estándar TIA 604-2, es usado en redes de edificios y en sistemas de seguridad, diseñado con férulas que pueden ser plásticas, metálicas o cerámicas, ideales para pulidos en acabado PC, UPC o APC. (OPTRONICS, 2020; ALULIMA y PALADINES, 2014)
- *Tipo SC y SC-Duplex*: establecido en el estándar TIA 604-3, utilizados para la transmisión de datos, tipo broche, puede ser simple y dúplex. “El acoplador utiliza mangas de bronce para multimodo y de cerámica para monomodo”. (OPTRONICS, 2020; CRUZ, 2019)
- *Tipo FC*: establecido en el estándar 604-4-A, utilizados para la transmisión de datos, diseñados con férulas de cerámica de alta precisión, “cuenta con un mecanismo de fijación de tipo mecánico, por medio de rosca y guía de inserción”. (OPTRONICS, 2020)
- *Tipo LC*: establecido en el estándar 604-10-A, utilizados para transmisiones de alta densidad de datos, “diseñado con férula de 1.25mm y cuerpo de plástico resistente”. (CEVALLOS y CORONEL, 2014; OPTRONICS, 2020)

Todos los tipos de conectores están estandarizados por la IEC (International Electrotechnical Commission) y la TIA (Telecommunications Industry Association).

1.2.7 Factores que afectan las comunicaciones ópticas

Varios factores llegan a afectan a las comunicaciones ópticas, como son: la atenuación, dispersión, absorción, curvatura, etc.

1.2.7.1 Atenuación.

La atenuación en la fibra óptica es la disminución de amplitud de la señal debido a las pérdidas del medio e transmisión, por ello se determina relacionando las pérdidas de potencia en base a la potencia de entrada y salida, este decremento es expresado en decibeles (dB/km), los factores que generan atenuación son: la disipación de luz fuera del núcleo, los factores ambientales, empalmes, tipo fibra óptica y la longitud de onda de transmisión, siendo de 0.40 dB/Km a longitud de onda de 1310 nm, de 0.35 dB/Km a longitud de onda de 1490 nm y de 0.30 dB/Km a longitud de onda de 1550 nm. (SANGUÑA, 2010; ALULIMA y PALADINES, 2014)

1.2.7.2 Dispersión

“Es la propiedad física inherente de las fibras ópticas, que define el ancho de banda y la interferencia inter simbólica (ISI)”. (ILBAY, 2015)

La dispersión en la fibra es la deformación de los pulsos a medida que se propaga la señal a través de la fibra óptica, y en consecuencia la señal de luz se ensanchará en el tiempo afectando a la transmisión, es decir, que será inversamente proporcional al ancho de banda de la fibra en uso. (ACOSTA, 2012; ALULIMA y PALADINES, 2014)

- *Dispersión modal.*

La dispersión modal o dispersión Intermodal afecta únicamente a la fibra multimodo, debido a que la propagación multimodo usa pulsos de luz que en diferentes direcciones por la fibra, llegando a finalizar la propagación por el modo más rápido al más lento, esto a causa de la diferencia de tiempo que se genera y es por esto que se crea el ensanchamiento del pulso a su llegada. (ZAMBRANO, 2017)

- *Dispersión cromática.*

La dispersión cromática o dispersión Intramodal, es un fenómeno que afecta a la fibra monomodo y multimodo, consiste en el retardo espectral de un pulso óptico mientras se propaga, esto debido a que el espectro de luz varía en velocidad acorde a la longitud de la onda en la que trabaje. (ZAMBRANO, 2017) “En tramos largos de cable este fenómeno puede resultar en pulsos que se deforman de tal manera que se sobrelapan, causando la llamada interferencia inter- simbólica, en el receptor que ve incrementado la tasa de error”.(POZO y ZURITA, 2019)

Este fenómeno se produce por dos razones, por material y por guía de onda

- *Dispersión material:* esta dispersión se provoca por el número de longitudes de onda contenidos en un mismo pulso con diferente velocidad en cada longitud de onda del medio

dado, además también depende del índice de refracción del material del cable.(CRIOLLO, 2015; ACOSTA, 2012)

- *Dispersión de guía de onda:* esta dispersión se provoca cuando la diferencia entre los índices de refracción no son muy distantes entre el valor de índice del núcleo y del revestimiento.(ACOSTA, 2012)

1.2.7.3 Absorción

Las pérdidas por absorción son producidas por las impurezas del material de fabricación de la fibra óptica por lo que no pueden ser eliminadas, las pérdidas por absorción también pueden ser por iones, por absorción ultravioletas y por absorción infrarroja.(POZO y ZURITA, 2019)

1.2.7.4 Scattering

Las pérdidas por este fenómeno son provocadas por daños submicroscópicos generados en el momento de la fabricación de la fibra óptica, esto produce un cambio en el índice de refracción del núcleo, este cambio es el que produce pérdidas, debido a que, el haz de luz se dispersa en varias direcciones y forma varios haces de luz.(CRIOLLO, 2015; POZO y ZURITA, 2019)

- *Scattering de Mie:* se presenta cuando el diámetro de las irregularidades es de tamaño similar o mayor a la longitud de onda.
- *Scattering de Rayleigh:* se presenta cuando el diámetro de las irregularidades es mucho menor que la longitud de onda.

1.2.7.5 Curvatura

Las pérdidas por curvatura se dan cuando la fibra óptica es sometida a una curvatura inadecuada, esto suele presentarse a menudo en el momento de la instalación, las pérdidas dependerán del radio de curvatura.

- *Micro curvatura:* son producidas en la fabricación de la fibra óptica y “también ocurre por la variación de dimensiones del núcleo del cable provocado por los cambios de temperatura a la salida de la señal de luz del núcleo”.(ILBAY, 2015)
- *Macro curvaturas:* son las pérdidas provocadas cuando se sobrepasa el radio de curvatura crítico (>2mm de radio), son básicamente generadas en la instalación de la fibra óptica.(ILBAY, 2015)

1.3 Redes Ópticas De Acceso

“Una red óptica de acceso está formada por todos los elementos que conectan los dispositivos del usuario con los equipos terminales de transporte”.(VILLACÍS, 2013) La tecnologías de telecomunicación Fiber to the X por sus siglas en inglés (FTTx) o Fibra hacia X, donde la X representa a los distintos puntos terminales de la red de fibra, son las utilizadas para las implementaciones de redes ópticas de acceso.(ALULIMA y PALADINES, 2014)

Las redes ópticas pasivas (PON) permiten utilizar un enlace a varios usuarios al mismo tiempo, sin la necesidad de utilizar elementos activos, por lo que se denomina arquitecturas pasivas, (VILLACÍS, 2013) la Figura 2-1 muestra este tipo de arquitectura desde la Central Office (CO o Sala de equipos) de donde surge la señal de transmisión, la zona de división para los abonados hasta llegara a las Optical Network Terminal (ONTs) que son los receptores de los abonados. (ITU-T G.983.1, 2005, p. 6)

1.3.1 FTTx (Fiber – To - The x)

En la Figura 3-1 se representan las diferentes arquitecturas de red FTTx.

- FTTN (Fiber to the Node)
- FTTC (Fiber to the Curb)
- FTTB (Fiber to the Building)
- FTTH (Fiber to the Home)

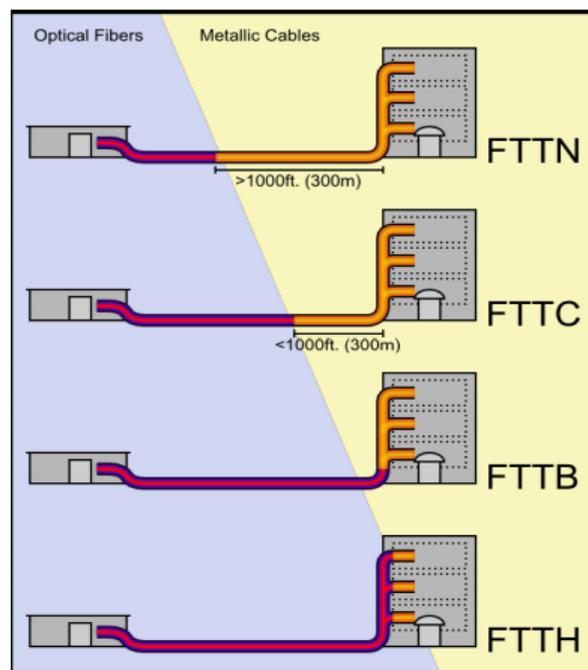


Figura 3-1. Arquitecturas de las Redes FTTx

Fuente: (CRIOLLO, 2015 pág. 11)

1.3.1.1 FTTH (Fiber To The Home)

En esta arquitectura la fibra llega hasta el hogar con un despliegue total, es decir, directamente desde la CO/OLT hasta el interior del domicilio u oficina del suscriptor/abonado, las recomendaciones de la ITU dictan una distancia de 20 km. (RUIZ, 2015)

1.3.1.2 FTTC (Fiber To The Curb)

En esta arquitectura se llega hasta la acera, la fibra es instalada en el exterior para un uso compartido, debido a eso el suscriptor puede estar ubicado aproximadamente a 300 metros máximo y desde ahí se reutilizan las red de cobre para ingresar al domicilio, por lo que es denominada como topología mixta. (ALULIMA y PALADINES, 2014; RUIZ, 2015)

1.3.1.3 FTTB (Fiber To The Building)

En esta arquitectura se llega con un punto de distribución dentro o fuera del edificio de los suscriptores, es una topología mixta, ya que para distribuirse por el edificio se usa el cableado estructurada existente. (RUIZ, 2015)

1.3.1.4 FTTN (Fiber To The Node)

En esta arquitectura la fibra óptica llega hasta el vecindario a un lugar más lejano que FTTC y FTTB, generalmente llegan hasta gabinetes o armarios ubicados en la calle, desde donde se distribuye por medio de tecnologías xDSL. (ACOSTA, 2012; RUIZ, 2015)

1.4 Red Óptica Pasiva (PON)

Las red ópticas pasivas PON (Passive Optical Network), eliminan los componentes activos existentes entre el proveedor de servicios y el cliente, y en su lugar usa componentes ópticos pasivos como los divisores ópticos pasivos o también llamados splitters, el mismo que es el encargado de separar y guiar el tráfico hacia los usuarios, además permite superar la distancia de cobertura de las operadoras actuales que utilizan las tecnologías xDSL consiguiendo supere su alcances de 5km a 20 km y con un máximo de hasta 60 km. (ALULIMA y PALADINES, 2014; VILLACÍS, 2013)

1.4.1 Estructura y Funcionamiento de una red PON

En la Figura 4-1 se representan los elementos principales que componen las redes PON

- OLT (Terminal de Línea Óptica)
- ODN (Red de Distribución Óptica)
- ONT (Terminal de Red Óptica)

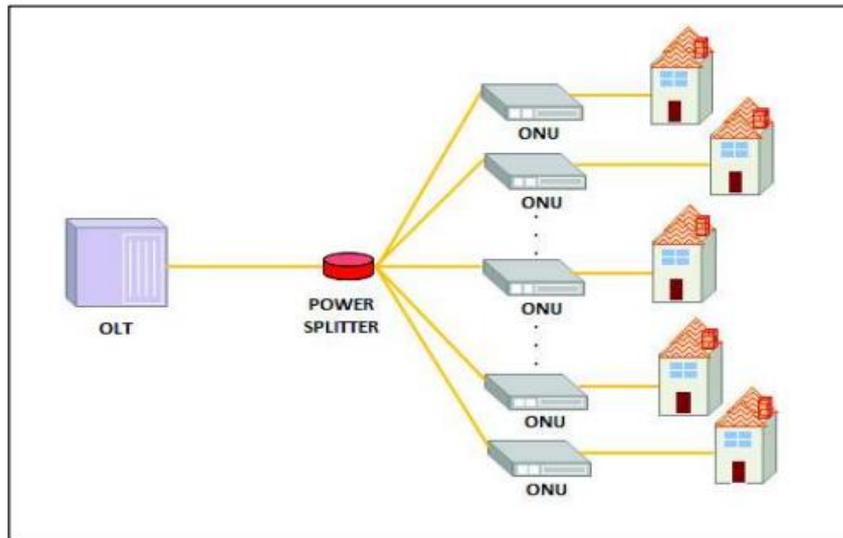


Figura 4-1. Componentes de una Red PON.

Fuente: (POZO y ZURITA, 2019, p. 6)

1.4.1.1 OLT

La OLT es un elemento activo y está ubicada en la oficina central del proveedor, su función principal es interconectar la red de acceso con la ODN, es la que se encarga de administrar, gestiona y sincronizar el tráfico ascendente (upstream) y descendente (downstream). (ITU-T G.983.1, 2005, p. 10)

1.4.1.2 ODN

La ODN está compuesta por todos los elementos pasivos que componen las redes PON.

- El ODF (Optical Distribution Frame)
- Cables de fibra óptica FEEDER
- Splitters primarios.
- Cables de fibra óptica de distribución.
- Splitters secundarios.
- Cables de acometida (DROP)
- Cajas terminales.
- Roseta terminal ópticas
- Patchcord de fibra entre la OLT y ODF.
- Patchcord de fibra entre roseta óptica y ONT.

La OLT y las ONTs son los únicos elementos activos y son los encargados de transmitir las señales ópticas a la ODN. (ITU-T G.983.1, 2005, p. 10)

- *Cable FEEDER o Troncal*

El cable Feeder es el cable, o grupo de cables que contienen los filamentos de fibra óptica con capacidades de 96, 144 y 288 hilos siendo su función principal la interconexión las salidas desde la OLT hasta la entrada al splitter de primer nivel. (SARANGO, 2015)

- *Cable DISTRIBUCIÓN*

Los cables de distribución tienen una capacidad de 6, 12, 24, 48, y 96 hilos y se va ramificando hasta llegar a interconectar el splitter de primer nivel y el splitter de segundo nivel. (QUISHPE y VINUEZA, 2010; SARANGO, 2015)

- *Splitters*

Los divisores o splitters se consideran pasivos por qué no requieren una fuente de energía externa salvo el haz de luz incidente. Dividen la señal óptica en varios caminos con mínimas pérdidas. En la Tabla 3-1 se muestran los valores de pérdidas de inserción para diversos modelos de splitters.

Tabla 3-1: Pérdidas por tipo de splitter

Tipo de Splitter	Atenuación (dB)
1:2	4,3
1:4	7,6
1:8	11,1
1:16	14,1
1:32	17,5
1:64	20,8

Fuente: (GARCÍA, 2012, p. 15)

1.4.1.3 ONT

La ONT está encargada de recibir el tráfico en un formato óptico y de decodificar los datos provenientes de la OLT de proveedor del servicio y convertirlo al formato deseado por el cliente. Los datos upstream y downstream se envían y reciben en diferentes longitudes de onda para evitar colisiones en la transmisión. (ALULIMA y PALADINES, 2014; RUIZ, 2015)

1.5 Estándares PON

Existen diferentes maneras de implementar una red PON y dependerá principalmente de las tecnologías que se desee usar, a continuación, se describe la cronología de la familia xPON empezando por APON, BPON, GPON, EPON, GPON y XG-PON. (GARCÍA, 2012, p. 5)

1.5.1 APON

A-PON o ATM-PON (Redes Ópticas Pasivas ATM) está definida en el estándar de la ITU-T G.983 fue la primera red PON desarrollada por FSAN (Full Service Access Network), APON basa su transmisión en canal descendente en ráfagas de celdas ATM, con tasa simétrica de máxima de 155 Mbps, las mismas que se divide entre el número de ONTs conectadas. (ITU-T G.983.1, 2005; QUISHPE y VINUEZA, 2010)

1.5.2 BPON

Surgió como una mejora a las red APON para integrar y obtener acceso a más servicios y da soporte a otros estándares como Ethernet, distribución de video y multiplexación por longitud de onda (WDM) logrando así un mayor ancho de banda, entre otras mejoras, además define una arquitectura de forma asimétrica, con canal descendente de 622 Mbps y canal ascendente de 155 Mbps, que se suma a su arquitectura de tráfico simétrico donde el canal descendente y ascendente es de 622 Mbps. (QUISHPE y VINUEZA, 2010; ITU-T G.983.1, 2005)

1.5.3 EPON

Ethernet – PON es un sistema desarrollado por un grupo de estudio de la IEEE de Ethernet in the First Mile (EFM), es una extensión del estándar IEEE 802.3 ah., se caracteriza por aprovechar las la tecnología de fibra óptica y aplicarlas a Ethernet, sus principales ventajas son, la optimización del tráfico IP, la mejora en la seguridad y soportar mayores velocidades de transmisión de datos, además, por medio de sus tramas su tasa de transmisión tanto de subida como de bajada es de 1250 Mbps.(RADICELLI et al., 2019; ALULIMA y PALADINES, 2014)

1.5.4 GPON

Estandarizada por ITU-T G.984 como redes ópticas pasivas con capacidad de gigabit (GPON), su principal objetivo es ofrecer un ancho de banda mucho más alto que sus anteriores predecesoras, y lograr una mayor eficiencia para el transporte de servicios basados en IP, además G-PON es la primera tecnología PON que provee velocidades mayores a 1Gbps. Los detalles específicos de este tipo de red se encuentran en las siguientes recomendaciones ITU-T la G.984.1, G.984.2, G.984.3, G.984.4, G.984.5, G.984.6 y G.984.7.

- *ITU-T G984.1(características generales)*: “Describe las características generales de un sistema PON: su arquitectura, velocidades binarias, alcance, retardo de transferencia de la señal, velocidades de bit nominal, las políticas de seguridad y los nuevos servicios que soporta”.(ITU-T G.984.1, 2003) La Figura 5-1 muestra la arquitectura de red.

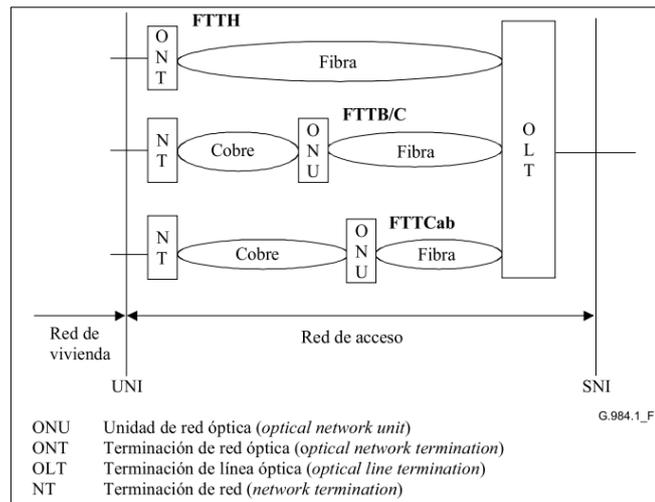


Figura 5-1. Arquitectura de red

Fuente: (ITU-T G.984.1, 2003)

- *ITU-T G984.2 (Capa física)*: “Describe los requisitos de la capa física y las especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos (PMN), además están los valores de los sistemas de tasas nominales en el puerto óptico de bajada de 1244.160 Mbps y 2.488Gbps, de subida 155.52 Mbps, 622.08 Mbps, 1244.160 Mbps y 2488.320 Mbps, y además se explica el manejo simétrico y asimétrico de la señal”. (ITU-T G.984.2, 2003)
- *ITU-T G984.3 (Transmisión)*: “Esta recomendación detalla las especificaciones de entramado de capa de convergencia de transmisión (GTC), mecanismo de acceso múltiple por división de tiempo, canal de mensajería de operación, administración y mantenimiento de la capa física (OAM), método de activación de la unidad de red óptica (ONU), corrección de errores y seguridad”.(ITU-T G.984.3, 2014)
- *ITU-T G984.4 (Interfaz de control y gestión (OMCI))*: “Especificación el canal, el protocolo y los mensajes detallados de gestión y control de la ONT y principalmente se basa en la interfaz de control y gestión (OMCI) de la terminación de red óptica (ONT), también revisa (GEM) el método de encapsulación para GPON en la capa de adaptación”.(ITU-T G.984.4, 2004)
- *ITU-T G984.5 (WDM)*: “Ampliación de bandas WDM, Define rangos de longitud de onda, reservados para señales de servicio, donde se superpondrán mediante WDM en redes PON para maximizar el valor de las redes de distribución óptica (ODN)”.(ITU-T G.984.5, 2007) La Tabla 4-1 indica los parámetros de asignación de longitudes de onda.

Tabla 4-1: Parameters for wavelength allocation Items

Items	Notation	Unit	Nominal value	Application examples
1.3 μm wavelength band				For use in G-PON upstream
Regular wavelength band option Lower				e.g., ONUs based on Fabry-Perot lasers.
Lower limit	λ_1	nm	1 260	
Upper limit	λ_2	nm	1 360	
Basic band				For use in G-PON downstream.
Lower limit		nm	1 480	
Upper limit		nm	1 500	
Enhancement band (option 2, see Note 1)				For next generation access (NGA). (See Note 4 and Note 5)
Lower limit	λ_5	nm	1 530	
Upper limit	λ_6	nm	1 580 to 1 625	
Enhancement band (option 3, see Note 1)				For video distribution service
Lower limit		nm	1 550	
Upper limit		nm	1 560	

Fuente: (ITU-T G.984.5, 2007)

- *ITU-T G984.6 e ITU-T G984.7*: GPON de largo alcance, están reservadas para tecnologías GPON más avanzadas.

En resumen, la recomendación especifica el uso de diferentes métodos de empaquetado como GEM, GPON proporciona una amplia gama de soporte de servicio, que incluye voz, Ethernet, ATM, líneas arrendadas, expansión inalámbrica, etc. GEM es un método para encapsular datos en GPON y permitir la transmisión de cualquier tipo de servicio basado en paquetes.

GPON está diseñado para velocidades de transmisión mayores o iguales a 622 Mbps, pero para FTTH o FTTC con línea de abonado digital asimétrica (xDSL), es posible que no se requiera alta velocidad en la dirección ascendente, así que GPON puede manejarse en las siguientes combinaciones de velocidades de transmisión:(ITU-T G.984.7, 2010)

- 155 Mbps ascendente y 1,2 Gbps descendente
- 622 Mbps ascendente y 1,2 Gbps descendente
- 1,2 Gbps ascendente y 1,2 Gbps descendente
- 155 Mbps ascendente y 2,4 Gbps descendente
- 622 Mbps ascendente y 2,4 Gbps descendente
- 1,25 Gbps ascendente y 2,4 Gbps descendente
- 2,4 Gbps ascendente y 2,4 Gbps descendentes

1.5.5 XG-PON (10-GPON)

XG-PON es un estándar para transmisiones de banda ancha la cual está diseñada para ofrecer velocidad de transmisión de hasta 10 Gbps a redes PON y sobre todas la de arquitectura FTTx, como principal objetivo tiene la coexistir entre redes GPON ya existentes (ITU-T G.987.1, 2010), además de fortalecer y mejorar los servicios de nueva generación como la televisión de alta definición (HDTV), televisión IP (IPTV), streaming, juegos en línea, entre otros, sin embargo esta tecnología es dirigida en mayor parte al desarrollo de servicios Triple Play.

El estándar G.987 se detalla en las siguientes recomendaciones de la ITU-T:

- *ITU-T G.987.1 (Características generales)*: “Especifica los requisitos generales de los sistemas de red óptica pasiva (XG-PON), orienta la capa física y la capa de convergencia de transmisión”.(ITU-T G.987.1, 2010)
- *ITU-T G.987.2 (PMD Physical Media Dependent)*: “Describe los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa dependiente de los medios físicos (PMD) XG-PON”.(ITU-T G.987.2, 2010)
- *ITU-T G.987.3 (Transmission Convergence TC)*: “Especifica la capa de convergencia de transmisión para sistemas de redes ópticas pasivas con capacidad de 10 gigabits”.(ITU-T G.987.3, 2014)
- *ITU-T G.987.4 (Extensiones)*: “Describe la arquitectura y los parámetros de interfaz para sistemas de red óptica pasiva (XG-PON) con alcance extendido que utilizan un dispositivo de extensión de alcance de capa física, como un amplificador óptico en el enlace de fibra entre la OLT y la ONU”.(ITU-T G.987.4, 2012)

1.5.5.1 G.987.1 Requerimientos Generales

“La recomendación cubre los requerimientos generales de sistemas 10G-PON motivando la elaboración de especificaciones para las capas PHY (Physical Layer, Capa Física) y TC (Transmission Convergence, Convergencia de transmisión), incluye también los requerimientos operacionales y del sistema para dar soporte a aplicaciones de negocios y residenciales”. (ITU-T G.987.1, 2010)

- *Arquitectura de la red óptica de acceso*

El estándar 10G-PON, puede ser aplicado sobre cualquier tipo de arquitectura para redes ópticas pasivas, por lo que puede ser punto a punto o punto a multipunto, en la Figura 6-1 se muestran las arquitecturas FTTH/Cell, FTTB / C y FTTCab. (ITU-T G.987.1, 2010, p. 3)

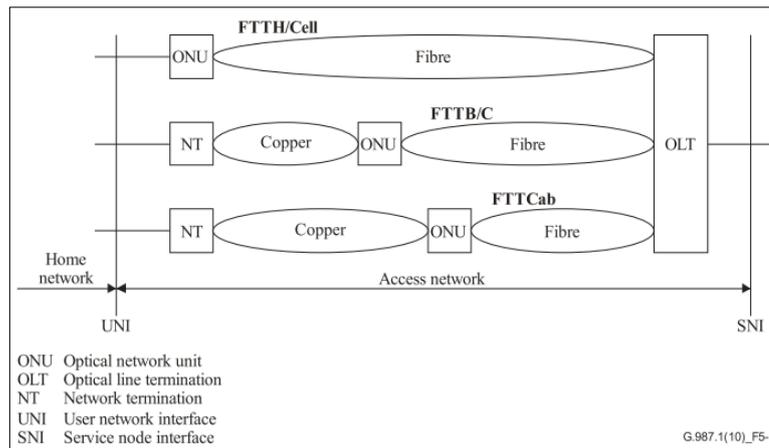


Figura 6-1. Arquitectura de red

Fuente: (ITU-T G.987.1, 2010, p. 4)

- *Longitudes de onda de G-PON y XG-PON*

Una de las características de la tecnología XG-PON es permitir la coexistencia con la tecnología G-PON existente, para esto es necesario que exista un adecuado uso de las diferentes bandas de frecuencia para XG-PON y G-PON, tanto en sentido ascendente como en descendente. (ITU-T G.987.1, 2010, p. 9) El rango de longitud de onda descendente en XG-PON1 es de 1575-1580, y el rango de señal ascendente es de 1260-1280 nm, además en la Tabla 5-1 se especifica la tolerancia a las señales de interferencia de las ONU XG-PON1 para permitir la coexistencia de XG-PON como G-PON y las revisiones adicionales como vídeo. (ITU-T G.987.1, 2010, p. 9)

Tabla 5-1: Parameters for wavelength allocation

Items	Notation	Unit	Nominal value	Application examples
XG-PON1 Upstream				For use in XG-PON1 upstream
Lower limit		nm	1 260	
Upper limit		nm	1 280	
Enhancement band (option 1)				For use in G-PON upstream (Reduced option: 1290-1330 nm)
Lower limit	λ_1	nm	1 290	
Upper limit		nm	1 330	
Enhancement band (option 2)				For future use.
Lower limit		nm	1 360	
Upper limit		nm	1 480	
Enhancement band (option 3, see Note 1)				For use in G-PON downstream (1480-1500 nm) and/or video distribution service (1550-1560 nm)
Lower limit		nm	1 480	
Upper limit		nm	1 560	
XG-PON downstream (Basic band)				For use in XG-PON1 downstream (Note 2)
Lower limit		nm	1 575	
Upper limit		nm	1 580	

Fuente: (ITU-T G.987.1, 2010, p. 10)

- *Estructura de capas para redes con tecnología NG-PON*

“En una red XG-PON el modelo de protocolo se divide en capa física, convergencia de transmisión (TC) y capas de ruta la misma que corresponde a la capa de encapsulación X-GEM, además la capa XTC se divide en dos subcapas, transmisión y adaptación PON”.(ITU-T G.987.1, 2010)

- Subcapa de transmisión PON: efectúa las funciones PON y termina las funciones de transmisión en la ODN.
- Subcapa de adaptación PON, es la que maneja varios tipos de datos.

- *Migración*

La coexistencia entre G-PON y XG-PON se da mediante las mejoras de las longitudes de onda especificadas en la G984.5, la migración entre las dos tecnologías deberá realizarse de manera imperceptible para el usuario final, es decir sin general interrupción en el servicio. Existen 2 tipos de escenarios en este proceso de migración

En el primer caso, se considera que los operadores de servicios usan una infraestructura de red G-PON y que uno o varios de sus usuarios necesitan mayor ancho de banda, por lo que solicitan migrar a XG-PON. En este caso, al hacer la transición de red G-PON a XG-PON, se debe evitar la interrupción del servicio a los otros usuarios que no necesitan el cambio, y se mantiene su ancho de banda.

Para el segundo caso, no existe infraestructura G-PON en la zona de trabajo, por lo que la construcción deberá ser completa con la tecnología XG-PON. Con este fin, XG-PON debe estar preparado para admitir múltiples servicios, que pueden estar en uso o no, o pueden implementarse en los próximos años.

- *Servicios soportados sobre redes NG-PON*

En la Tabla 6-1 se describen los principales servicios que pueden ser ofrecidos sobre redes NG-PON.

Tabla 6-1: Ejemplos de servicio de NG-PON

Servicios		Observación
Telefonía	VoIP	
	POTS	Retardo de recepción menor a 1,5 ms
TV (tiempo-real)	IPTV	Usa IP multidifusión / unidifusión
	Difusión de TV digital	Por superposición de video RF
Línea alquilada	T1	Tasa portadora 1,544 Mbit/s
	E1	Tasa portadora 2,048 Mbit/s
Acceso a Internet de alta velocidad		Gigabit Ethernet
Backhaul móvil		Sincronización precisa de frecuencia/fase/tiempo
Servicios VPN L2		como servicios Ethernet
Servicios IP		como L3 VPN y VoIP

Fuente: (ITU-T G.987.1, 2010)

- *Requerimientos de la capa física de 10G-PON*

Los requerimientos generales para la capa física según la normativa para redes NG-PON son:

- *Características de Fibra:* Fibra óptica monomodo, con características similares a GPON y están descritas en la ITU-T G.652 e G.657,
- *Longitudes de onda:* para upstream va desde 1260 a 1280 nm y para downstream 1575 a 1580 nm además de una extensión para exteriores de 1575 a 1581 nm,
- *Tasas de transferencia de bits:* se determinan dos conjuntos, el primero para XG-PON1 con 10 Gbps para bajada y 2.5 Gbps para subida, y el segundo XG-PON2 con 10 Gbps para bajada y subida, la velocidad en desarrollo y ejecución es la de XG-PON1,
- *Presupuesto de potencia óptica:* para la coexistencia entre GPON y XG-PON se establece un presupuesto óptico de clase B + es el requisito nominal, también se consideran las pérdidas adicionales por WDM por lo que se plantean dos clases de balance de potencia nominal, la primera a 29 dB y segunda a 31 dB, el valor de BER será de 1e-12,

- *Relación de division (splitter):* 1:64 es el requisito mínimo para que XG-PON permita la coexistencia con GPON, de manera lógica se puede admitir hasta 256 vías,
- *Distancia de fibra:* XG-PON1 tiene una máxima distancia de fibra de 20 km y en Capa TC una máxima de distancia lógica de 60 km. (ITU-T G.987.1, 2010)

1.5.5.2 G.987.2 Especificaciones de la capa PMD

“La Recomendación describe los requisitos y especificaciones de la capa física para la capa dependiente de los medios físicos de XG-PON, además describe una red de acceso de fibra óptica flexible capaz de soportar los requisitos de ancho de banda de los servicios comerciales y residenciales también define una velocidad de línea nominal asimétrica de 9,95328 Gbps en sentido descendente y 2,48832 Gbps en sentido ascendente para XG -PON1”. (ITU-T G.987.2, 2010)

- *Pérdida por trayectorias*

La Tabla 7-1 describe las clases y los valores de pérdidas mínima y máxima.

Tabla 7-1: Pérdidas en trayecto óptico

	Clase N1	Clase N2	Clase E1	Clase E2
Pérdida mínima	14 dB	16 dB	18 dB	20 dB
Pérdida máxima	29 dB	31 dB	33 dB	35 dB

Fuente: (ITU-T G.987.2, 2010)

- *Requerimientos de la red óptica*

Los valores descritos en los parámetros han considerado el peor del escenario en caso de simulación, haciendo que se cumpla con el rango de condiciones operativas estándar.

- *Velocidad de línea:* XG-PON1 con una velocidad de línea descendente de 9,95328 Gbps y ascendente de 2,48832 Gbps,
- *Metodología de transmisión* bidireccional, por medio de la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) sobre una sola fibra,
- *Codificación de línea:* NRZ (non return to zero),
- *Tipo de Fuente:* Láser SLM (Single-Longitudinal Mode). (ITU-T G.987.2, 2010)

Los parámetros de interfaces ópticos para dirección descendente y ascendente para los equipos OLT y ONT se describen en la Tabla 8-1 y Tabla 9-1 respectivamente.

Tabla 8-1: Parámetros OLT y ONT en dirección descendente 9.95328 Gbit/s

Ítem	Unit	Value					
OLT transmisor							
Tasa nominal de línea	Gbps	9.95328					
Longitud de onda	nm	1575 – 1580					
Código de línea		NRZ					
Clases ODN		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+4.0	+10.5	+6.0	+8.0	+14.5
Mean launched power MAX	dBm	+6.0	+8.0	+12.5	+10.0	+12.0	+16.5
Minimum extinction ratio	dB	8.2					
Transmitter tolerance to reflected optical power	dB	mayor a -15					
ONT receptor							
Maximum reflectance at R/S, measured at receiver	dBm	menor a -20					
Tasa de error de bit		10-3					
Clases ODN		N1	N2		E1	E2	
			N2a	N2b		E2a	E2b
Minimum sensitivity at BER reference level	dBm	-28.0	-28.0	-21.5	-28.0	-28.0	-21.5
Minimum overload at BER reference level	dBm	-8.0	-8.0	-3.5	-8.0	-8.0	-3.5
Receiver tolerance to reflected optical power (Note)		menor a 10					

Fuente: (ITU-T G.987.2, 2010)

Tabla 9-1: Parámetros ONT y OLT en dirección ascendente 2.48832 Gbit/s

Ítem	Unit	Value			
ONT transmisor					
Tasa nominal de línea	Gbit/s	2.48832			
Longitud de onda	nm	1260 – 1280			
Código de línea		NRZ			
Clases ODN		N1	N2	E1	E2
Mean launched power MIN	dBm	+2.0	+2.0	+2.0	+2.0
Mean launched power MAX	dBm	+7.0	+7.0	+7.0	+7.0
Minimum ORL of ODN at Oru and Ord (Notes)	dB	mayor a 32			
Transmitter tolerance to reflected optical power	dB	mayor a -15			
OLT receptor					
Maximum optical path penalty	dB	0.5			
Maximum reflectance at R/S, measured at receiver	dB	menor a -20			
Tasa de error de bit		10-4			
Clases ODN		N1	N2	E1	E2
Minimum sensitivity at BER reference level	dBm	-27.5	-29.5	-31.5	-33.5
Minimum overload at BER reference level	dBm	-7.0	-9.0	-11	-13
Receiver tolerance to reflected optical power (Note)	dB	menor a 10			

Fuente: (ITU-T G.987.2, 2010)

1.5.5.3 G.987.3: Especificaciones de la capa TC

Esta Recomendación describe la capa TC del sistema 10G-PON, especifica la estructura de la capa de convergencia (XGTC), la función de la subcapa del servicio de adaptación, el entramado, la PHY y los servicios de gestión integrados, la capa física OAM. (ITU-T G.987.3, 2014; VILLACÍS, 2013)

- *Capa XGTC*

“La capa XGTC es parte de la pila de protocolos XG-PON que especifica los formatos y procedimientos de mapeo entre unidades de datos de servicio de capa superior (SDU), por un lado, y flujos de bits adecuados para modular la portadora óptica, por otro lado”. (ITU-T G.987.3, 2014)

La capa XGTC está integrada por 3 subcapas

- *Subcapa de adaptación de servicio:* presente tanto en el terminal de línea óptica (OLT) como en el lado ONU de un sistema XG-PON,
- *Subcapa de entramado:* responsable de la construcción y el análisis de los campos generales que admiten la funcionalidad de gestión de PON necesaria.
- *Subcapa de adaptación PHY:* engloba las funciones que modifican el flujo de bits que modula el transmisor óptico con el objetivo de mejorar las propiedades de detección, recepción y delimitación de la señal transmitida por el medio óptico. (ITU-T G.987.3, 2014)

- *Administración de un sistema XG-PON*

El control, operación y administración de la información en un sistema XG-PON son desarrollados a través de tres canales: OAM, PLOAM y OMCI. (ITU-T G.987.3, 2014)

1.5.5.4 G.987.4: Extensiones de Red

En esta recomendación se hace referencia “a los sistemas de red óptica pasiva (XG-PON) con capacidad de 10 Gigabits con presupuestos de enlaces ópticos hasta los límites lógicos de la capa de convergencia de transmisión (TC). El aumento de la capacidad óptica, que incluye tanto el aumento de la longitud total de la fibra como el aumento de la relación de división general, se denomina en esta Recomendación "extensión del alcance"”. (ITU-T G.987.4, 2012) “Esta Recomendación considera la extensión de tramo medio, que utiliza un nodo de extensión activo ubicado en el medio de la red óptica. Se especifican los parámetros recomendados para la (s) red (es) de distribución óptica (s) ODN involucradas en este esquema. Los sistemas considerados aquí deben seguir siendo compatibles con las unidades de red óptica (ONU) existentes. Además, los

enfoques deben mantener la compatibilidad con los OLT existentes en la mayor medida posible”.
(ITU-T G.987.4, 2012)

1.5.6 Comparación de los estándares G-PON y XG-PON

Debido a las nuevas demandas constantes de ancho de banda del mercado los estándares G-PON y XG-PON han aumentado su participación en el mercado, ya que son compatible y se logra la migración de la red G-PON a la red 10G-PON o su coexistencia por lo que se perfilan como las tecnologías del futuro. En la Tabla 10-1 se detallan las principales diferencias entre las dos tecnologías.

Tabla 10-1: Principales características y diferencias entre G-PON y 10G-PON

Característica	G-PON	XG-PON
Fibras para transmisiones	2	1
Tasa máxima de transmisión downstream	2.4 Gbps	XG-PON1: 10 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Tasa máxima de transmisión upstream	2.4 Gbps	XG-PON1: 2.5 Gbps XG-PON2: 10 Gbps
Define subcapas	Subcapa de adaptación y entramada en la capa TC	<ul style="list-style-type: none"> • Subcapa de adaptación y entramada en la capa TC. • Subcapa PHY
Autenticación	Entre OLT y ONT a través del canal OMCI	<ul style="list-style-type: none"> • Entre OLT y ONT a través del canal OMCI • Entre OLT y ONT utilizando 802.x
Encriptación de datos	Algoritmo AES	<ul style="list-style-type: none"> • Algoritmo AES • Algoritmo CMAC

Fuente: (VILLACÍS, 2013 pág. 48)

1.6 Servicios Triple Play

Se conoce como Triple Play a los servicios de Voz, Datos (Internet) y Televisión a través de un mismo medio (fibra óptica) con el cual se consigue una mayor cantidad de información en tiempos menores.

1.6.1 Voz

La voz puede ser en servicio fijo transportada en tiempo real entre dos terminales, uno de origen y el otro como destino, que se conectan a una Red Telefónica Pública Conmutada (PSTN).

Voz sobre IP, “es un grupo de recursos que hacen posible que la señal de voz viaje a través de Internet empleando un protocolo IP”.(GOMEZ y MOREJON, 2012, p. 24) es decir, se envía la señal de voz en forma digital, en lugar de enviarla en forma analógica como en las redes PSTN.

1.6.2 Internet

El Internet hace referencia al sistema de información global que está enlazado lógicamente a un espacio global de direcciones únicas basadas en el Protocolo de Internet (IP), por lo que soporta la comunicación usando de protocolos TCP o UDP con los que provee, usa o da accesibilidad de manera pública o privada a diversos servicios. (TENECORA, 2019, p. 31)

1.6.3 Televisión

Existen canales nacionales, regionales y locales de señal abierta, además diversas empresas ofertan televisión por suscripción para entregar contenidos de televisión nacional e internacional.

- *Televisión por Cable (CATV)*, recibe transmisiones de televisión, hasta el domicilio de los abonados, y no requieren de equipos receptores, reproductores o antenas. Principalmente se usaban redes de cable coaxial para transmisión analógica, pero con la digitalización de las señales se usan las de redes con fibra óptica las cuales mejoran la calidad a alta definición, por lo que se requieren una capacidad mínima de 6 Mbps para ofrecer televisión por cable de alta definición. (GOMEZ y MOREJON, 2012, p. 25)
- *IPTV*, se da a través de Internet utilizando el protocolo IP para la transmisión y emisión de programas de televisión, es básicamente un sistema que permite al usuario acceder a contenidos bajo demanda y controlar su modo de reproducción.(ILBAY, 2015; GOMEZ y MOREJON, 2012)
- *Televisión Online*, está disponible en línea, utiliza el protocolo de transmisión de datos TCP/IP. “La Televisión por Internet hace que sea posible ver los mismos canales de televisión en un dispositivo conectado a Internet en lugar de cable, satélite, antena u otras tecnologías”. (ILBAY, 2015, p. 29)

1.7 Software Optisystem

Optisystem es un software de diseño potente e innovador, que permite a los usuarios planificar y simular casi todos los tipos de enlaces ópticos en varias líneas de transmisión de redes ópticas, como LAN, SAN, MAN de muy larga distancia. El software ofrece líneas de transmisión óptica en sistemas de comunicación, diseñados y planificados de componentes a nivel de sistema, y presenta visualmente análisis y escenarios.(RUIZ, 2015)

Tiene una gran base de datos tanto de componentes activos, así como de pasivos, incluyendo energía, longitud de onda, pérdida y otros parámetros relacionados. Los parámetros permiten al

usuario escanear y optimizar datos técnicos específicos del dispositivo en el rendimiento del sistema. (MANJARRES, 2017)

Las características principales del software son:

- Capacidad de diseño y simulación de redes ópticas
- Capacidad de simulación como: Mezcla de 4 longitudes de onda, modulación cruzada de fase y modulación de auto-fase

Las principales herramientas de análisis visual son:

- Q-factor (factor de calidad)
- Diagramas de constelación
- Analizador de espectro óptico.
- Analizador de diagrama de ojo.
- Analizador de tasa de error (BER)

CAPITULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

2.1 Metodología de la investigación

Se realizó con el objetivo de obtener información necesaria y determinar los aspectos importantes para el desarrollo del diseño de una red de acceso para la parroquia Zámbez.

2.1.1 Tipos de investigación

Para el presente trabajo se utilizaron dos tipos de investigación, la investigación bibliográfica y la investigación de campo.

2.1.1.1 Investigación Bibliográfica

Para el proyecto se requirió consultar contenidos de libros, normativas, artículos y proyectos de investigación, mismos que son considerados como fuentes de información confiables, el enfoque de la investigación se priorizó en sistemas y tecnologías de comunicación óptica, centrándose en la red de acceso y el estándar ITU G984 (G-PON) e ITU G987.x (XG-PON), posteriormente se sistematizó la información recolectada para ser seleccionada, clasificada y analizada, para poder ser utilizada como fuente de teórica, conceptual y metodológica en el diseño de la Red para la parroquia Zámbez.

2.1.1.2 Investigación de campo.

Para esta investigación se tuvo que acudir al lugar de investigación del proyecto, donde se procedió a obtener información de la red actual de la parroquia por medio de observación y encuestas, con la información recolectada y analizada se determinó las especificaciones para el diseño de infraestructura de red XG-PON.

2.2 Requerimientos del diseño

Para el diseño de la red se tomó en cuenta:

- Descripción de la parroquia
- Recopilación de información por encuestas
- Selección de la arquitectura de red
- Selección de la topología de red
- Selección de materiales y equipos
- Ubicación geográfica de equipos
- Determinación de ancho de banda

- Presupuesto óptico

2.2.1 Descripción de la parroquia Zábiza

Zábiza es una parroquia perteneciente al Distrito Metropolitano de Quito, tiene una población de 4.017 habitantes según los datos registrados en el INEC de la encuesta poblacional 2010, se encuentra a 4 kilómetros al noreste de la ciudad, y se delimita como se muestra en la Figura 1-2, compartiendo con Nayón una llanura plana inclinada hacia el río San Pedro. (GUZMÁN et al., 2015)

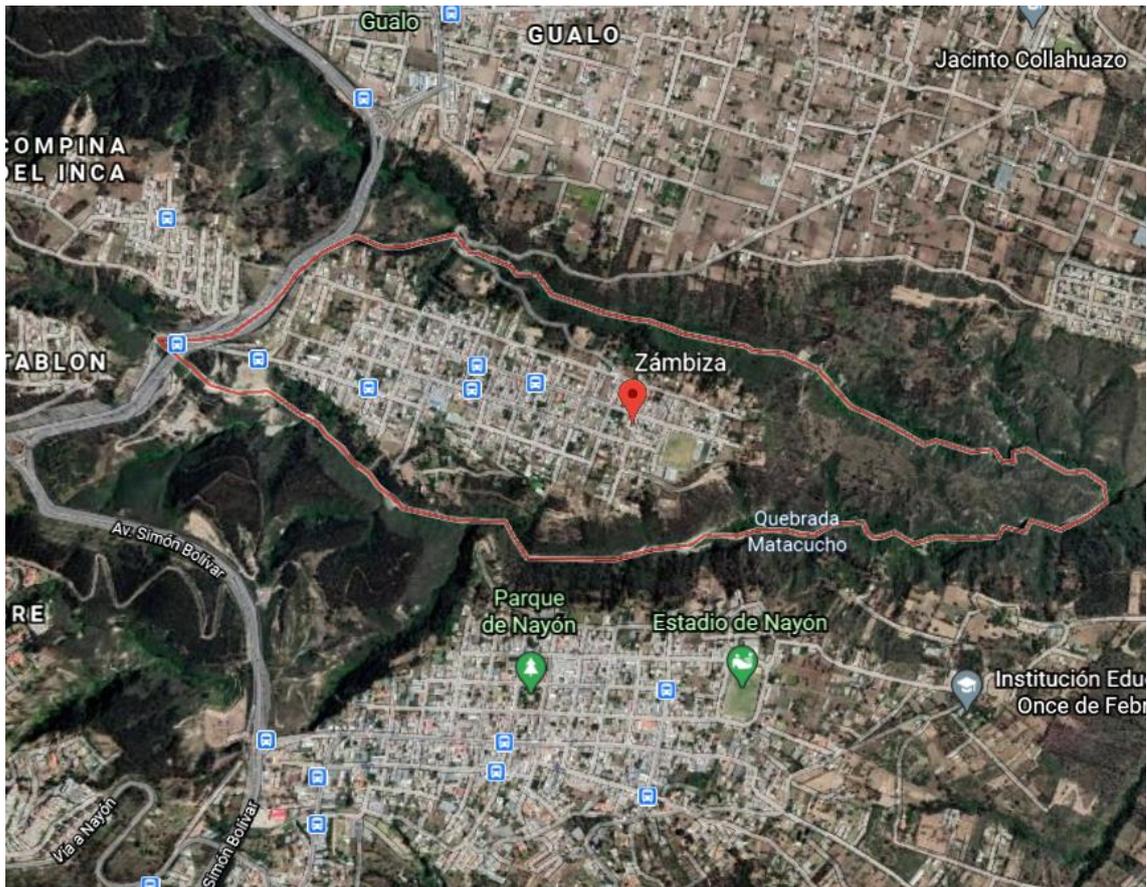


Figura 1-2. Mapa de la parroquia Zábiza

Fuente: Google Earth

“Las proyecciones del Instituto de Estadísticas y Censos (INEC), indican que la esta parroquia en el 2020 tendrá una población de aproximadamente 4.990 habitantes, es decir la misma habrá aumentado en un 19% entre el año 2010 y 2020”. (GUZMÁN et al., 2015, p. 23) En la Tabla 1-2 se representa la proyección de crecimiento poblacional por año.

Tabla 1-2: Crecimiento Poblacional en la parroquia Zábiza.

Años	Proyecciones Poblacionales	Tasa de Crecimiento
1990	2.297	-----
2001	2.944	21,98%
2010	4.017	26,71%
2011	4.244	5,36%
2012	4.328	1,93%
2013	4.411	1,89%
2014	4.494	1,85%
2015	4.578	1,82%
2016	4.661	1,78%
2017	4.743	1,75%
2018	4.826	1,71%
2019	4.908	1,68%
2020	4.990	1,64%

Fuente: (GUZMÁN et al., 2015)

2.2.2 Recopilación de información por encuestas

Para determinar la demanda existente de servicios de telecomunicaciones, se requirió recopilar información por medio de encuestas en los barrios de la parroquia, esto debido a que no existen datos históricos para realizar el estudio de demanda en tecnologías XG-PON.

2.2.2.1 Tamaño de la muestra poblacional

El proyecto se delimita en la parroquia Zábiza, el cálculo de la muestra para las encuestas se realizó con la fórmula de poblaciones finitas:

$$n = \frac{N}{(N-1).e^2 + 1} \quad \text{Ec. 1-2.}$$

Dónde:

n = Número de encuestas

N = Total de la población (4017 habitantes), número de viviendas 1276. (INEC, 2010)

e = Error muestral (5%)

Así:

$$n = \frac{1276}{(1276 - 1).0.05^2 + 1}$$

$$n = 305 \text{ encuestas}$$

2.2.2.2 Análisis de los resultados de la encuesta

Se realizaron 305 encuestas en la parroquia Zámiza, la encuesta consta de 9 preguntas (Anexo A) por medio de las cuales se recolecto información acerca de: el tipo de servicio de uso actual, el grado de satisfacción, la aceptación de una nueva tecnología y la posibilidad de adquisición del servicio Triple-Play.

Pregunta 1. ¿Qué tipo de servicio utiliza para conectarse a internet?

Tabla 2-2: Servicio de conexión a internet

Servicios	Número de encuestados	% Porcentaje
a) Radioenlace	10	3,28%
b) Cable de teléfono	224	73,44%
c) Fibra óptica	71	23,28%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

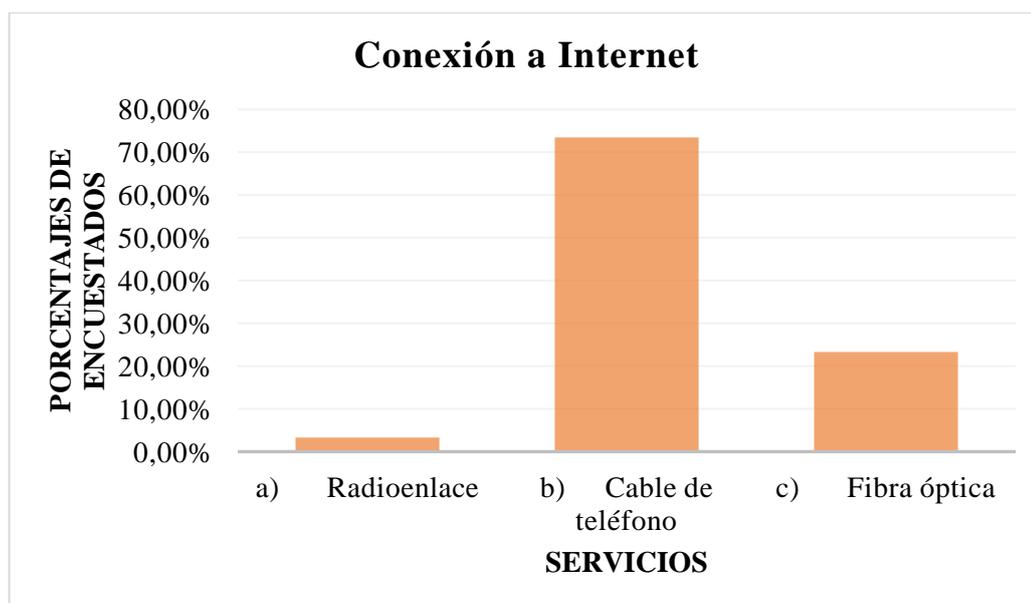


Gráfico 1-2. Porcentaje de tipo de servicio de conexión a internet

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

La Tabla 2-2, representa los valores de números de encuestados y los porcentajes que representan de los servicios de conexión a internet, mientras que en la Gráfico 2-2 se observa, que el servicio de internet por cable de teléfono cubre una gran parte del mercado con el 73,44%, el mismo puede ser proporcionado por distintos proveedores. En cuanto a la utilización de Fibra óptica el sector cuenta con un proveedor que oferta el servicio y la migración al mismo es del 23,28%. Además, el uso de radio enlaces es muy pequeño con un 3.28%.

Pregunta 2. ¿Posee alguno/s de los siguientes servicios en su hogar?

Tabla 3-2: Tipo de servicios en el hogar

Servicios	Numero de encuestados	% Porcentaje
Solo Internet	122	40,00%
Solo TV pagada	0	0,00%
Solo Telefonía fija	20	6,56%
Internet y TV pagada	102	33,44%
Internet y Telefonía fija	0	0,00%
Internet + Telefonía fija + TV pagada (TRIPLE PLAY)	61	20,00%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

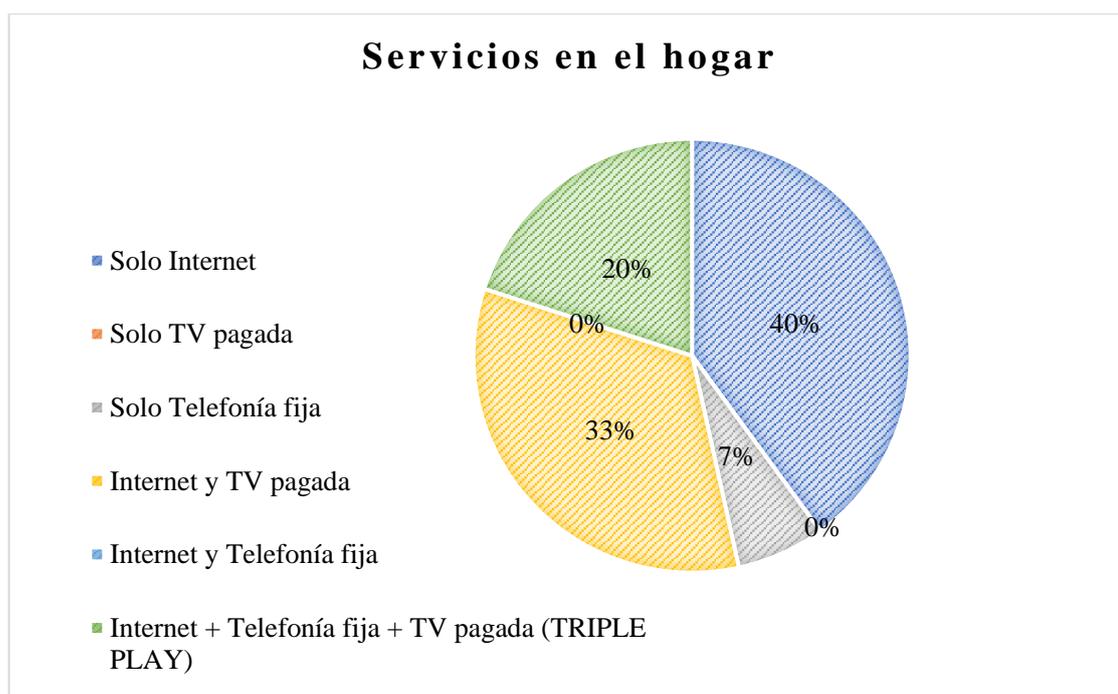


Gráfico 2-2. Porcentaje de servicios contratados en los hogares

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Tabla 3-2 se especifican los tipos de servicios contratados, el Gráfico 2-2 presenta los porcentajes de los tipos de servicios con los que cuentan los habitantes de la parroquia Zámbez, mismos que se obtuvieron en la encuesta realizada, como se observa, el servicio de internet y el servicio combinado de internet y televisión pagada cubre un 40% y 33% respectivamente en el mercado, además la quinta parte de los habitantes cuenta con servicios Triple Play.

Pregunta 3. ¿Cuánto está pagando actualmente por el servicio?

Tabla 4-2: Rango de valores de pago por servicios

Rango de Valores	Numero de encuestados	% Porcentaje
\$25 - \$30	81	26,56%
\$35 - \$40	61	20,00%
Mas de \$40	163	53,44%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

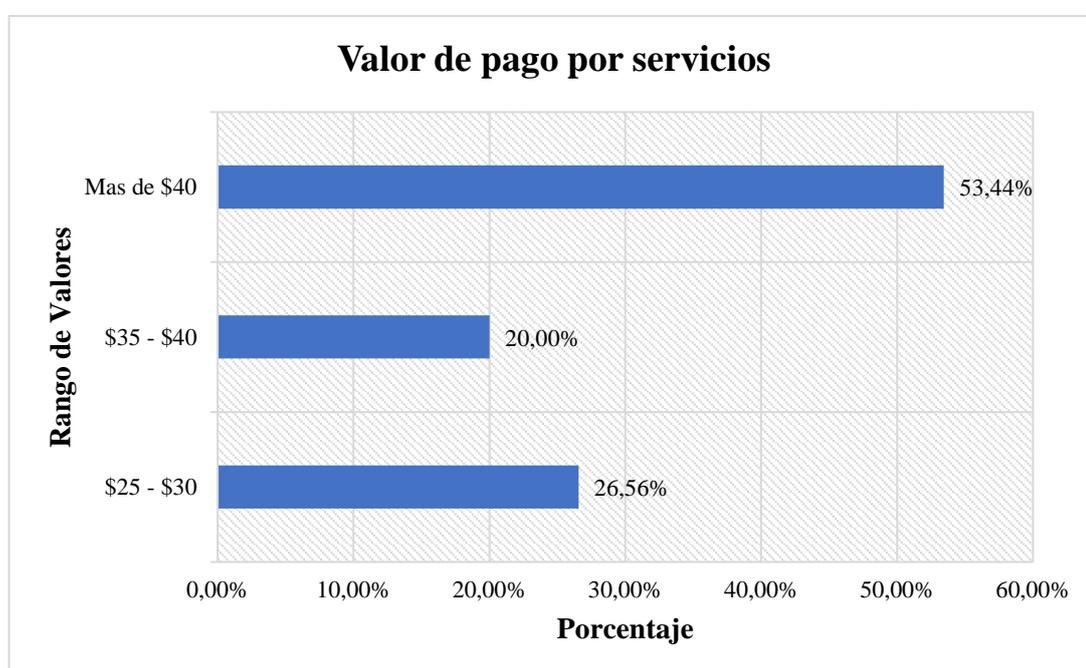


Gráfico 3-2. Porcentaje de rango de valores de pago por servicios

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Tabla 4-2 se establecen los rangos de valores de pago por servicios, la Gráfica 3-2 presenta los valores porcentuales de los valores promedio de pago por los servicios contratados en el hogar, 163 encuestados que representan el 53,44% tienen contratados sus servicios con diferentes proveedores y su valor de pago se considera algo costoso ya que es mayor a los \$40. En cuanto a las personas que solo cuentan con servicio de internet por ADSL el promedio de pago esta entre el \$25 y \$30 y representan el 26,56% del total de encuestados.

Pregunta 4. ¿Qué grado de satisfacción tiene hacia sus servicios?

Tabla 5-2: Grado de satisfacción del servicio

Nivel de Satisfacción	Numero de encuestados	% Porcentaje
Muy satisfecho	0	0,00%
Satisfecho	30	9,84%
Neutro	122	40,00%
Insatisfecho	153	50,16%
Muy insatisfecho	0	0,00%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

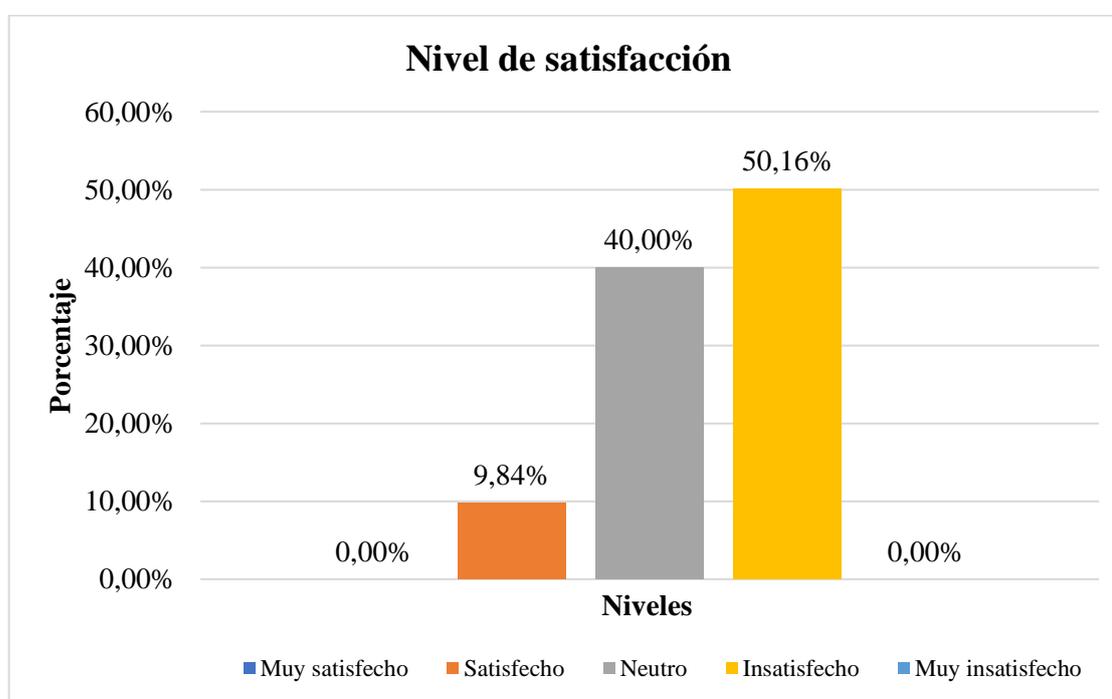


Gráfico 4-2. Porcentaje del grado de satisfacción de los servicios contratados

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Tabla 5-2 se observa el grado de satisfacción de los clientes encuestados con los diferentes servicios que tiene contratados. Los resultados obtenidos se muestran de forma porcentual en el Gráfico 4-2, se visualiza que los usuarios se encuentran insatisfechos con el desempeño de los servicios actuales, sin embargo, también se observa que hay aceptación neutra en cuanto a sus servicios, estos inconvenientes se presentan debido a que las redes de cobre están quedándose rezagadas tecnológicamente con respecto a los nuevos tipos de tecnología.

Pregunta 5. ¿Cuántos dispositivos en promedio se conectan en su hogar?

Tabla 6-2: Número de dispositivos conectados

Dispositivos conectados	Numero de encuestados	% Porcentaje
Solo 1	0	0,00%
Entre 2 a 5	173	56,72%
Entre 5 a 10	132	43,28%
Mas de 10	0	0,00%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

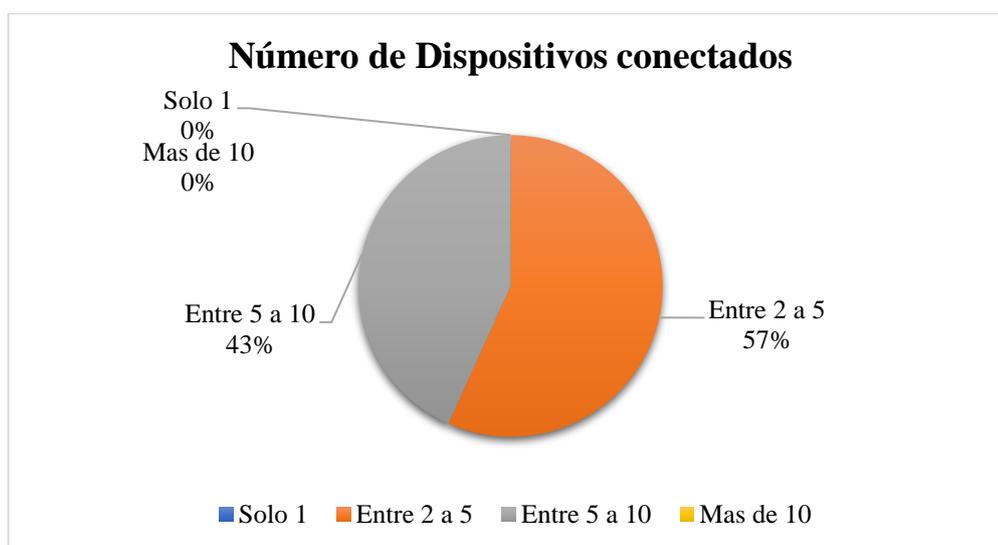


Gráfico 5-2. Numero de dispositivos conectados a internet

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Tabla 6-2 se puede identificar que el mayor número de dispositivos conectados simultáneamente en los hogares es de entre 2 a 5, lo que llega a causar problemas de servicio en horas de la noche debido a que la capacidad del servicio disminuya e incluso deje de funcionar en uno o varios dispositivos, ya que a estas horas todos los integrantes del hogar se encuentran en casa, lo mismo sucede con los hogares que cuentan con poco ancho de banda, y con un mayor número de dispositivos conectados, así mismo el 43% de encuestados llegan a conectar hasta 10 dispositivos a la vez, esto se visualiza de forma porcentual en la Gráfica 5-2.

Debido a la pandemia que se presentó en el año 2020, se hizo más notoria la necesidad de una mayor capacidad (ancho de banda) para soportar la conexión de todos estos dispositivos simultáneamente enlazados a internet, haciendo aún más viable el déficit que existe en los planes actuales de servicio.

Pregunta 6. ¿Ha tenido problemas con la conexión en su servicio?

Tabla 7-2: Frecuencia de quejas con los servicios

Frecuencia de Queja	Numero de encuestados	% Porcentaje
Siempre	0	0,00%
Casi Siempre	203	66,56%
A veces	92	30,16%
Casi nunca	10	3,28%
Nunca	0	0,00%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Morales Lizbeth, 2020

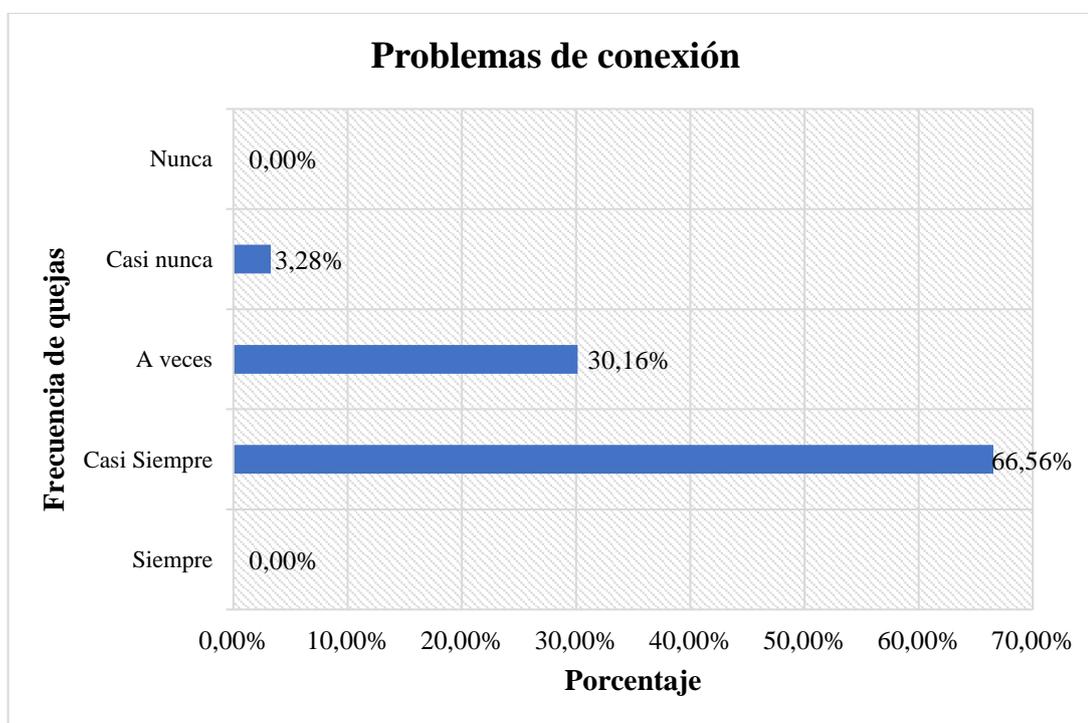


Gráfico 6-2. Frecuencia de quejas por fallas en el servicio

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

La Tabla 7-2 muestra la frecuencia con la que se presentan quejas por los servicios contratados en los hogares el mismo que se complementa con el nivel de satisfacción, el Gráfico 6-2 muestra de forma porcentual la frecuencia de quejas por fallas en el servicio, el 66.56% de encuestados casi siempre tiene problemas con su servicio, siendo en su mayoría por la capacidad y la demandan con que cuentan, por otro lado, el 30,16% han superado las quejas y son en su mayoría las personas que han migrado a los servicios de fibra óptica.

Pregunta 7. ¿Estaría interesado en acceder a un servicio de Internet con una mayor velocidad?

Tabla 8-2: Interés en incremento de velocidad

Aceptación de mayor velocidad	Numero de encuestados	% Porcentaje
Si	295	96,72%
No	10	3,28%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020



Gráfico 7-2. Porcentaje de aceptación a incremento de velocidad

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Grafica 7-2 se puede apreciar la aceptación que existe en cuanto a acceder a mayores capacidades de internet, siendo el 96, 72% de encuestados los interesados, mismos que representan a 295 personas encuestadas como se detalla en la Tabla 8-2. Como se mencionó anteriormente la pandemia dejo en evidencia que el acceso a internet es muy esencial de manera actual, ya que a través de este se pudo hacer posible el acceso remoto a educación, trabajo, alimentación, etc., y en varios casos la capacidad contratada no fue la suficiente para acceder simultáneamente a estas plataformas.

Pregunta 8. ¿Estaría interesado en un servicio Triple Play (Internet + Telefonía fija + TV pagada) a través del mismo proveedor?

Tabla 9-2: Interés en servicios Triple Play

Aceptación de TRIPLE PLAY	Numero de encuestados	% Porcentaje
Si	234	76,72%
No	71	23,28%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020



Gráfico 8-2. Porcentaje de interés en servicios Triple Play

Realizado por: Achig Morales Lizbeth, 2020

En cuanto a la aceptación de servicios Triple Play la Tabla 9-2 detalla que 234 personas que represente el 77% de encuestados está de acuerdo en que, este tipo de servicio sea ofertado por un mismo proveedor, el Gráfico 8-2 muestra de manera porcentual esto; debido a que la mayoría de los usuarios tiene sus servicios contratados a diferentes proveedores, el 23 % restante solo usan uno o dos servicios, por lo que no les es inconveniente si es de diferentes proveedores.

Pregunta 9. ¿Estaría dispuesto a cambiarse a una nueva tecnología (XG-PON) que le proporcione un servicio más eficiente?

Tabla 10-2: Cambio a tecnologías más eficientes

Aceptación de XG-PON	Numero de encuestados	% Porcentaje
Si	285	93,44%
No	20	6,56%
TOTAL	305	100%

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020



Gráfico 9-2. Porcentaje de aceptación a la tecnología XG-PON

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

El 93,44% de los encuestados se encuentran interesados y dispuestos a cambiarse a una nueva tecnología, siempre y cuando esta mejore la calidad de los servicios que ya tienen contratados, y apenas un 6,56% desea permanecer con sus servicios actuales, en la Tabla 10-2 se detalla el número de encuestados, mientras que la Gráfico 9-2 muestra los valores porcentuales.

Con la aceptación encontrada y viendo todos los problemas que han presentado los servicios que existen actualmente en la parroquia, se evidencia la necesidad de presentar una tecnología que resuelva estos problemas, siendo la mejor alternativa una tecnología XG-PON, la cual ofrece mayor capacidad en cuanto a anchos de banda y al número de usuarios que puede abarcar.

2.2.3 Selección del tipo de arquitectura de la red

Para el diseño de la red XG-PON se toma en cuenta las redes de acceso establecida en la normativa G.987, mismas que fueron mencionadas en el Capítulo I.

Para el presente trabajo de titulación se procedió a identificar que las arquitecturas que presentan las mejores ventajas son las arquitecturas FTTH (Fiber to the Home) para hogares y FTTB (Fiber to the Building) para comercios, esto por ser óptimas en ofrecer a los usuarios altas velocidades de transmisión.

2.2.4 Selección de la topología de la Red

La topología de red es básicamente el mapa de trabajo, puede ser físico o lógico

2.2.4.1 Topología lógica

La tecnología XG-PON utiliza multiplexación por división de longitud de onda (WDM), es decir, que su canal de subida (upstream) y su canal de bajada (downstream) trabajan a longitudes de onda diferentes.

- *Upstream:* se consigue por medio de acceso múltiple por división de tiempo (TDMA), utiliza una longitud de onda de 1260 a 1280 nm.
- *Downstream:* se consigue mediante Multiplexación por división de tiempo (TDM), utiliza las longitudes de onda de 1575 a 1580 nm.

Por lo que se consideró usar una topología punto-multipunto.

2.2.4.2 Topología física

Para el diseño físico, la parroquia fue dividida en zonas, de esta forma se puede llevar un mejor control y a la vez se considera la necesidad de manutención de la red. Para la separación de zonas se considera la concentración poblacional, la proyección de crecimiento de la red, los accesos (calles, carreteras), áreas educativas, áreas empresariales, entre otras.

La delimitada de la parroquia Zábiza se muestra en Figura 2-2, la cual fue extraída de los planos de AutoCAD del mapa del Distrito Metropolitano de Quito (Anexo B), a partir de la delimitación se desarrolló la división de zonas y el diseño de la red de acceso FTTH.



Figura 3-2. División en Zonas de la parroquia Zámbriza

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

La Figura 4-2 muestra las partes más importantes de la red XG-PON, desde la OLT o equipo de transmisión, red Feeder, red de distribución, red de dispersión o puntos de acceso a la red, y los equipos receptores ONT/ONU.

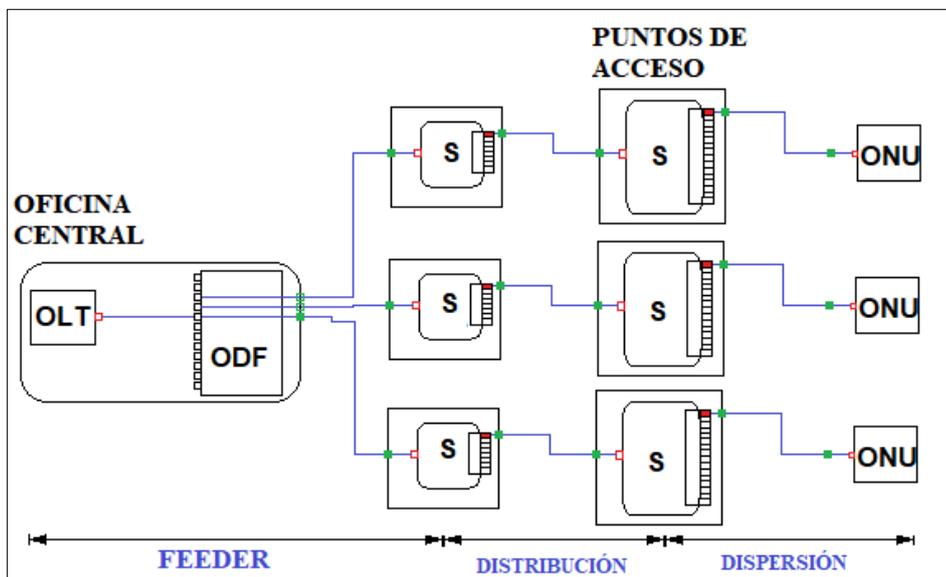


Figura 4-2. Diagrama de la red

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

2.2.5 Selección de materiales y equipos.

La selección de los materiales y equipos a usar en el diseño de la red es de gran importancia, ya que se deben tomar en cuenta los parámetros especificados en el Capítulo I para el soporte de la tecnología XG-PON y que a la vez sean compatible con la tecnología GPON.

2.2.5.1 OLT



Figura 5-2. Equipo OLT SmartAX MA5800-X2

Fuente: (Huawei, 2015, p. 1)

Tabla 11-2: Características técnicas del equipo OLT

Marca	Huawei
Modelo	SmartAX MA5800-X2 OLT
Número de slots para tarjetas	2
Estándar de trabajo	XG-PON 1 Y XGPON 2
Número máximo de puertos en un subrack	32 puertos GPON / XG(S)-PON
	96 puertos GE / FE
	16 puertos 10G GPON / 10G EPON
	16 puertos 10G GE
Longitud de onda de operación	64 puertos E1
	Upstream: 1260 - 1280 nm Downstream: 1575 - 1580 nm
Tipo de conector	SFP B+/C+ TIPO LX Conector LC/UPC
Servicios	Datos, Telefonía VoIP, IPTV (Televisión 4K), soporta IPMPLS
Rango de voltaje de trabajo	Fuente de alimentación DC: -38,4 V a -72 V Fuente de alimentación CA: 100 V a 240 V
Ancho de banda máximo por ranura de servicio	80 Gbit/s
Bit Error Rate (BER)	10e-7
Precio	\$ 1.500,00

Fuente: (Huawei, 2015)

La OLT que se seleccionó para el proyecto es la MA5800-X2 debido a que cumple con las características especificadas en el capítulo anterior, las características del equipo se detallan en la Tabla 11-2 y se muestra de en la Figura 5-2.

2.2.5.2 ONTs



Figura 6-2. Equipo ONT HN8055Q FTTH

Fuente: (Huawei, 2018, p. 6)

Tabla 12-2: Características técnicas del equipo ONT

Marca	Huawei
Modelo	Huawei HN8055Q FTTH
Tecnología	XG-PON para implementar el acceso de banda ultra ancha
Entrada del adaptador de corriente	100–240 V CA, 50/60Hz
Fuente de alimentación del sistema	11-14 V DC, 3 UNA
Consumo máximo de energía	34 W
Servicios	Voz, datos, y servicios de video HD
Puertos	POWER / PON / LOS / LAN / 10G LAN / 2.4G Wi-Fi / 5G Wi-Fi / WPS / USB
XG-PON Port	Class N1/N2a Receiver sensitivity: -28dBm Wavelengths: US 1260 - 1280 nm, DS 1575-1580 nm Bi-directional FEC SR-DBA and NSR-DBA 2.5G bps uplink, 10G bps downlink
Precio	\$ 200,00

Fuente: (Huawei, 2018)

Las ONTs seleccionadas son de marca Huawei al igual que el equipo OLT por la compatibilidad de los equipos, además se consideraron las capacidades que presta el equipo para brindar varios servicios al usuario final, estas características están especificadas en la Tabla 12-2 y esta representada en la Figura 6-2.

2.2.5.3 ODF



Figura 7-2. Bandeja ODF

Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.ec/MEC-428687467-odf-de-empalme-rack-24-puertos-net-link-_JM

Tabla 13-2: Características de la bandeja ODF

Marca	Net-Link
Modelo	NL-4001
Número de puertos	24 puertos por bandeja
Tipo de conector	SC, FC, LC (APC, UPC)
Precio	\$ 78

Fuente: (TU CONECTIVIDAD LKD, 2020, p. 12)

Los ODF's seleccionados son de la marca Net-Link como se muestra en la Figura 7-2, ya que ofrecen las características requeridas, como el número de puertos, entrada de cables sin curvatura excesiva, fácil manejo de las bandejas, etc. La Tabla 13-2 presentan las características y el precio.

2.2.5.4 Fibra óptica

Se utilizará fibra óptica del tipo aéreo ADSS, esta se realiza entre postes o torres sobre el suelo, su diseño es muy apropiado debido a que brinda inmunidad a interferencias electromagnéticas y no son sensibles a las caídas de rayos como se muestra en la Figura 8-2. (CNT, 2012, p. 44-45)

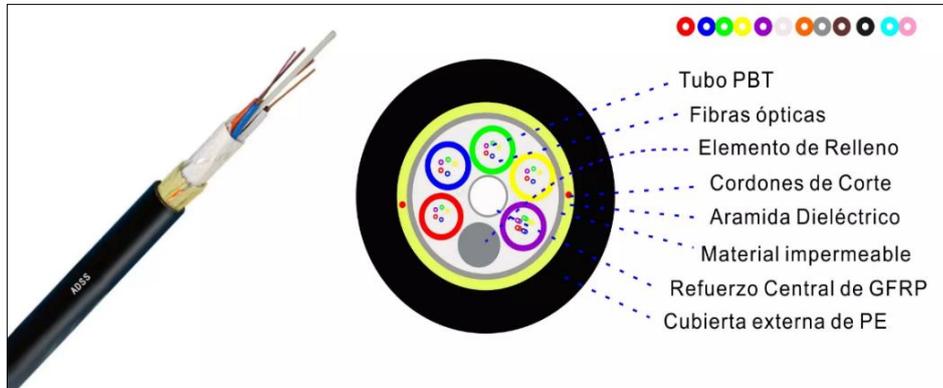


Figura 8-2. Cableado de Fibra Óptica para tendido Aéreo

Fuente: (CNT, 2012, p. 8)

Tabla 14-2: Características de la fibra óptica

Descripción	Precio unitario (m)	Estándar
FIBRA ADSS 12 HILOS	\$ 0.66	G652D SPAM 120m
FIBRA ADSS 24 HILOS	\$ 0.72	G652D SPAN 120m

Fuente: (TU CONECTIVIDAD LKD, 2020)

La Tabla 14-2 muestra los precios para los diferentes tipos de hilos de fibra óptica y sus respectivos costos.

2.2.5.4.1 Splitter



Figura 9-2. Splitters

Fuente: (TU CONECTIVIDAD LKD, 2020)

Tabla 15-2: Características de atenuación de los Splitter

Division óptica	Atenuación	Precio
1:4	-6.02 dB	\$ 12,00
1:8	-9.03 dB	\$ 14,00
1:16	-12.04 dB	\$ 17,00

Fuente: (TU CONECTIVIDAD LKD, 2020)

Se seleccionó power splitters conectorizados mismo que se muestran en la Figura 9-2, este tipo de splitter son usados para disminuir fusiones y evitar generar nuevas pérdidas de atenuación en el enlace. La Tabla 15-2 muestra los valor y costos por división óptica.

2.2.5.4.2 Cajetines

Para el proyecto se necesitan tres tipos de cajetines para alojar las fusiones de splitter. El primera para fusión de splitter de 1:16, las segundas para fusión de splitter de 1:8 y la tercer cajas para colocarse en el interior de los hogares de los abonados, donde se alojará la última fusión de fibra en la red. La Figura 10-2 muestra un cajetín para fusión, además la Tabla 16-2 muestra los precios de cada tipo de caja.



Figura 10-2. Cajetines para fusión

Fuente: (TU CONECTIVIDAD LKD, 2020)

Tabla 16-2: Cajas Nap

Descripción	Precio unitario
CAJA NAP IP65 DE 1A8 COMPLETA	\$ 50.00
CAJA NAP IP65 1 A 16 COMPLETA	\$ 55.00
Roseta FO 2 puertos	\$ 5.00

Fuente:(TU CONECTIVIDAD LKD, 2020)

Los valores presentados son referenciales y fueron proporcionados por la empresa TU CONECTIVIDAD LKD, la cual facilito una proforma con los valores de los diferentes equipos requeridos en el diseño de la red.

2.2.6 Ubicación geográfica de equipos.

Los equipos han sido ubicados de forma estratégica, tomando en cuenta que las distancias sea similares en la red FTTH, esto para que exista igualdad en las atenuaciones que se producirán en la red.

La simbología que fue utilizada para el mapa creado en el programa AutoCad está basada en la empleada en la empresa CNT, la Tabla 17-2 detalla la simbología de red utilizada.

Tabla 17-2: Simbología de redes FTTH

Nombres	Simbología
Postes	
OLT	
Splitter	
NAP	
Tendido de Fibra	

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

2.2.6.1 Distribuidor de Fibra Óptica (ODF).

2.2.6.1.1 Red Feeder

Denominada también como red troncal es desplegada siguiendo las rutas planificadas, este cable es monomodo y cumplen con el estándar G.652D, además tiene la capacidad 96 hilos de fibra.

El cable de fibra óptica troncal para el proyecto fue denominado como FT01, es de tipo aéreo; parte de la OLT hasta conectarse con las mangas troncales denominadas como MT's donde se realizó el sangrado primario. Además, en la OLT se designa una numeración secuencial de acuerdo con el orden de instalación o un identificador, en la Figura 11-2 se detalla la nomenclatura que se utilizó en la red.

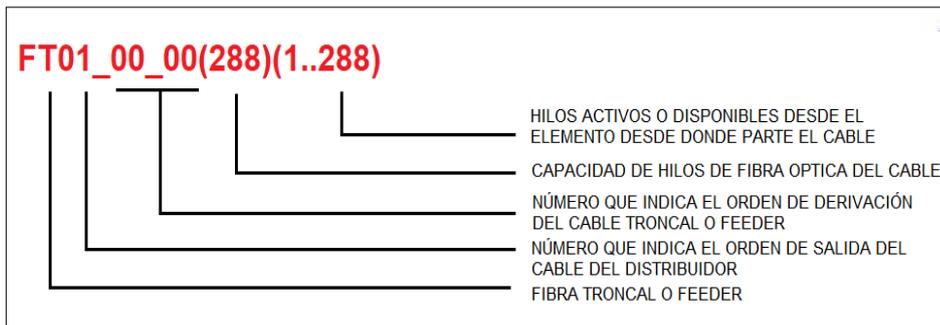


Figura 11-2. Nomenclatura de cable de fibra óptica.

Fuente: (ZAMBRANO, 2017, p. 49)

Para determinar el número de hilos de fibra óptica necesario para la red se tomó en cuenta el número de hogares en la parroquia Zábiza en 2010, además por el análisis de la demanda potencial establecida en un 74% de aceptación, más el crecimiento del 19% se determinó que el número de hogares es 1124 para la parroquia Zambiza en 2020, como la tecnología XG-PON es capaz de mejorar la tasa de transferencia por abonado, se estableció que la red necesita 12 hilos de fibra, para sobrellevar la demanda actual y futura.

Al haber dividido en 2 zonas a la parroquia se le asigna 6 hilos de cable Feeder para cada una, cubriendo con 5 hilos la demanda actual y destinando un hilo de reserva para proyección de crecimiento de la red.

El equipo de transmisión OLT fue ubicado en la calle Guayaquil, entre las calles Antonio José de Sucre y Atahualpa, esto debido a que es la parte más céntrica en la parroquia. La Figura 12-2 muestra la ubicación de la OLT por medio de Google Earth, y en la Figura 13-2 se puede ver la ubicación de la OLT en el mapa generado por el programa AutoCAD.

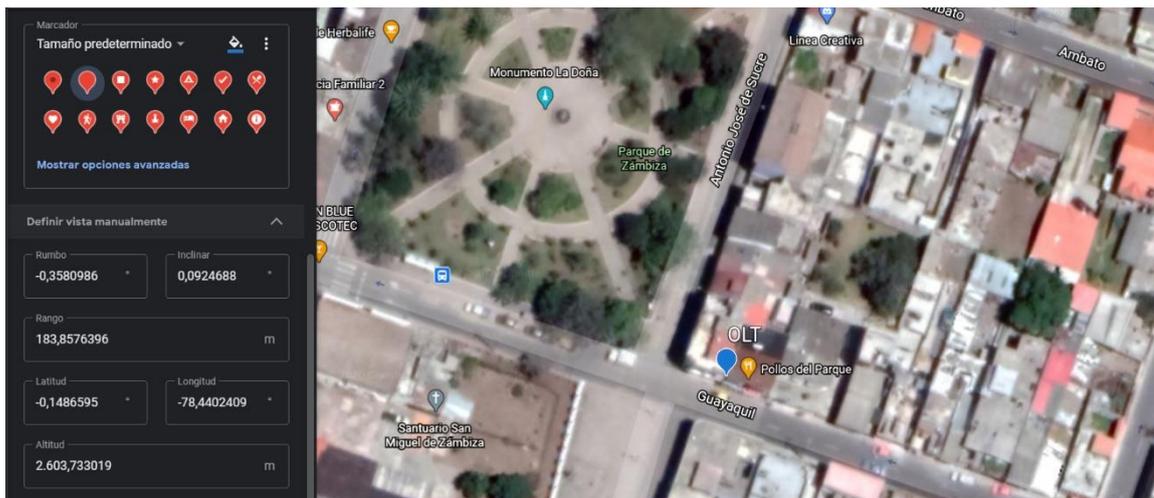


Figura 12-2. Ubicación geográfica de la OLT

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

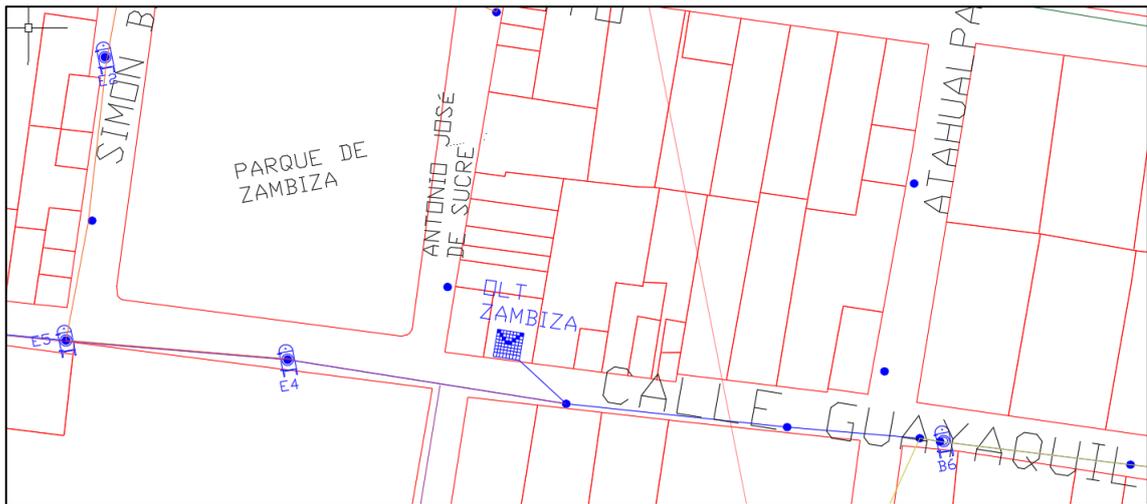


Figura 13-2. Ubicación y simbología de la OLT en el programa AutoCAD

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

2.2.6.1.2 Derivación del cable Feeder para la zona 1

Para esta zona se ubican dos mangas troncales, la primera denominada MT01, en donde ingresan los hilos del buffer del cable Feeder FT01_00_00 (96) (1..6), y se fusionan con la derivación FT01_01_00 (12) (1..6), para que posteriormente 3 hilos sea redirigidos a la MT01 denominada como FT01_01_00 (12) (1..3) y los otros 3 hilos a la manga MT02 representada por FT01_02_00 (12) (4...6). Las Figura 14-2 y Figura 15-2 muestran la manga troncal MT01 y MT02.

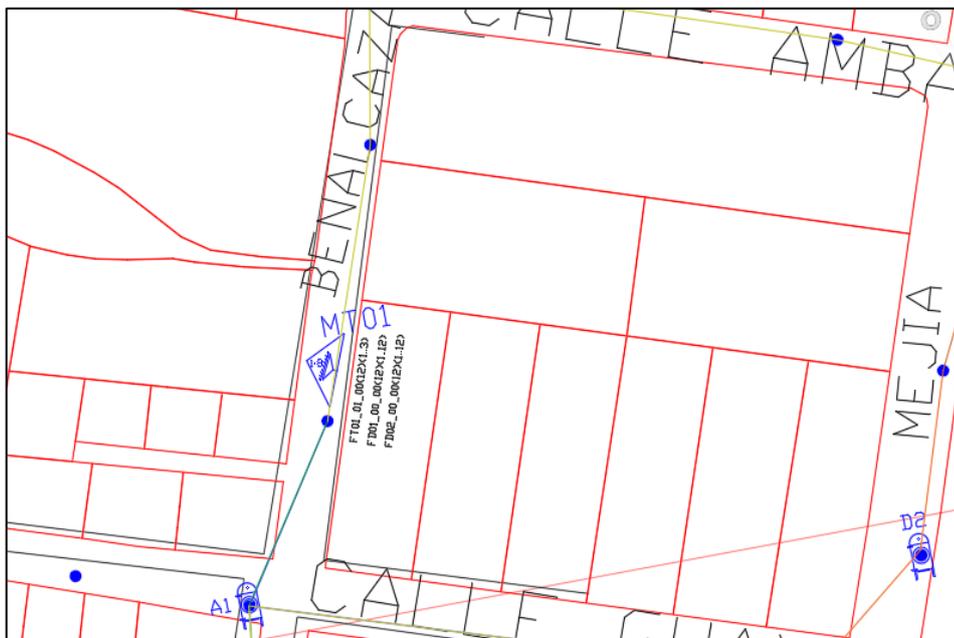


Figura 14-2. Sangrado y Mangas troncales MT01 de la Zona 1

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

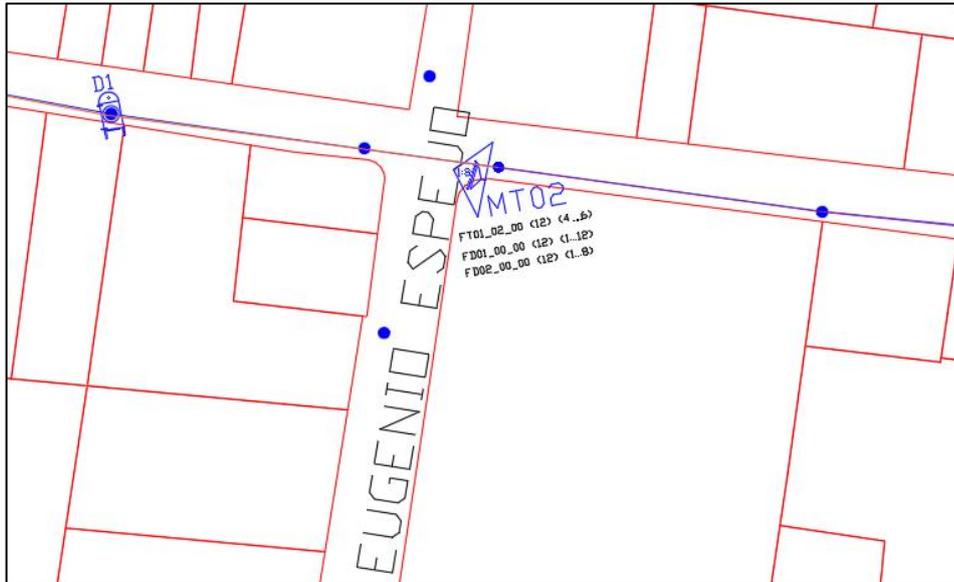


Figura 15-2. Sangrado y Mangas troncales MT02 de la Zona 1

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

2.2.6.1.3 Derivación del cable Feeder para la zona 2

Para esta zona al igual que en la Zona 1 se ubican dos mangas troncales, en la manga MT01 ingresan los hilos sobrante del buffer del cable Feeder FT01_00_00 (96) (7..12), que se fusionan con la derivación FT01_01_00 (12) (1..3), los otros 3 hilos van a la manga MT02 que se conoce como FT01_02_00 (12) (4...6). En las Figura 16-2 y Figura 17-2 se indica la manga troncal MT01 y MT02 para la Zona 2.

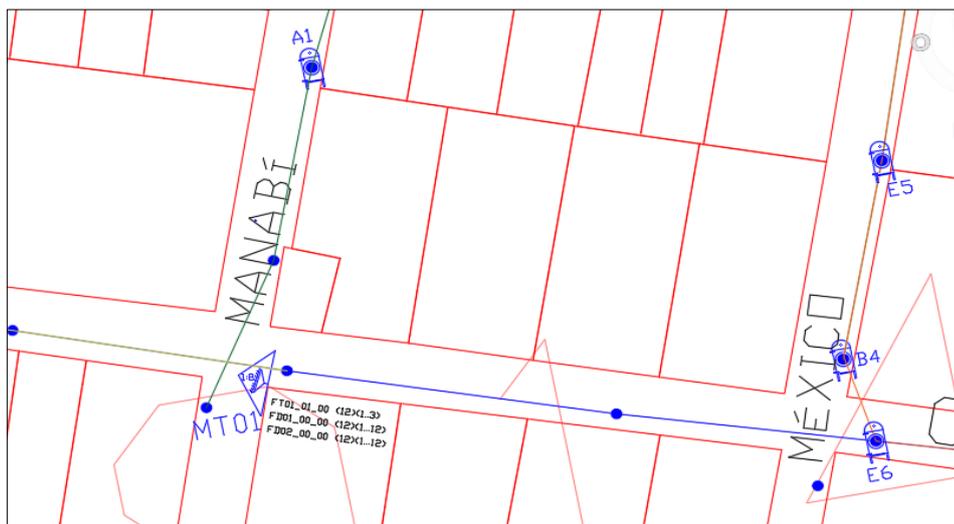


Figura 16-2. Sangrado y Mangas troncales MT01 la Zona 2

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

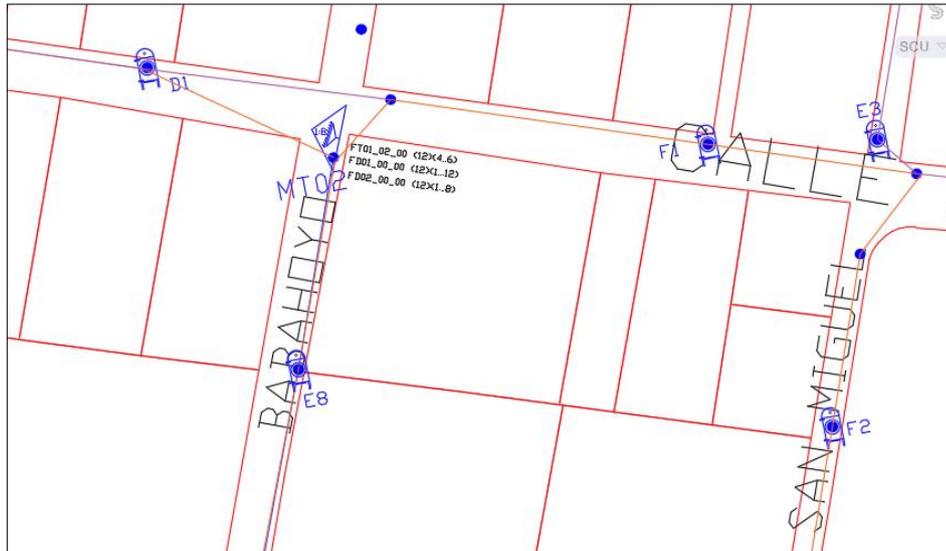


Figura 17-2. Sangrado y Mangas troncales MT02 la Zona 2

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Figura 18-2 se muestra de manera general la ubicación de las mangas troncales MT's y las extensiones de cable Feeder en las zonas de división de la Parroquia Zámbez.

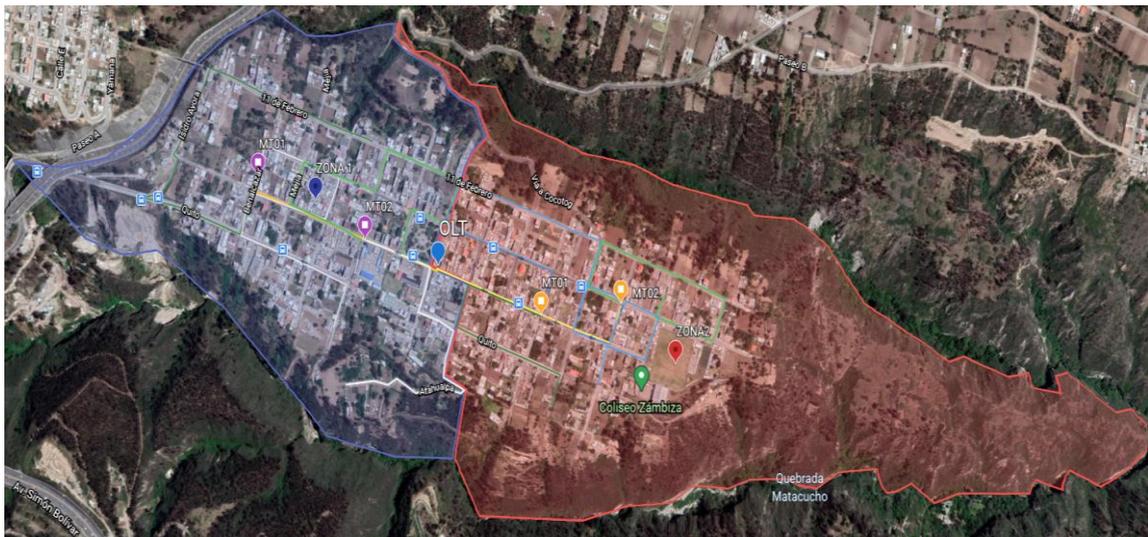


Figura 18-2. Ubicación de las mangas troncales MT en cada zona.

Realizado por: Google Earth

2.2.6.2 Diseño de la Red de distribución

La capacidad para la red de distribución es de 12 hilos, esta red inicia a partir de los puertos de salida del primer nivel de splitter, y se conectarán a las NAPs o segundo nivel de splitter.

En la Figura 21-2 se indica la manga troncal MT02, que contiene 20 áreas de dispersión lo que corresponde a 20 NAPs, cada una representada por letras alfanuméricas agrupadas en ocho.



Figura 21-2. Cajas de distribución ópticas para la MT02

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la MT02 se empieza en D hasta la serie F, se conservan NAPs de reserva para el futuro.

- FD01_00_00 (12)(1...12)
- FD02_00_00 (12)(1...8)

Para la distribución de los hilos se empieza en la NAP D1 por ser la más cercana a la manga troncal MT02 como se indica en la Figura 22-2.



Figura 22-2. NAP más cercana a la MT02

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

2.2.6.2.2 Red de distribución Zona 2

En la Figura 23-2 se muestra a la manga troncal MT01 la misma que contiene 24 áreas de dispersión o 24 NAPs proyectadas, además las NAPs son representadas por letras alfanuméricas como en la Zona 1.

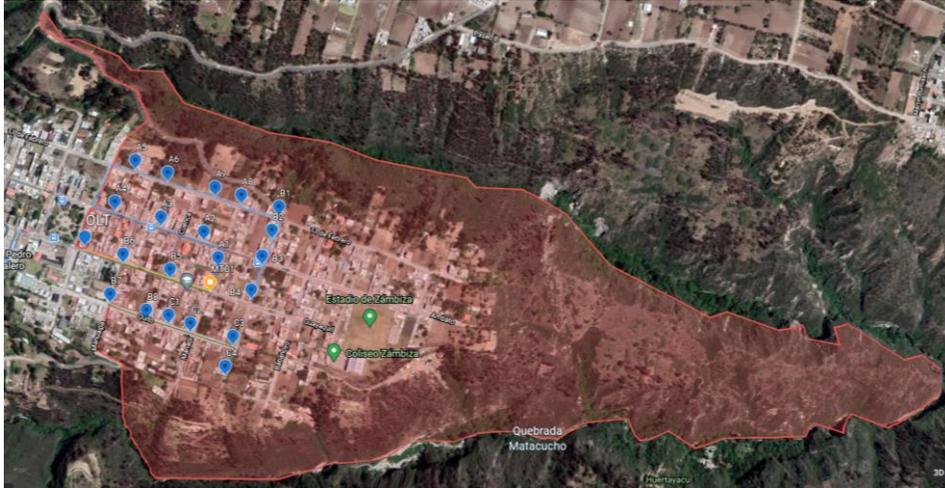


Figura 23-2. Cajas de distribución ópticas para la MT01

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la MT01 la serie empieza en A1 hasta C8, se fusionan dos cables de fibra óptica de distribución a la salida del primer nivel de splitter de la manga troncal MT01.

- FD01_00_00 (12)(1...12)
- FD02_00_00 (12)(1...12)

La distribución de los hilos empieza en la NAP A1 por ser la más cercana a la manga troncal MT01 como se indica en la Figura 24-2.

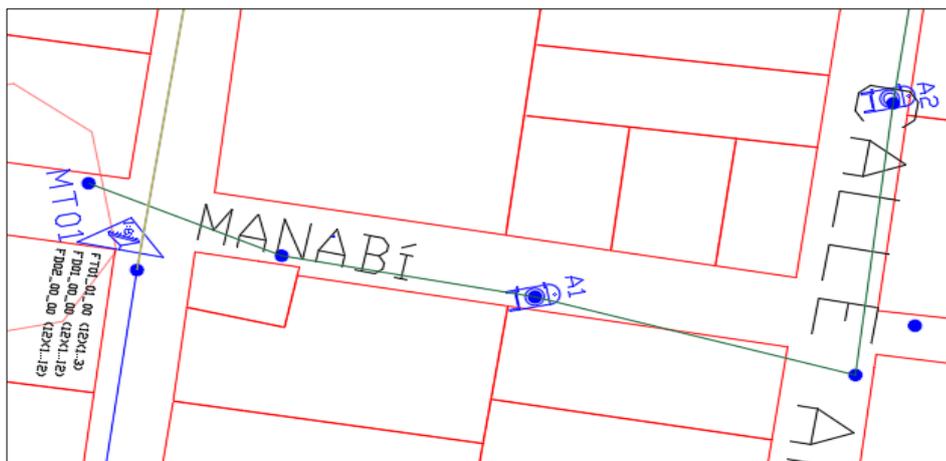


Figura 24-2. NAP más cercana a la MT01

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la Figura 25-2 se indica la manga troncal MT02, que contiene 20 áreas de dispersión lo que corresponde a 20 NAPs representadas por letras alfanuméricas en agrupación de ocho.

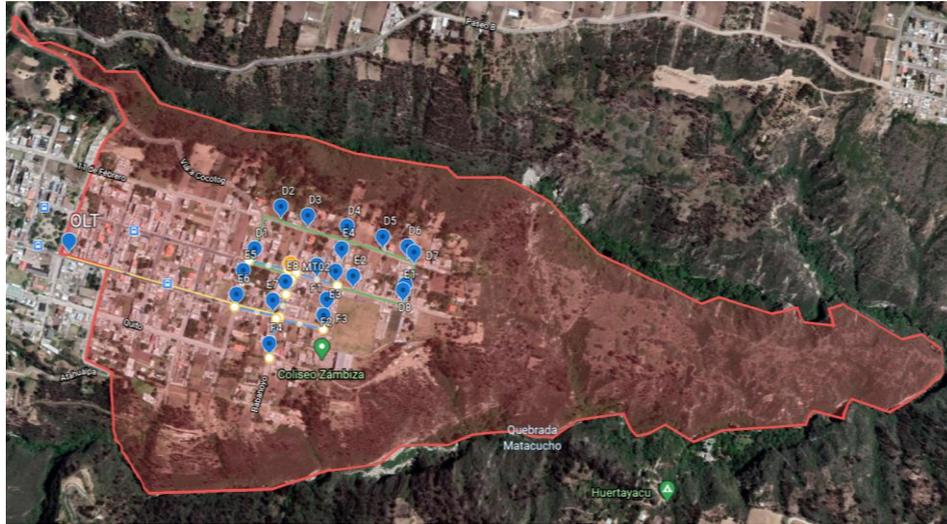


Figura 25-2. Cajas de distribución ópticas para la MT02

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

En la MT02 la serie empieza en D1 hasta F4, dejando de F5 a F8 NAPs de reserva.

- FD01_00_00_(12)(1...12)
- FD02_00_00_(12)(1...8)

La distribución de los hilos a cada caja empieza en la NAP D1 al ser la más cercana a la manga troncal MT02, como se indica en la Figura 26-2:

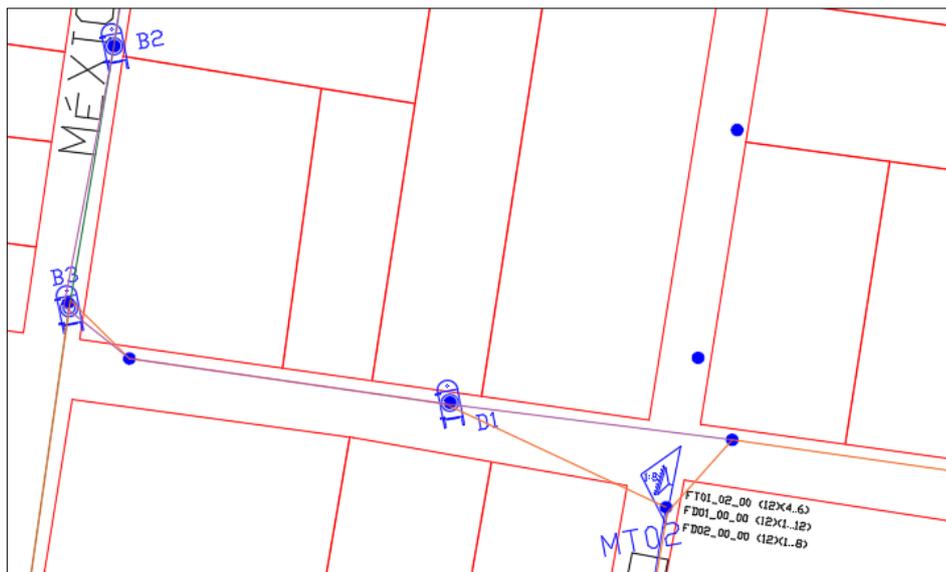


Figura 26-2. NAP más cercana a la MT02

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

2.2.6.2.3 Red de Dispersión

La red de dispersión parte desde las cajas de distribución, con cable tipo DROP monomodo G.657 A1/A2, además para facilitar la conexión y evitar pérdidas por retorno en la red se utiliza, acopladores, conectores, pigtailes y splitters tipo SC/APC ya que está establecido en la normativa de construcción de planta externa de fibra óptica de CNT.

Para finalizar con el diseño de la red XG-PON, se conecta una roseta óptica donde se fusionará con el pigtail en el interior de la casa del abonado y se conecta con la ONT, la cual es la encargada de brindar los diferentes servicios.

2.2.7 Determinación de ancho de banda

Para el cálculo de ancho de banda se utilizó la Ec 2-2, ancho de banda por nivel de splitter.

$$AB = (\text{Capacidad AB de XGPON}) (\text{Relación de Splitter } 1:x) \quad \text{Ec. 2-2.}$$

- Ancho de banda Tecnología XG-PON: 10 Gbps en Downstream y 2.4 Gbps en Upstream
- Relación de splitter: 1/8 y 1/16

Para el primer nivel de splitteo se considera una relación de 1:8, por lo que el AB será el siguiente

$$AB_{Ds} = \left(\frac{10 \text{ Gbps}}{8} \right) = 1,25 \text{ Gbps}$$

$$AB_{Us} = \left(\frac{2,4 \text{ Gbps}}{8} \right) = 300 \text{ Mbps}$$

Y para el segundo nivel de splitteo se considera una relación de 1:16

$$AB_{Ds} = \left(\frac{1,25 \text{ Gbps}}{16} \right) = 78,125 \text{ Mbps}$$

$$AB_{Us} = \left(\frac{300 \text{ Mbps}}{16} \right) = 16,75 \text{ Mbps}$$

Se eligió un segundo splitter de tipo 1:16 ya que se considera un número de 128 usuarios por puerto de la OLT, con esto se cubre las necesidades de la parroquia y además se deja una reserva para el crecimiento de esta.

En la Tabla 18-2 se resumen los servicios y sus requisitos de capacidad según los estándares para cada servicio, además se determina la capacidad óptima que requiere cada uno.

Tabla 18-2: Capacidad de servicio

Servicios		Capacidad Requerida	Capacidad Optima hogar	Capacidad Optima empresa
Datos	Internet	1 Mbps a 20 Mbps 50Mps	20 Mbps	50Mbps
	Videoconferencia	2 Mbps	2 Mbps	2 Mbps
Voz	Telefonía	64 kbps	64 kbps	64 kbps
Video (TV SD)	MPEG 2	2 Mbps a 4 Mbps		
	MPEG 4	1 Mbps a 2 Mbps	2 Mbps	2 Mbps
Video (TV HD)	MPEG 2	16 Mbps a 20 Mbps		
	MPEG 4	6 Mbps a 9 Mbps	9 Mbps	9 Mbps
TOTAL			33,064 Mbps	63,064 Mbps

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

Las capacidades presentadas en la Tabla 18-2 son para servicios de hogar y empresariales; la parroquia de Zámbriza es considerada con un sector residencial por lo cual la parroquia no genera producción propia, sino más bien sus habitantes proporcionan servicios dentro de la ciudad de Quito. Además, existen planes de especialización y financiamiento para impulsar el crecimiento del sector de la construcción. Por todo lo mencionado se estableció que la capacidad para un correcto servicio en la Parroquia es de 33,064 Mbps por hogar y para el caso de instituciones educativas de 63.064 Mbps.

2.3 Presupuesto referencial

Para el presupuesto se solicitó una cotización a una empresa de telecomunicaciones dentro de la ciudad de Quito, la misma que vende equipos a nivel nacional. Por medio de la empresa “Tu conectividad LKD” se obtuvieron los precios referenciales que se presenta en la Tabla 19-2 y se encuentra en el Anexo C, además se ha considera que de acuerdo con las leyes de Ecuador se deben cancelar títulos habilitantes y otras documentaciones por lo que se considera este valor como servicios adicionales, al igual que el uso del personal de instalación.

Tabla 19-2: Presupuesto referencial

Equipo	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
MA5800 X2	1	\$ 1.500,00	\$ 1.500,00
Uplink H901	1	\$ 1.600,00	\$ 1.600,00
ONT HN8055	1124	\$ 200,00	\$ 224.800,00
Splitter 1:8	8	\$ 14,00	\$ 112,00
Splitter 1:16	64	\$ 17,00	\$ 1.088,00
Rack ODF	4	\$ 550,00	\$ 2.200,00
Caja ODF 12 puertos completa	8	\$ 78,00	\$ 624,00
Caja Nap IP65 1:8 completa	8	\$ 50,00	\$ 400,00
Caja Nap IP65 1:16 completa	64	\$ 55,00	\$ 3.520,00
Caja Roseta completa	1124	\$ 2,50	\$ 2.810,00
Patch cord APC Simplex 3 mtrs	1124	\$ 3,50	\$ 3.934,00
Fibra ADSS 12 hilos G652D spam 120 mts	3000	\$ 0,66	\$ 1.980,00
Fibra ADSS 24 hilos G652D spam 120 mts	6500	\$ 0,72	\$ 4.680,00
Fusiones	300	\$ 12,00	\$ 3.600,00
Instaladores	2	\$ 600,00	\$ 1.200,00
Servicios adicionales	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
		Subtotal	\$ 255.048,00
		IVA (12%)	\$ 30.605,76
		TOTAL	\$ 285.653,76

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

La recuperación del capital inicial está proyectada a 1 años, tomando en cuenta que los planes de internet y los servicios Triple-play tendrán un valor mínimo de \$50 por abonado, además se consideró que el despliegue de red sería completamente nuevo, por lo que en los 3 primeros meses se llegaría a ofrecer el servicio a 400 abonados y en los siguientes 3 meses se completaría el despliegue de la red para los 1124 abonados, también, se consideró que se requerirá de al menos 2 técnicos y un ingeniero para esto.

Para el cálculo se utilizó la Ec. 3-2 Pay back de inversión; la fórmula contable considera el promedio de flujo neto de caja y el valor de la inversión inicial.

$$PB = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Promedio de Flujo de caja}} \quad \text{Ec. 3-2.}$$

$$PB = \frac{285.653,76}{25.700} = 11,115 \text{ meses}$$

En el promedio del flujo de caja se consideró el valor que se generara con el uso de 50% de la red para el primer año.

2.4 Presupuesto óptico

Los cálculos del presupuesto óptico de la red XG-PON, se realizó con el modelo masivos/casas como se observa en la Figura 27-2 que está establecido por las normas de CNT.

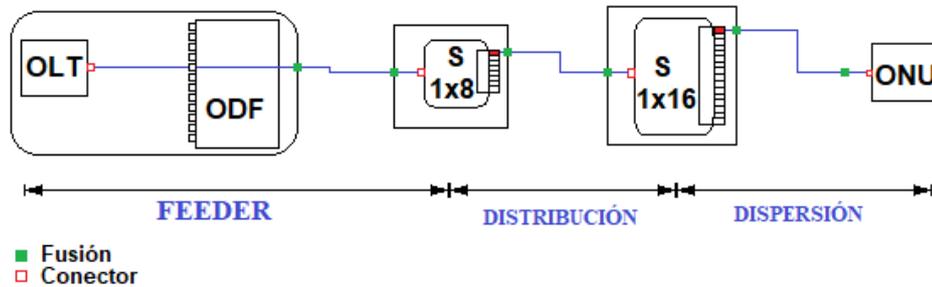


Figura 27-2. Diagrama de los elementos de la red hacia la ONU Masivo/Casa

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

Se considera un Margen de Guarda de 3dB, el cual aumenta la atenuación de las ODNs, esto se considera por una proyección de crecimiento o alteración que llegara a presentar la red a un futuro, asimismo, la atenuación máxima de la red de distribución óptica debe ser de máximo 28 dB, debido a que este valor es limitado a los parámetros de los equipos ONT, además en la normativa ITU-T G.987.2 se especifica el rango de atenuación óptico esta entre 14 dB a 29 dB.

2.4.1 Cálculo de atenuación

En la Tabla 20-2 se indica los valores de atenuación de los elementos de la red XG-PON para los cálculos, y su cálculo se realiza por medio de la Ec 4-2 de atenuación total.

Tabla 20-2: Valores de atenuación de la red XG-PON

Elementos	Atenuación (dB)
Conectores	0,5
Empalme por fusión	0,1
Empalme mecánico	0,5
Splitter 1:8	-9,03
Splitter 1:16	-12,04
Fibra óptica	-0,4/ km
Margen de Guarda	3

Fuente: (ITU-T G.987.2, 2010)

$$A_t = A_{fo} + A_c + A_f + A_{s1} + A_{s2} \quad \text{Ec. 4-2.}$$

A_t : Atenuación total

A_{fo} : Atenuación de la fibra óptica

A_f : Atenuación por fusión

A_c Atenuación por conector

A_{s1} : Atenuación splitter primario

A_{s2} Atenuación splitter secundario

2.4.1.1 Usuario más cercano de la Zona 1

El usuario más cercano se encuentra una distancia de 0,26005 km de la OLT, en la Figura 28-2 se puede observar que se tiene un total de 5 conectores, 6 fusiones, un splitter primario de 1:8 y un splitter secundario de 1:16. El cálculo de la atenuación total es el siguiente:

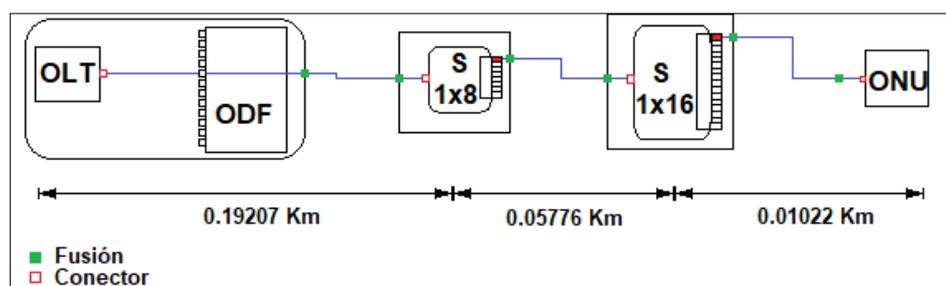


Figura 28-2. Masivo/Casa Usuario más cercano Zona 1

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

$$A_t = A_{fo} + A_c + A_f + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_t = \left(0,4 * \frac{260,05}{1000} \right) + (5 * 0,5) + (6 * 0,1) + 9,03 + 12,04$$

$$A_t = 24,27402 \text{ dB}$$

2.4.1.2 Usuario más lejano de la Zona 1

En la Figura 29-2 se muestra que el usuario más lejano se encuentra una distancia de 1,61538 Km de la OLT.

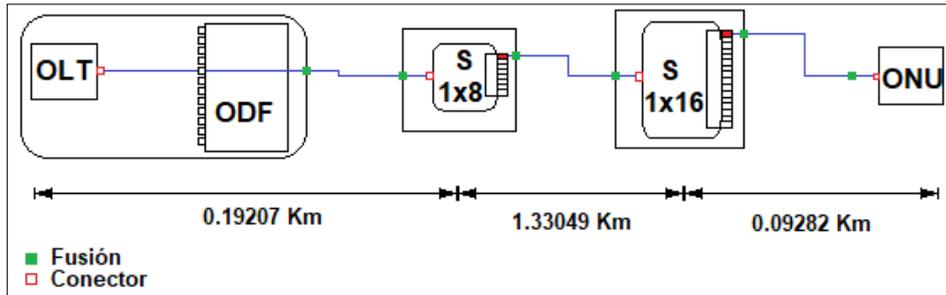


Figura 29-2. Masivo/Casa Usuario más lejano Zona 1

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

$$A_t = A_{fo} + A_c + A_f + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_t = \left(0,4 * \frac{1,61538}{1000}\right) + (5 * 0,5) + (6 * 0,1) + 9,03 + 12,04$$

$$A_t = 24,816152 \text{ dB}$$

2.4.1.3 Usuario más cercano de la Zona 2

La Figura 30-2 presenta los conectores, fusiones y la distancia de 0,34283 km a la que se encuentra el usuario más lejano.

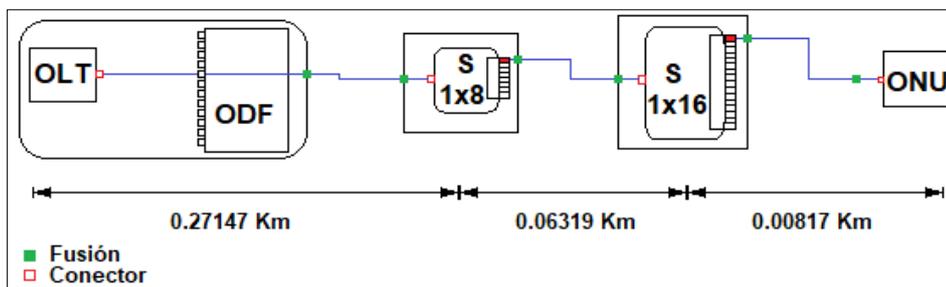


Figura 30-2. Masivo/Casa Usuario más cercano Zona 2

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

$$A_t = A_{fo} + A_c + A_f + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_t = \left(0,4 * \frac{342,83}{1000}\right) + (5 * 0,5) + (6 * 0,1) + 9,03 + 12,04$$

$$A_t = 24,307132 \text{ dB}$$

2.4.1.4 Usuario más lejano de la Zona 2

En la Figura 31-2 se muestra al usuario más lejano y la distancia a 1,34924 km de la OLT.

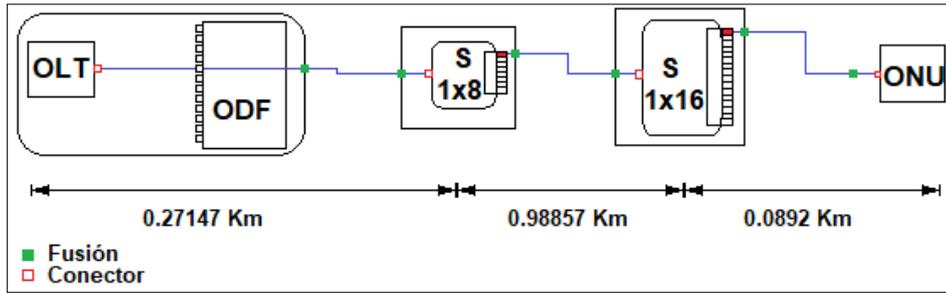


Figura 31-2. Masivo/Casa Usuario más lejano Zona 2

Realizado por: Achig Lizbeth, 2020

$$A_t = A_{fo} + A_c + A_f + A_{s1} + A_{s2}$$

$$A_t = \left(0,4 * \frac{1,34924}{1000}\right) + (5 * 0,5) + (6 * 0,1) + 9,03 + 12,04$$

$$A_t = 24,709696 \text{ dB}$$

2.4.2 Balance óptico de potencia

Consiste en evitar sobrecargas de la potencia de la señal transmitida por el sistema y así verificar si los equipos la soportan. La recepción de los equipos depende de la potencia de transmisión y de las pérdidas obtenidas en la red, para el cálculo se utilizará la Ec. 5-2 del balance de potencias.

$$P_{Rx} \leq P_{Tx} - A_t - M_G \quad \text{Ec. 5-2.}$$

Dónde:

P_{Rx} : Potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo

P_{Tx} : Potencia máxima del transmisor óptico

M_G : Margen de guarda (seguridad)

La normativa ITU-T G.987.2 establece la sensibilidad del receptor óptica con el valor de -28 dB y 5dBm como valor máximo de potencia en la OLT y las ONT, para los cálculos del proyecto se utiliza un valor de potencia de 4.968 dBm, mismo que son utilizados en el cálculo del balance de potencia para el usuario más lejano y el más cercano.

2.4.2.1 Cálculo del balance de potencia del usuario más cercano Zona 1

La atenuación total del usuario más cercano es de 24,27402 dB y el margen de guarda para el cálculo es de 3dB, estos valores son los necesarios para el cálculo de balance de potencia.

$$-28dB \leq 4.968 dBm - 24.27402dB - 3 dB$$

$$\mathbf{-28dB \leq -22,30602 dB}$$

2.4.2.2 Cálculo del balance de potencia del usuario más lejano Zona 1

La pérdida total del usuario más lejano es de 24,816152 dB.

$$-28dB \leq 4.968 dBm - 24.816152 dB - 3 dB$$

$$\mathbf{-28dB \leq -22.848152 dB}$$

2.4.2.3 Cálculo del balance de potencia del usuario más cercano Zona 2

La atenuación total del usuario más cercano es de 24,307132 dB.

$$-28dB \leq 4.968 dBm - 24.307132dB - 3 dB$$

$$\mathbf{-28dB \leq -22,339132 dB}$$

2.4.2.4 Cálculo del balance de potencia del usuario más lejano Zona 2

La pérdida total del usuario más lejano es de 24,709696 dB.

$$-28dB \leq 4.968 dBm - 24.709696dB - 3 dB$$

$$\mathbf{-28dB \leq -22,741696 dB}$$

Como se puede observar en todos los resultados calculados no se sobrepasa del valor de la sensibilidad de recepción, por lo que se establece que los enlaces en todos los casos son óptimos.

CAPITULO III

3. RESULTADOS

En este capítulo se presentan los resultados de las simulaciones en el software mencionado en el Capítulo I así como las evaluaciones del diseño de la red, esto basándose en los valores de potencia de salida en la OLT y los recibidos por la ONT, los mismos que deben estar dentro de los parámetros establecidos por el estándar G987, es decir, que si la potencia mínima de sensibilidad de recepción del equipo es menor a la potencia de recepción, el enlace se considera como óptimo.

3.1 Simulación de la red

La simulación del diseño de la red se realizó en el software OptySistem versión 17.0, con el cual se compararán los resultados teóricos del balance de potencia que se calcularon en el Capítulo II, en referencia al usuario más lejano y al usuario más cercano de cada Zona.

3.2 Desarrollo de la simulación

La simulación consta de tres partes OLT, ODN y ONT. (ANEXO D y ANEXO E)

3.2.1 Descripción de la OLT

En la Figura 1-3 se indican, los dos transmisores ópticos CW laser, el primero con longitud de onda de 1577 nm para la transmisión de voz y datos y el segundo con longitud de onda 1550nm para la transmisión de video, además en los transmisores se configuran las potencias a 5 dBm, la velocidad de transmisión a 10 Gbps, los mismos valores que están establecidos en el estándar G.987, además se usó la modulación con codificación NRZ (no return to zero).

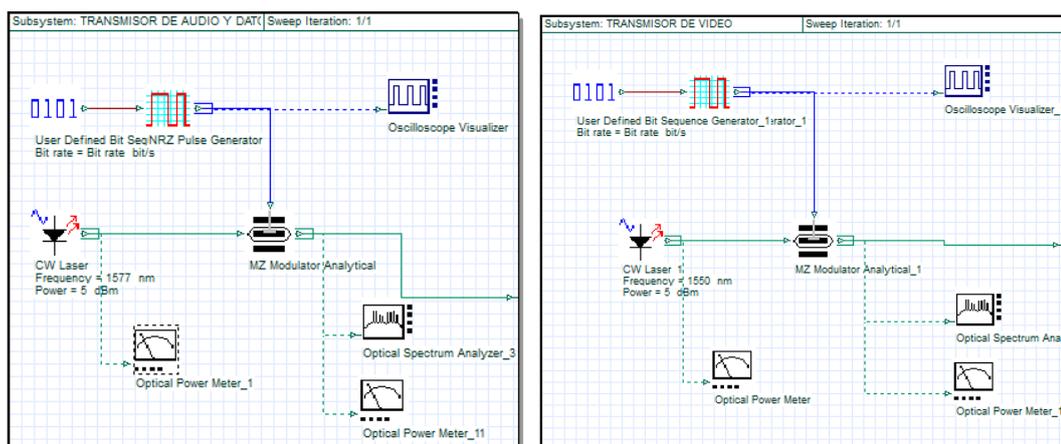


Figura 1-3. Transmisores en OLT (terminación de la línea óptica)

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

El receptor está compuesto por un receptor óptico el cual convierte la señal óptica a eléctrica, posteriormente pasa a un filtro Butterworth que elimina el ruido generado por la transmisión y deja pasar la señal de longitud de onda upstream de 1270 nm y almacena los datos conforme llegan a la OLT, finalmente se colocó un osciloscopio, un analizador de diagrama de ojo y un analizador de BER para visualizar los datos recibidos como se muestra en la Figura 2-3.

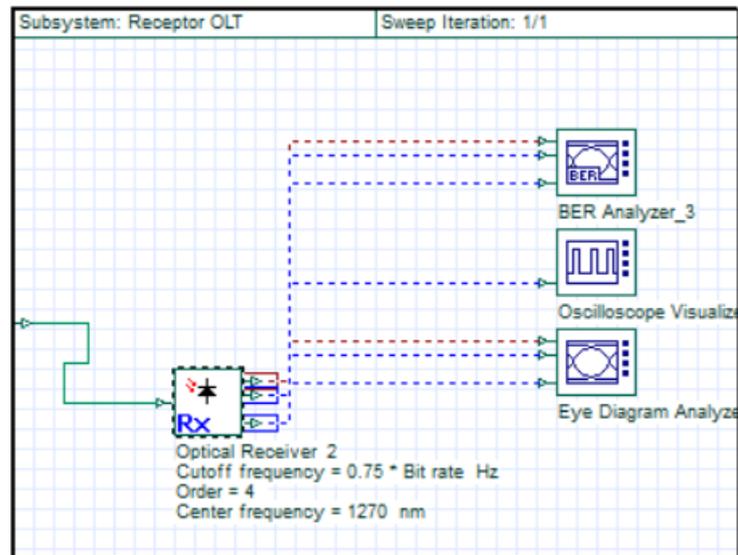


Figura 2-3. Receptor OLT (terminación de la línea óptica)

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.2.2 Descripción de la ODN

La sección de la ODN es constituida por fibra óptica bidireccional según el estándar ITU-T G652.d, asimismo en la simulación se configuro la distancia, la atenuación y la longitud de onda en 1550 nm, además se configuro el primer nivel splitter a 1:8 con atenuación de 9.03 dB y el segundo nivel de splitter a 1:16 con atenuación de 12.04 dB como se muestra en la Figura 3-3.

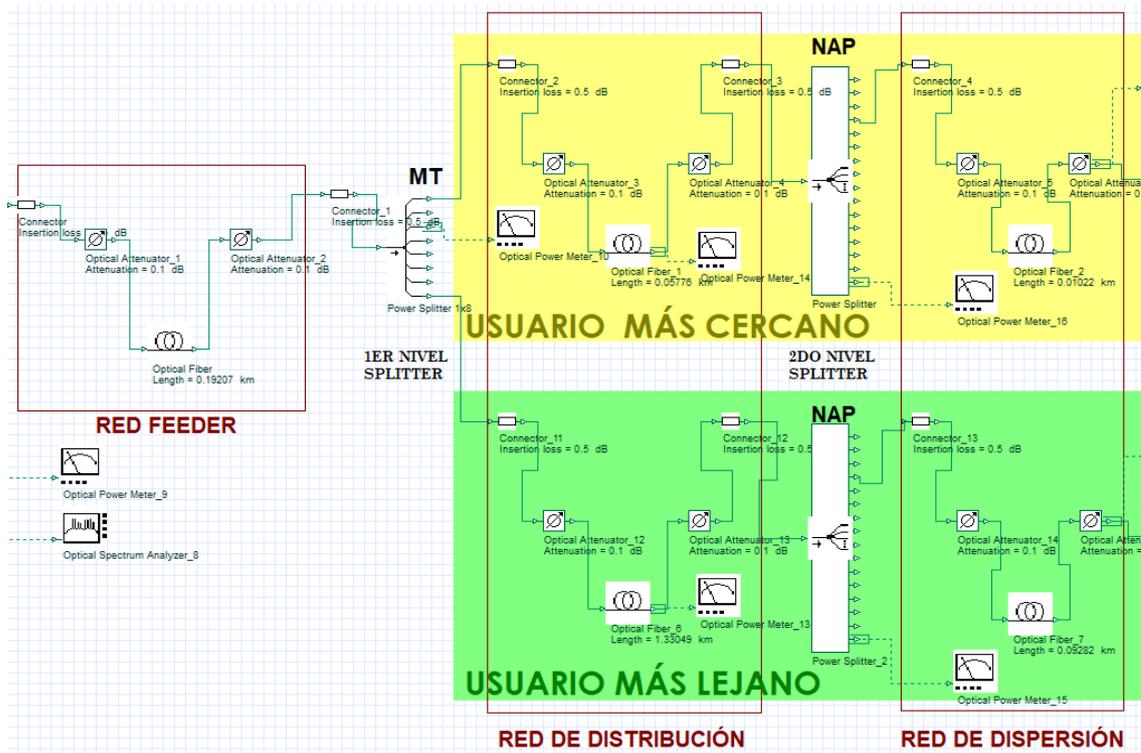


Figura 3-3. ODN (Red de distribución óptica)

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.2.3 Descripción de la ONU

El equipo ONU consta de un receptor óptico que convierte la señal óptica enviada desde la OLT en una señal eléctrica, como en el trayecto de la comunicación se multiplexan las señales y se generan componentes de ruido fue necesario colocar un filtro de Butterworth para que se recupere la señal sin interferencias. La Figura 4-3 muestra los dos receptores configurados a las longitudes de onda para cada servicio.

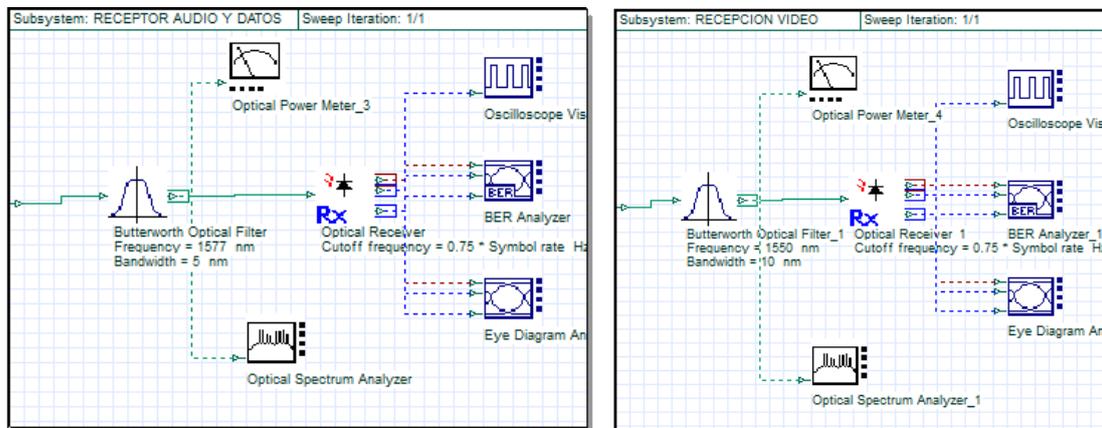


Figura 4-3. Recepción ONU (Unidad de red óptica)

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

Además, la ONU consta de un transmisor óptico CW laser donde se configuró la longitud de onda de 1270 nm para upstream como se muestra en la Figura 5-3.

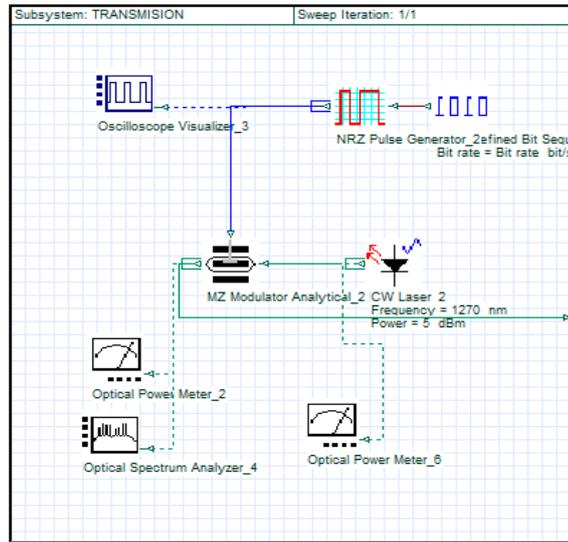


Figura 5-3. Transmisión ONU

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3 Resultados de la simulación

Para la visualización de los resultados se usó un Optical Power Meter que sirve para verificar la potencia que sale de la OLT y la que llega hacia la ONU; para visualizar los valores de factor Q y el mínimo error de bit (BER) se usa un BER Analyzer y para visualizar la calidad del enlace del usuario más lejano y cercano se utiliza un Eye Diagram Analyzer.

3.3.1 Potencia para la Zona 1

La Tabla 1-3 muestra las potencias obtenidas en la Zona 1 empezando en la OLT, luego el primer y segundo nivel de splitter y finalmente la potencia de llega a las ONU.

Tabla 1-3: Presupuesto de potencias para la Zona 1

Potencias	Usuario más cercano	Usuario más lejano
Salida de la OLT	4,968 dBm	4,968 dBm
Después del primer nivel de splitter	-5,336 dBm	-6,47 dBm
Después del segundo nivel de splitter	-18,602 dBm	-19,111 dBm
Recibida en la ONU	-22,316 dBm	-22,858 dBm

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.1.1 Potencia a la salida de la OLT

La Figura 6-3 muestra el valor de potencia de salida de la OLT, que es igual a 4.969 dBm, con esta potencia la señal óptica será transmitida hasta las ONU's.



Figura 6-3. Potencia de salida de la OLT

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.1.2 Potencia recibida por la ONU del usuario más cercana

La potencia recibida por la ONU se muestra en la Figura 7-3, de acuerdo con la simulación es de -22.316 dBm mientras que el valor calculado teórico es igual a -22.30602 dBm, por lo que existe una diferencia mínima de -0.009 dBm, que representa un error porcentual del 0.04% entre los dos valores, dado que, el resultado obtenido está dentro del rango de sensibilidad de potencia se comprueba que la transmisión es óptima.

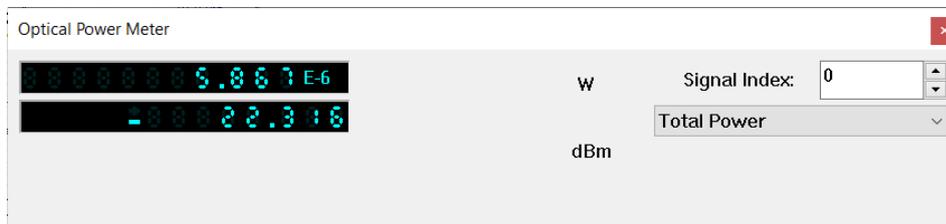


Figura 7-3. Potencia recibida en la ONU más cercana

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.1.3 Potencia recibida por la ONU del usuario más lejano

La potencia recibida por la ONU generada por la simulación se muestra en la Figura 8-3, siendo igual a -22.858 dBm, el valor del cálculo teórico es de -22.8481 dBm, por lo que existe una diferencia mínima de -0.009 dBm, que representa un error porcentual del 0.04% entre los dos valores; la transmisión es óptima dado que el valor recibido está dentro del rango de sensibilidad de potencia.

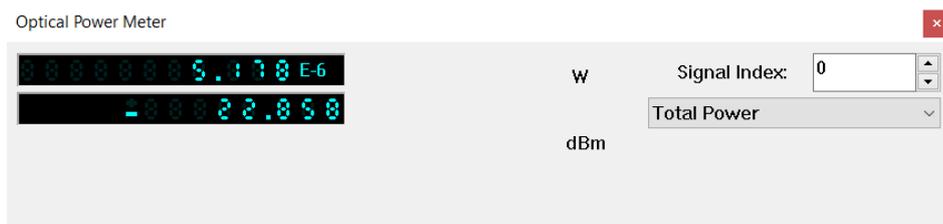


Figura 8-3. Potencia recibida por la ONU más lejana

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.2 Potencia para la Zona 2

La Tabla 2-3 indican las potencias obtenidas por medio de la simulación en la Zona 2, desde la salida de la OLT, el primer y segundo nivel de splitter y la potencia de llegada a las ONU's de la Zona 2.

Tabla 2-3: Presupuesto de potencias para la Zona 2

Potencias	Usuario más cercano	Usuario más lejano
Salida de la OLT	4,968 dBm	4,968 dBm
Después del primer nivel de splitter	-5,369 dBm	-5,369 dBm
Después del segundo nivel de splitter	-18,636 dBm	-19,006 dBm
Recibida en la ONU	-22,349 dBm	-22,752 dBm

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.2.1 Potencia a la salida de la OLT

El valor de potencia de salida de la OLT es de 4.969 dBm como se muestra en la Figura 9-3.

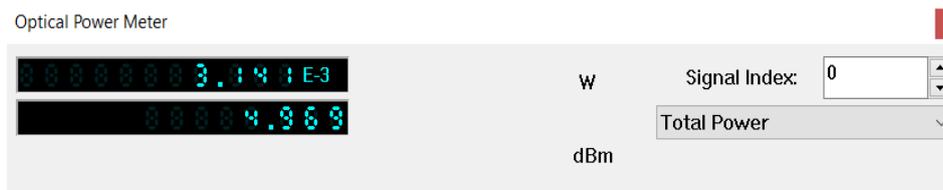


Figura 9-3. Potencia de salida de la OLT

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.2.2 Potencia recibida por la ONU del usuario más cercana

La potencia recibida en la ONU de acuerdo con la simulación se muestra en la Figura 10-3, y es de -22.349 dBm, mientras que el valor de cálculo teórico es de -22.3391 dBm, por lo que existe una diferencia mínima de -0.009 dBm, representando un error porcentual de 0.04% entre los dos valores, dado que, el resultado obtenido está dentro del rango de sensibilidad de potencia se comprueba que la transmisión es óptima.

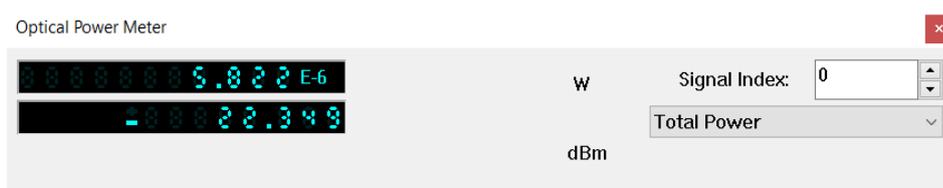


Figura 10-3. Potencia recibida por la ONU más cercana

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.3.2.3 Potencia recibida por la ONU del usuario más lejano

La potencia recibida en la ONU es igual a -22.752 dBm como se muestra en la Figura 11-3 generada por la simulación, mientras que el valor de cálculo es de -22.7417 dBm, existiendo un error porcentual del 0.05% entre los dos valores; se comprueba que la transmisión es óptima, dado que, el resultado obtenido está dentro del rango de sensibilidad de potencia.

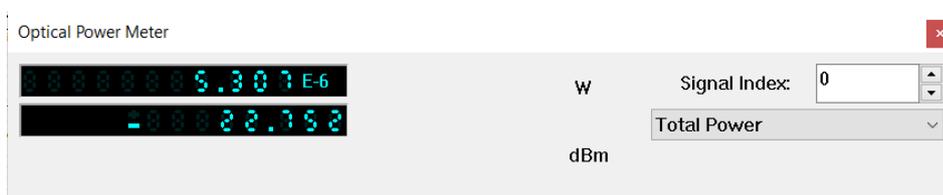


Figura 11-3. Potencia recibida por la ONT más lejana

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.4 Señales de transmisión

Las señales de transmisión se visualizan por medio de un Oscilloscope Visualizer y un Optical Spectrum Analyzer.

3.4.1 Señales de transmisión en la Zona 1

En la Figura 12-3 a través de un osciloscopio se muestra la señal de transmisión que se genera en la OLT en bit/s y el espectro que se forma de dicha señal se muestra en el analizador de espectros, el mismo que tendrá como centro la longitud de onda de 1577 nm ya que se está transmitiendo audio y datos, los espectros que se generan alrededor son considerados como ruido, y serán eliminados por el filtro del receptor.

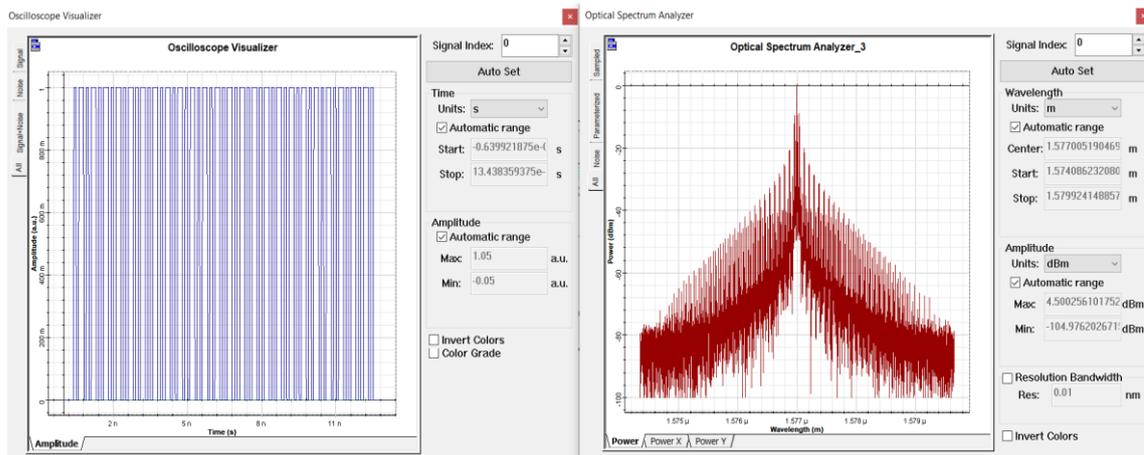


Figura 12-3. Señales de transmisión de audio y datos.

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La Figura 13-3 muestra la señal de transmisión de video que genera la OLT en bit/s y el espectro que se forma de dicha señal teniendo como centro la longitud de onda de 1550 nm.

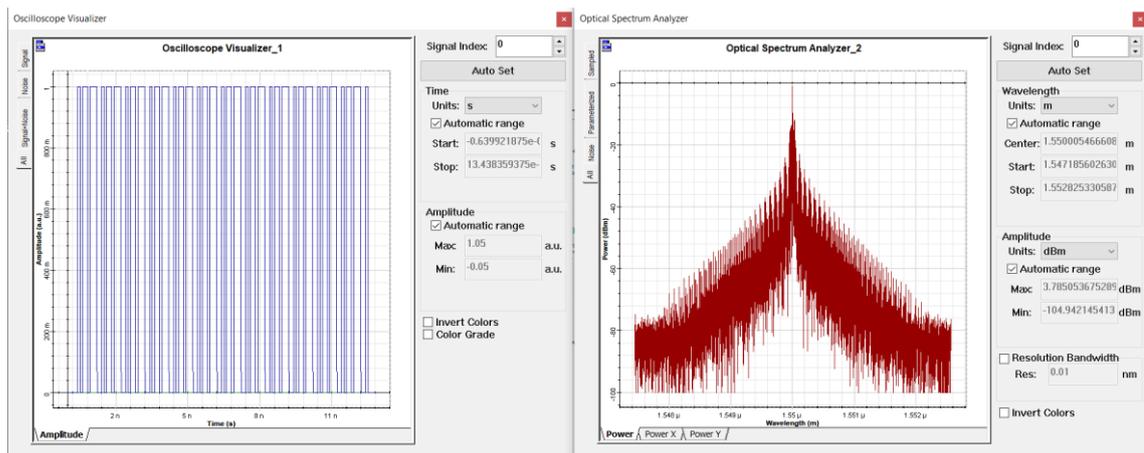


Figura 13-3. Señales de transmisión de video.

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

El espectro de la señal a la salida de la OLT contiene las señales de audio, datos y video siendo transmitidas a sus respectivas longitudes de onda y enviadas simultáneamente, esto se representa en la Figura 14-3.

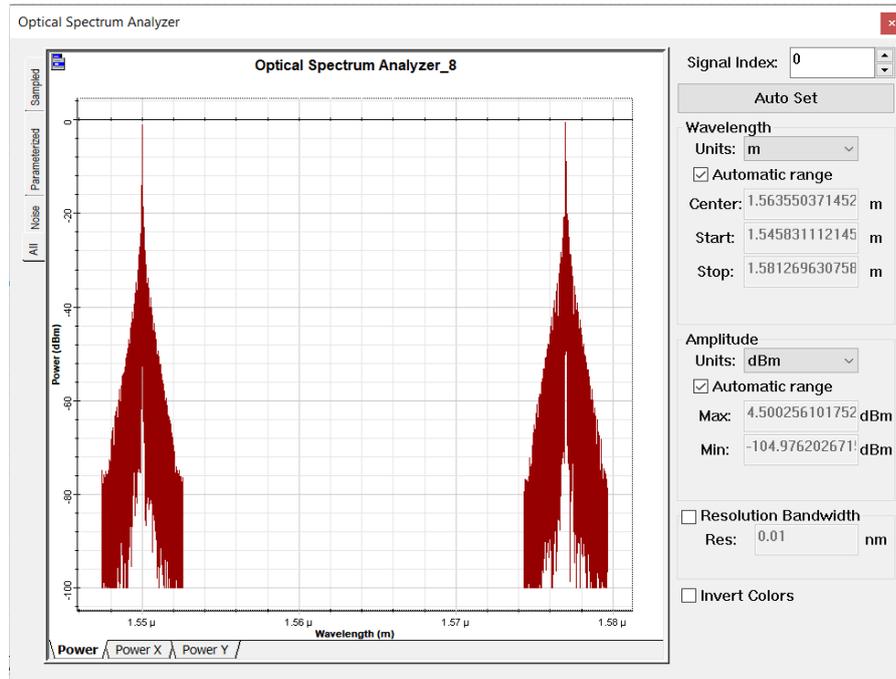


Figura 14-3. Espectro de la señal de salida de la OLT.

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

En la Figura 15-3 y la Figura 16-3 se muestran las señales de audio y datos recibidas por el usuario más cercano y lejano respectivamente. La Figura 17-3 y Figura 18-3 muestran la recepción de las señales de video, la señal cuenta con un retardo mínimo esto debido a la distancia existente entre la OLT y la ONU, el mismo que está contemplado dentro del estándar, también es debido al tipo de transmisión que se usa, por otro lado, el espectro de la señal pasa por un filtro para separar las componentes de la señal de audio/datos y video y eliminar las señales que se generaron en el trayecto así como el ruido, esto ocurrirá tanto para el usuario más cercano como para el usuario más lejano.

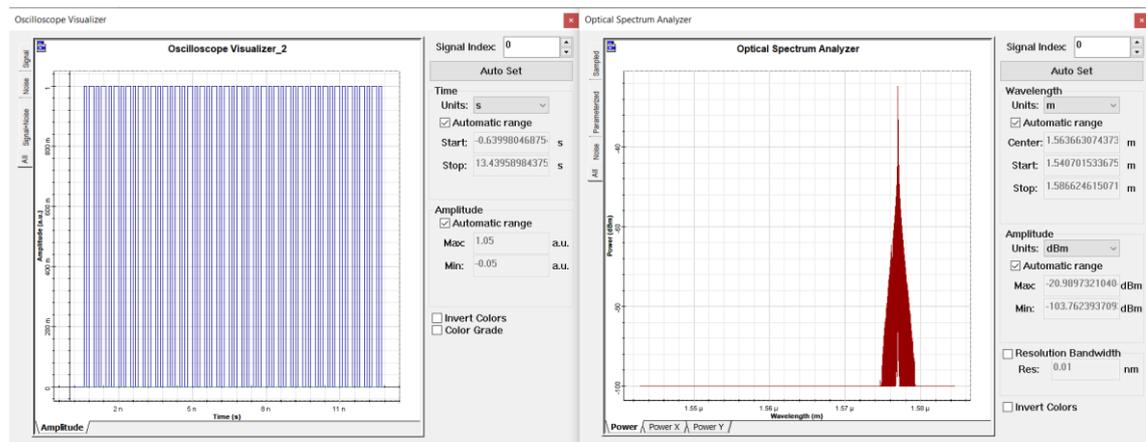


Figura 15-3. Señales de audio y datos recibidos en la ONU del usuario más cercano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

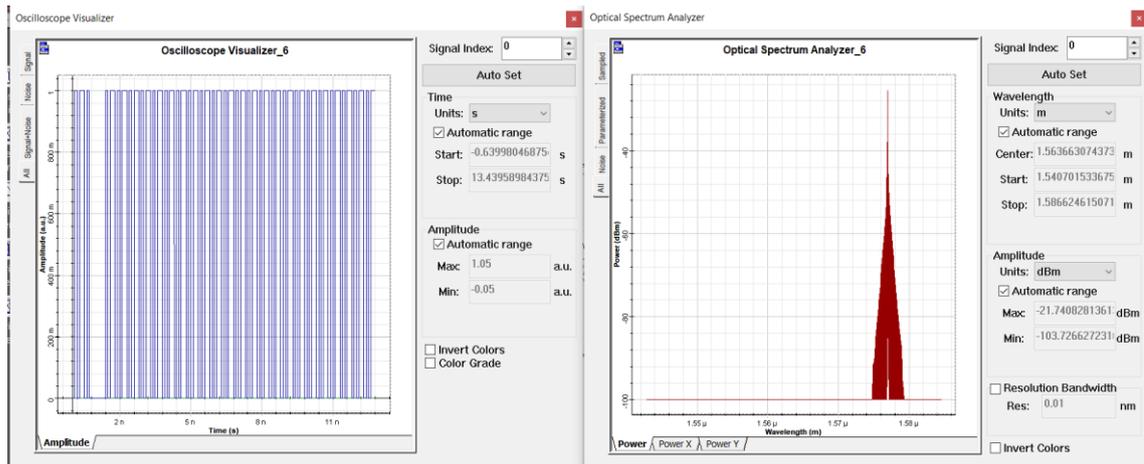


Figura 16-3. Señales de audio y datos recibidos en la ONU del usuario más lejano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

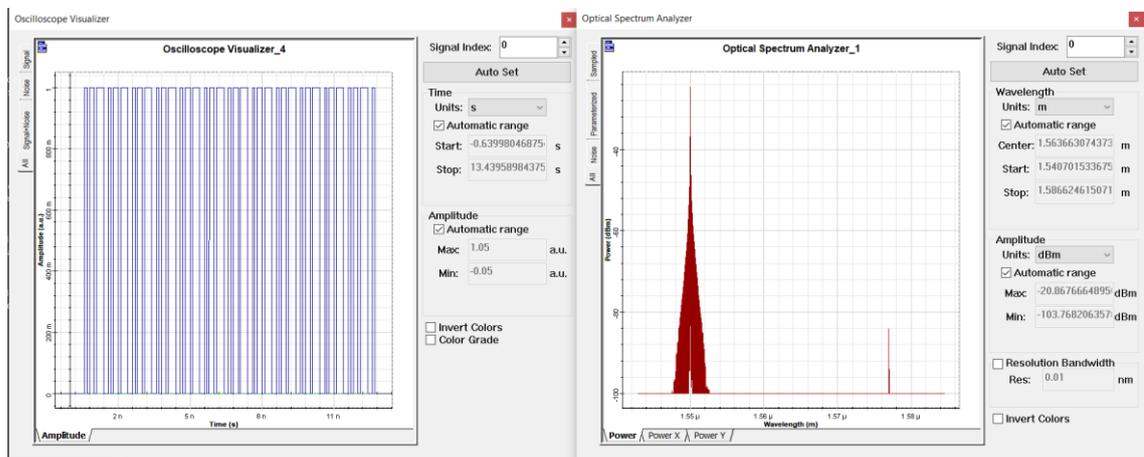


Figura 17-3. Señales de video recibida en la ONU del usuario más cercano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

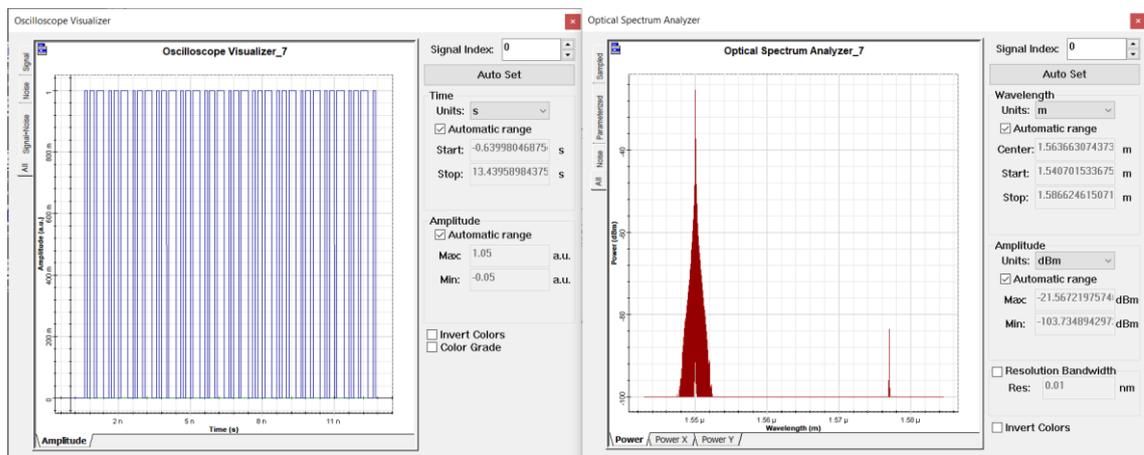


Figura 18-3. Señales de video recibida en la ONU del usuario más lejano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La ONU transmite la señal hacia la OLT con una longitud de onda 1270 nm, la Figura 19-3 muestra la señal generada por el usuario en bit/s y el espectro que se crea por dicha señal sobre la longitud de onda designada para transmisión upstream.

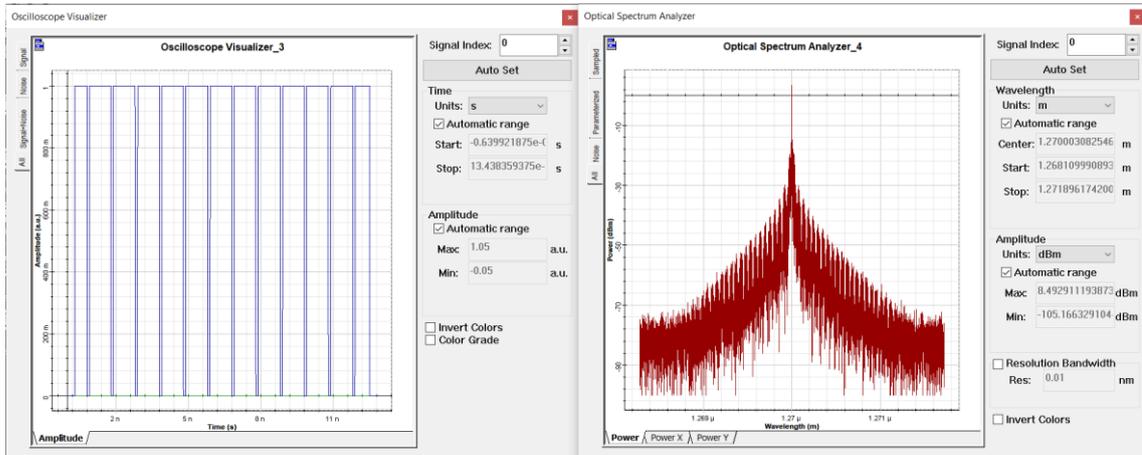


Figura 19-3. Señal de salida de la ONU

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La Figura 20-3 muestra la señal que es recibida por la OLT, al ser más pequeñas las transmisiones de subida (hasta de 2.5 Gbps) se visualiza de forma más clara que la señal no sufre alteraciones en el trayecto.

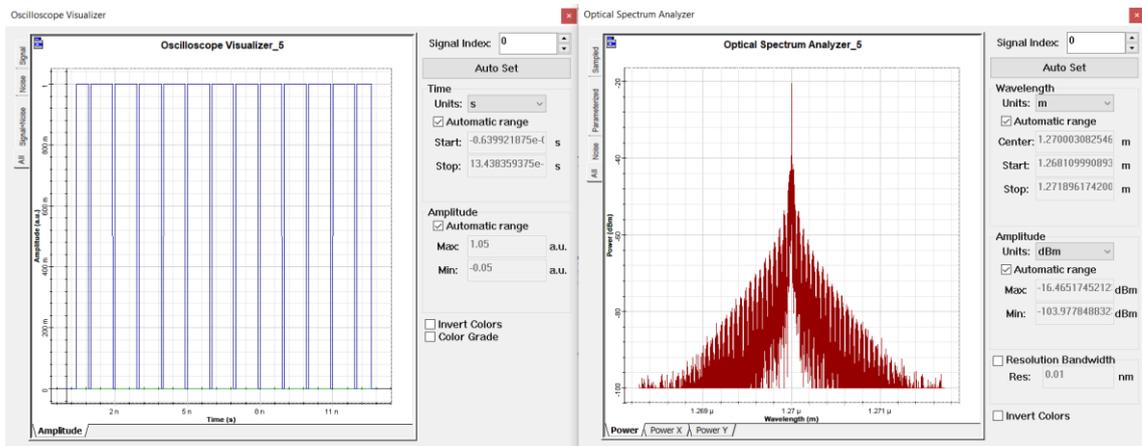


Figura 20-3. Señal recibida en la OLT

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.4.2 Señales de transmisión en la Zona 2

Las señales y los espectros de señal en los transmisores de audio/datos y video en son los mismos que de la Zona 1, esto debido a que parte del mismo equipo OLT. La Figuras 21-3, Figura 22-3, Figura 23-3 y Figura 24-3 muestran las señales de audio/datos y video recibidas por la ONU's del usuario más cercano y lejano respectivamente.

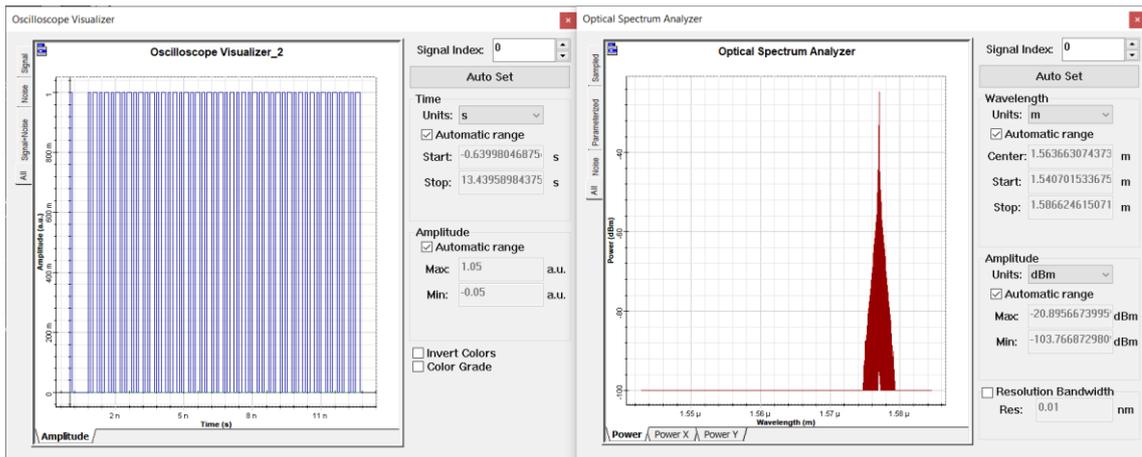


Figura 21-3. Señales de audio y datos recibidos en la ONU del usuario más cercano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

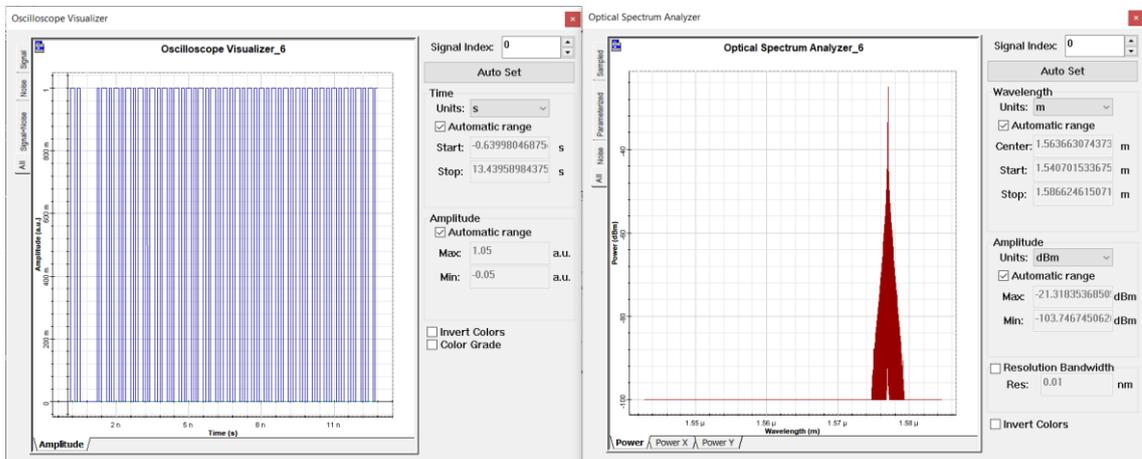


Figura 22-3. Señales de audio y datos recibidos en la ONU del usuario más lejano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

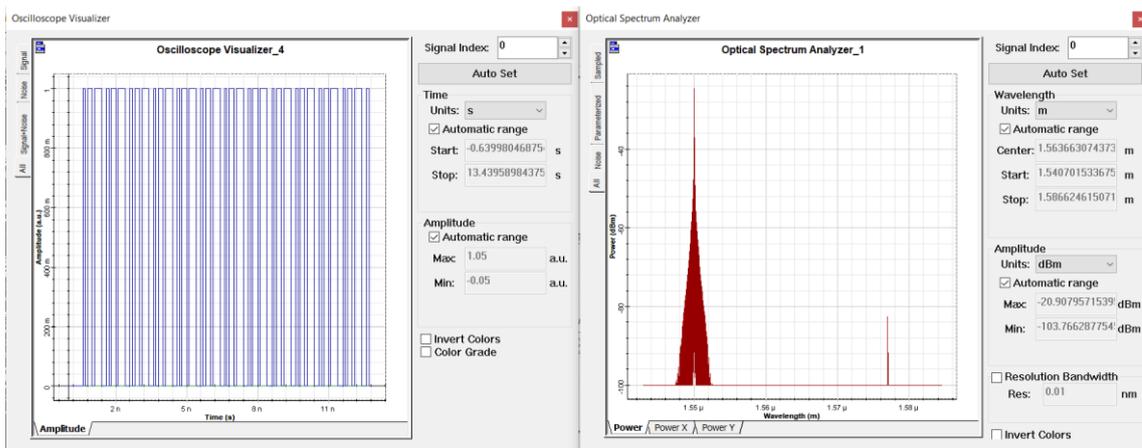


Figura 23-3. Señales de video recibida en la ONU del usuario más cercano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

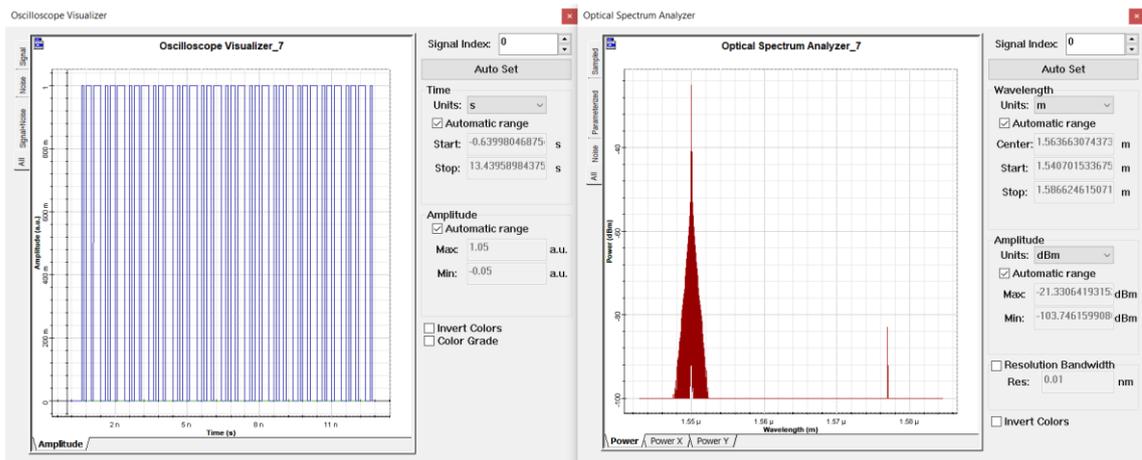


Figura 24-3. Señales de video recibida en la ONT del usuario más lejano

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La Figura 25-3 muestra la señal que será enviada desde el equipo ONT y es recibida en la oficina central OLT.

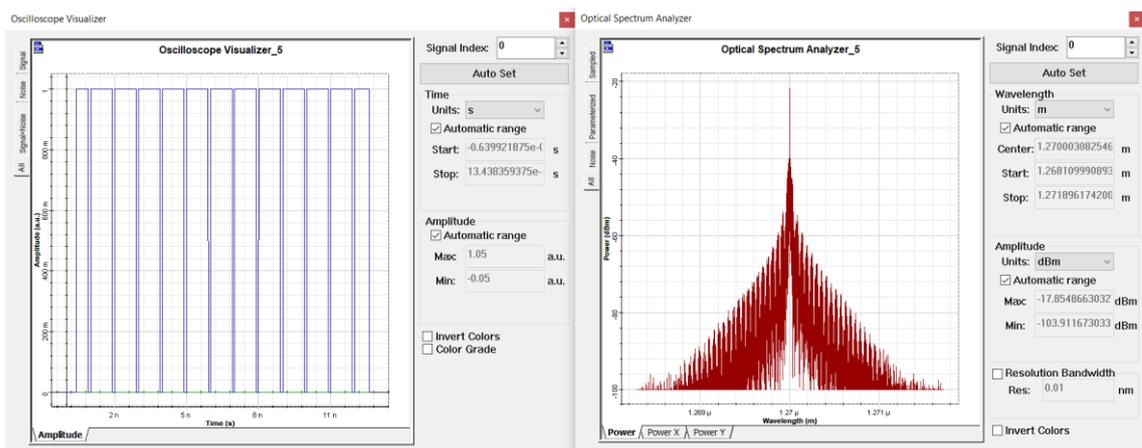


Figura 25-3. Señal upstream recibida en la OLT

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.5 Factor Q y BER (Bit error ratio)

El BER representa la relación entre los bits recibidos correctamente vs los bits erróneos, en cambio el factor Q contempla factores como la atenuación, dispersión y ruido que es originado por el sistema, para visualizar estos valores se utiliza el BER Analyzer ya que este permite visualizar los índices de tasa de error de bits (BER) y el factor de calidad.

En la Tabla 3-3 se detallan los valores de factor Q y mínimo BER de las señales de audio/dato y de video recibidas en las ONU's de los usuarios más cercanos y lejanos de cada zona, además cabe recalcar que el valor referencial del factor Q es de 6 y el valor del mínimo BER de referencia de acuerdo con el estándar para la clase N1 es de $10e-010$.

Tabla 3-3: Valores de factor Q y BER de la red

Usuarios	Factor Q	BER
Audio y datos		
Más cercano Zona 1	19.7785	2.28120e-087
Más lejano Zona 1	20.3333	3.24416e-092
Más cercano Zona 2	21.6290	4.78549e-104
Más lejano Zona 2	20.2162	3.52433e-091
Video		
Más cercano Zona 1	23.9267	8.06158e-127
Más lejano Zona 1	21.4576	1.93161e-102
Más cercano Zona 2	23.7336	8.09607e-125
Más lejano Zona 2	21.8500	3.87609e-106

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

De acuerdo con los valores obtenidos en la simulación se puede apreciar que la transmisión es óptima y de calidad en las dos zonas ya que los valores del Factor Q son al menos tres veces mayores al valor de referencia; en el caso del mínimo BER se establece un error muy pequeño, es decir, que por cada mil millones de bit transmitidos existirá apenas entre uno a ocho bits errados, lo que no distorsionaría o afectaría la información transmitida.

En la Figura 26-3 se muestra el factor de calidad y el mínimo BER del usuario más cercano de la red, su valor máximo del Factor Q es de 19.7785 siendo muy superior al 6 establecido en el estándar y un valor del mínimo BER de 2.2812e-087 mismo que es inferior al 10e-010 establecido en el estándar, con esto se comprueba que el enlace es óptimo, eficiente y brinda un servicio de calidad.

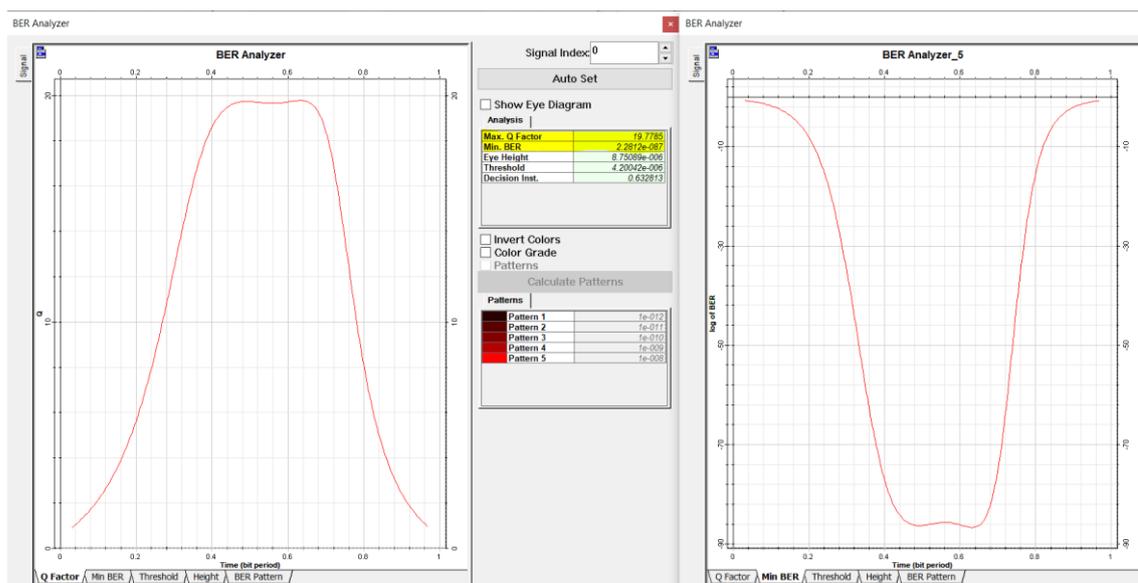


Figura 26-3. Máximo factor Q y mínimo BER de usuario más cercano de la red

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

En la Figura 27-3 se muestran los valores de factor de calidad y mínimo BER del usuario más lejano de la red, el valor del máximo Factor Q es 20.3333 y el mínimo BER es 3.24416e-092, mismos que superan las condiciones establecidas en el estándar, por lo que se considera que los enlaces son óptimos, eficiente y de buena calidad en la transmisión de señal.

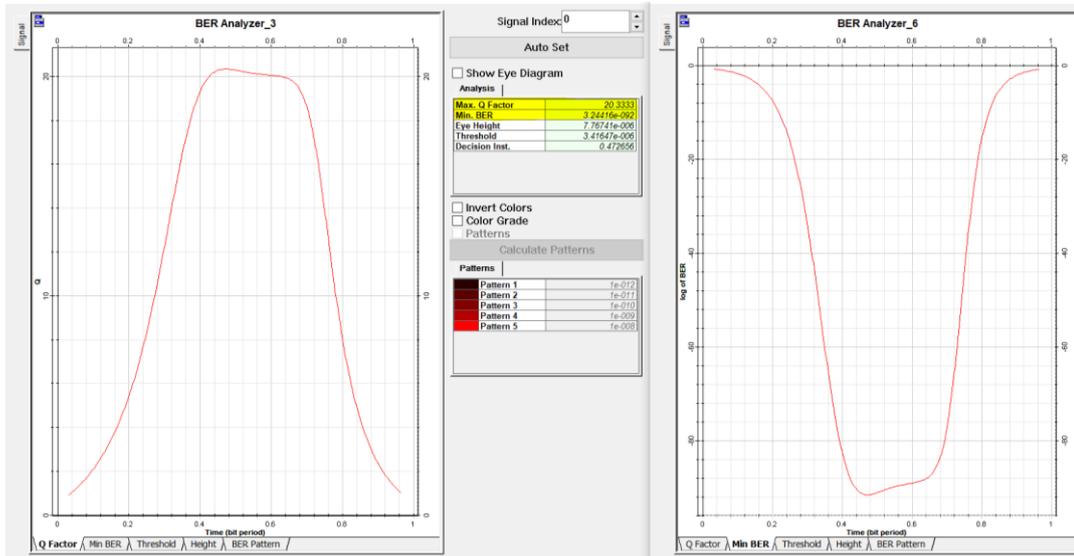


Figura 27-3. Máximo factor Q y mínimo BER de usuario más lejano de la red

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

3.6 Diagrama de ojo

El diagrama del ojo nos permite visualizar de una manera más clara la calidad de la señal que está llegando a las ONT's de los usuarios, es decir mientras mejor sea el diagrama de ojo mejor la comunicación y transmisión de datos. El análisis del diagrama del ojo consta de tres partes fundamentales, Apertura vertical, pendiente y Jitter, en la Figura 28-3 se muestran estas partes.

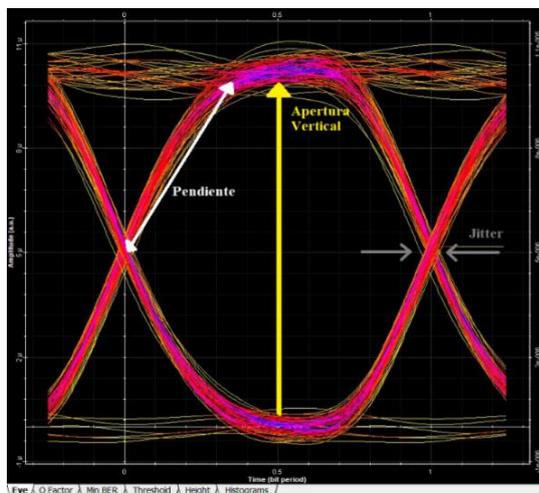


Figura 28-3. Elemento del diagrama de ojo

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La sección vertical permite apreciar si la transmisión contiene errores o ruido, mientras mayor sea la apertura vertical mayor inmunidad frente al ruido, por otro lado la pendiente del ojo dependerá de la apertura vertical y horizontal, cuanto mayor sea la pendiente en el sistema se contará con mayor sensibilidad a errores al momento de realizar la recuperación de sincronismo, en el caso del Jitter, se debe tomar en cuenta que debe estar ubicado lo más cercano a los valores 0 y 1, y mientras más pequeño sea, menos afectada se verá la transmisión de la señal.

La Figura 29-3 muestra el diagrama de ojo con las peores características de la red, este diagrama pertenece al usuario más lejano de la red, la apertura del ojo es de $0.783978 \mu\text{m}$ este valor dan a denotar que se empieza a generar una interferencia Inter simbólica (ISI) mínima, lo que aumenta la posibilidad de los errores de bit, en este caso se tiene un valor de BER de $6.72527 \text{e-}091$ el cual es mucho menor a comparación del $10\text{e-}010$ establecido en el estándar, el jitter cuenta con un ancho de 0.065 , y muestra una posibilidad muy pequeña de que se llegara a afectar a la trasmisión de la señal, con los valores obtenidos en este diagrama y la visualización de las forma de ondas que se están transmitiendo, se comprueba que no hay interferencias entre señales y se establece que la transmisión en el enlace es óptima y presenta una buena calidad.

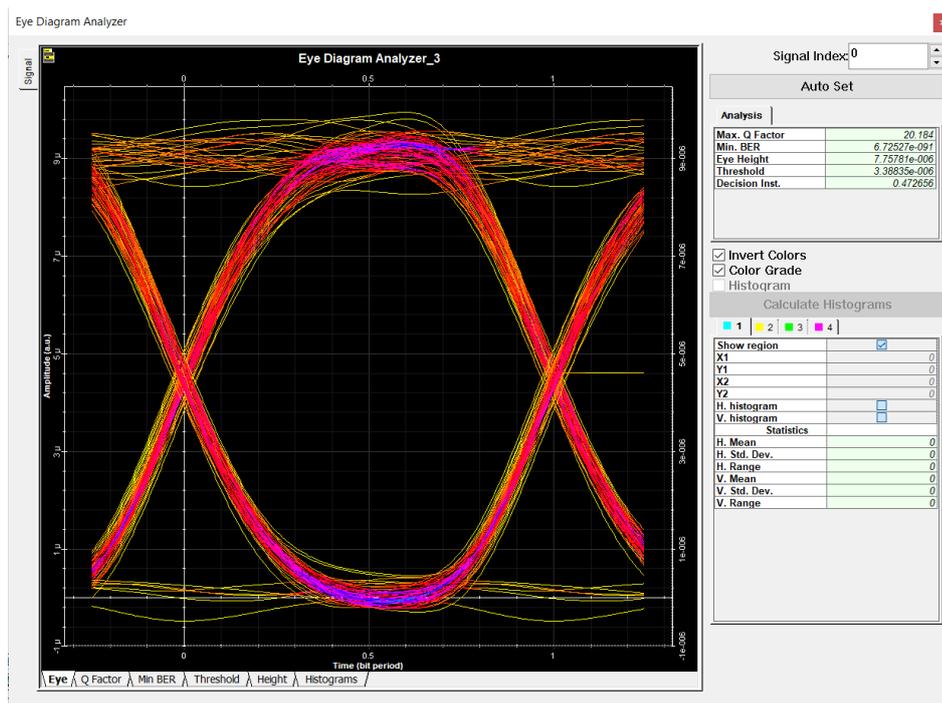


Figura 29-3. El peor diagrama de ojo de la red

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La Figura 30-3 muestra el mejor diagrama de ojo con las mejores características de la red, cuenta con una apertura vertical de $0.88662 \mu\text{m}$, además se observa que la pendiente es mayor a la de la Figura 29-3, lo que indica que el sistema cuenta con mayor sensibilidad a errores al momento de realizar la recuperación de sincronismo, por lo que el BER es más pequeño $8.06158 \text{e-}127$ que el

establecido en el estándar, en el caso del Jitter el ancho es de 0.045 siendo más pequeño que la del caso anterior, por lo que se disminuye aún más la posibilidad de que se llegará a afectar la transmisión de la señal, después del análisis de valores se establece que en los dos casos la transmisión es óptima y además muestran una buena calidad en la transmisión de la señal.

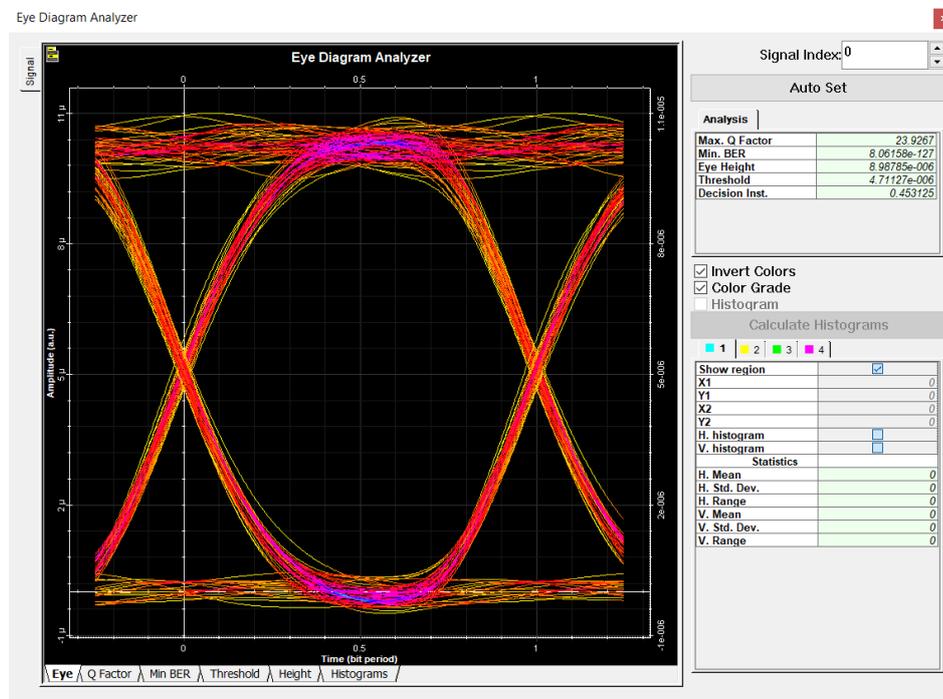
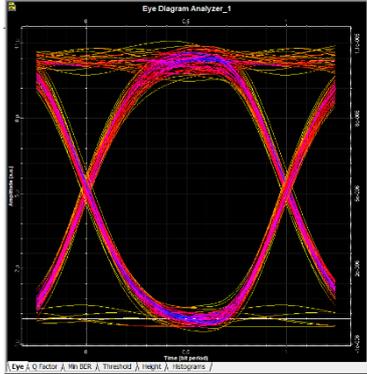
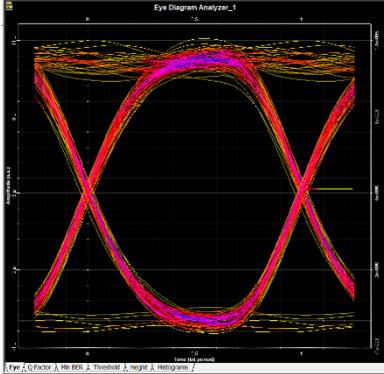
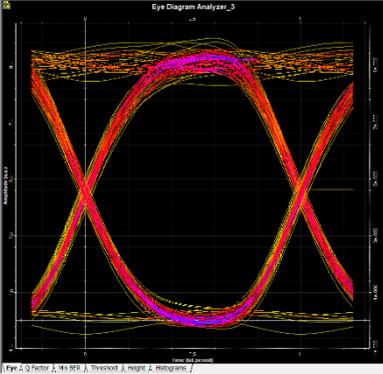
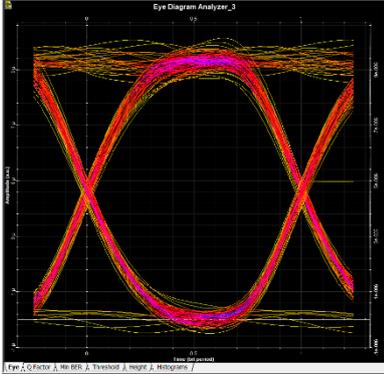
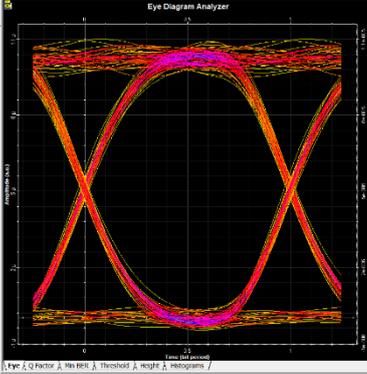
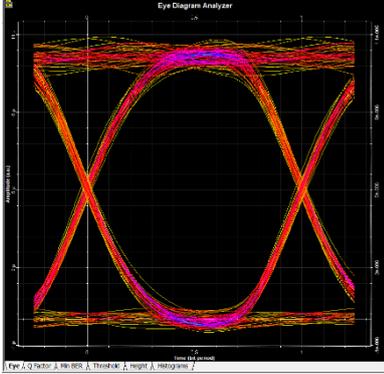
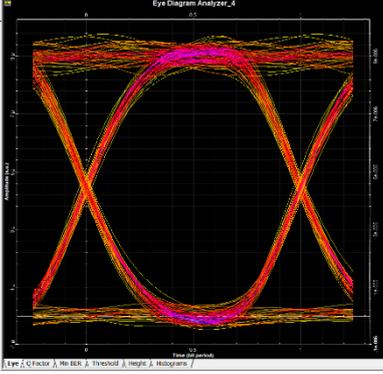
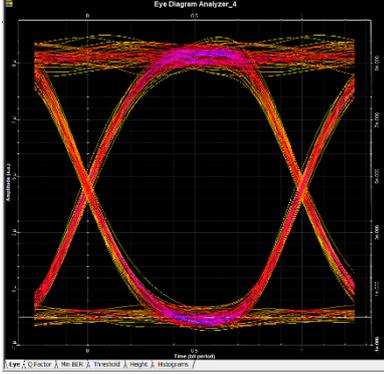


Figura 30-3. El mejor diagrama de ojo de la red

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

La Tabla 4-3 recoge los diagramas de ojo obtenidos en las ONU's de la simulación, como se puede apreciar la apertura de todos los ojos son similar, esto debido a que se tomó en cuenta en el diseño que las distancia entre los equipos para las dos zonas sean equitativos. En base al análisis del mejor y peor diagrama de ojo, se establece que las aperturas verticales están entre 0.783978 μm a 0.88662 μm , los anchos de jitter entre 0.045 a 0.065, y los errores de bit entre 10e-127 y 10e-091, por lo que se afirma que las señales transmitidas en la red son óptimas en la transmisión de audio/datos y video, y las señales no cuenta con afectaciones ni distorsiones significativas que afecten la calidad.

Tabla 4-3: Diagramas de ojo de la red

Usuarios	Zona 1	Zona 2
Audio y datos		
Más cercano		
Más lejano		
Video		
Más cercano		
Más lejano		

Realizado por: Achig Lizbeth, 2021

CONCLUSIONES

- Al analizar los parámetros de las normativa ITU-T G987.X se estableció la siguientes prestaciones favorables; conexión de 128 abonado de manera física y hasta 256 de manera lógica por puerto de OLT, metodología de transmisión bidireccional por medio de la técnica de multiplexación por división de longitud de onda (WDM) lo que le permite trabajar sobre una sola fibra, además usa longitudes de onda de subida y bajada de 1260 a 1280 nm y 1575 a 1580 nm respectivamente, haciendo así posible la coexistencia con el estándar ITU-T G984 (GPON). Entre los principales servicios que presta esta tecnología están los servicios de telefonía VOIP, IPTV, difusión de TV digital, T1, E1 y el acceso a Internet de alta velocidad.
- La realización del estudio de campo permitió establecer la demanda actual de los servicios de internet, existiendo un 40% de clientes que cuentan únicamente con servicios de internet que no satisfacen sus necesidades, y tan solo un 20% de estos cuentan con servicios Triple Play, además se determinó que solo el 10% de hogares se sienten satisfechos con sus servicios contratados; la mayoría de los problemas que se presentan están asociados a dificultades en la conexión, al número de dispositivos que se conectan simultáneamente y a la poca capacidad del servicio (ancho de banda), por lo que la demanda proyectada para este estudio fue determinada por el número de hogares que están insatisfechos con sus servicios y por los interesados en servicios Triple Play, así se infiere un 74% de demanda potencial, es decir 1124 hogares a 2020 y una proyección de crecimiento del 19% para 2030.
- Mediante el software de infraestructura de red Optisystem y por medio de los parámetros del estandar ITU-T G987 se consideraron las siguientes características principales en el diseño de la red; 1338 abonados, reservas de fibra óptica tanto en la red de distribución como en la red Feeder a un crecimiento del 19% para los próximos 10 años, la división en dos zonas de la parroquia para la ubicación equitativa de los equipos y las normas de planta externa de CNT E.P. para las distancias máximas entre la NAP y la ONT.
- Se evaluó la red por medio de software y se corroboró junto a los valores de cálculo realizados para la obtención de las pérdidas en los enlaces, mismos que fueron lo más cercano a la realidad, tomándose en cuenta las peores condiciones tanto para el usuario más lejano como para el usuario más cercano, dando como resultado enlaces óptimos ya que la atenuación máxima fue de 22,85 dB, es decir, que los valores obtenidos están dentro de los rangos aceptados por los equipos OLT y ONTs (los rango de atenuación de XG-PON1 son de 14 dB a 29 dB), además, se pudo observar por medio de las gráficas de la simulación que existe calidad en la señal del sistema de comunicaciones ya que los valores de Factor Q son tres veces mayor al establecido en el estándar ($19.7785 > 6$) y el mínimo BER es mucho menor al establecido por el estándar ($10e-10 > 2.28120e-087$), por lo que, los enlaces no van a sufrir

degradaciones significativas que afecten al diseño planteado cuando existan cambio o crecimiento en la red.

- En la determinación de los equipos se tomó en cuenta la compatibilidad de todos los elementos de la red, es decir que la misma pueda trabajar con diferentes tipos de estándares, de fibras ópticas, diferentes tipos de splitter y fundamentalmente que los equipos OLT y ONTs se puedan adaptar a las condiciones de cambio que sufra la infraestructura, por lo que se seleccionó equipos de la marca Huawei, esto debido a la capacidad de estos, además cabe destacar que la OLT Huawei MA5800-X2 cuenta con las características que permiten satisfacer los nuevos requerimientos de conexión, siendo el principal los servicios Triple Play, también posee tarjetas con varios puertos SFP cuya capacidad es de 80Gbit/s. Los valores referenciales de inversión del proyecto según el mercado son de \$ 285.653,76 para su implementación tecnológica, y se proyecta recuperar esta inversión inicial en 12 meses.

RECOMENDACIONES

- Las normativas ITU-T G987 están aún en desarrollo por lo que es recomendable utilizar las publicaciones más actuales, así como la revisión de corrección para estándares posterior, debido a que estos pueden influir en los servicios y los parámetros de compatibilidad entre estándares.
- De ser posible incrementar la cantidad de muestras para realizar las encuestas, esto con la finalidad de obtener datos precisos que permitan un dimensionamiento de las redes lo más cercano a la realidad de mercado demandante.
- Es recomendable realizar la simulación y cálculos de la red tomando en cuenta valores reales y considerando los peores escenarios a los que podría estar sujeta la misma, con esto se puede evitar errores de implementación, rediseños en la red e incremento en los presupuestos.
- Solicitar proformas a empresas que se especialicen en telecomunicaciones y tengan el conocimiento de los equipos ya que pueden brindar apoyo técnico a diferencia de las empresas comercializadoras que solo distribuyen el material.

BIBLIOGRAFÍA

ABDALLA, M.E., IDRUS, S.M. & MOHAMMAD, A.B. "Hybrid TDM-WDM 10G-PON for high scalability next generation PON". *Proceedings of the 2013 IEEE 8th Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2013* [en línea], 2013, (Australia) 30(4), pp. 1448-1450. [Consulta: 2 noviembre 2020]. ISSN 9781467363211. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/6566595>.

ACOSTA, Carlos Javier. Diseño técnico de la red de acceso para la empresa ARCLAD S.A, mediante tecnología FTTX (fiber to the x), a través de la infraestructura de red de CNT E.P. y criterios de instalación [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2012. pp. 50-95. [Consulta: 13 octubre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4845/1/CD-4439.pdf>.

ALULIMA, SALAZAR Enrique Israel & PALADINES, BRAVO César Augusto. Diseño de una Red GPON para la localidad de Vilcabamba [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador. 2014. pp. 6-61. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.utpl.edu.ec/handle/123456789/8473>.

CALE, Ivica, SALIHOVIC, Aida & IVEKOVIC, Matija. "Gigabit passive optical network - GPON. *Proceedings of the International Conference on Information Technology Interfaces ITI*" [en línea], 2007, (Croatia) 29(1), pp. 679-684. [Consulta: 12 noviembre 2020]. ISSN 13301012. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/4283853>.

CASTRO, Lechtaler Antonio Ricardo & FUSARIO, Rubén Jorge. *Teleinformática para ingenieros en sistemas de información II* [en línea]. Barcelona - España: Reverte, 1999, [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: <https://books.google.com.ec/books?id=ZOZp72uLGMwC&lpg=PA323&hl=es&pg=PA323#v=onepage&q&f=falsepp.790>.

CEVALLOS, SALAZAR Gabriela Katherine & CORONEL, AYALA Fausto Manuel. Diseño y simulación de una red de acceso para brindar servicios Triple Play con tecnología FTTX en el centro de la ciudad de Ambato [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2014. pp. 8-33. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7343>.

CNT. *Normas de diseño y construcción de redes de telecomunicaciones con fibra óptica.*

CONDE, Zhingre Lorena Elizabeth, QUEZADA, Sarmiento Alejandro Pablo & LABANDA, Jaramillo Leonardo Milton. "Interconnection using GPON technology in an intelligent city: Case study Ciudad de Loja (Ecuador)". *Revista Espacios* [en línea], 2018, (Ecuador) 39(3), pp. 12-22. [Consulta: 17 noviembre 2020]. ISSN 07981015. Disponible en: <http://www.revistaespacios.com/a18v39n03/a18v39n03p12.pdf>.

CRIOLLO, CAIZAGUANO Luis Santiago. Diseño de una red convergente de fibra óptica para interconectar los campus de la Universidad de las Américas [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2015. pp. 2-25. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/8078>.

CRUZ, NAULA Nataly Estefania. Diseño de una red FTTH utilizando estándar G.984.X para proveer servicio Triple Play en la zona urbana del Cantón Chambo [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 9-68. [Consulta: 20 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11020/1/98T00243.pdf>.

ESPAÑA, BOQUERA María Carmen. *Comunicaciones ópticas: conceptos esenciales y resolución de ejercicios*. Madrid-España: Díaz de Santos S. A., 2005, pp. 42-125. .

GARCÍA, YAGÜE Adolfo. "GPON Introducción Y Conceptos Generales". *TELNET* [en línea], 2012, S.l.: [Consulta: 5 noviembre 2020]. Disponible en: <https://www.telnet-ri.es/wp-content/uploads/2014/10/gpon-introduccion-conceptos.pdf>.

GOMEZ, Maria Sol & MOREJON, Adriana Paola. 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 [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012. pp. 1-141. [Consulta: 29 octubre 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2911>.

GUZMÁN, Diego, GONZÁLEZ, Michelle, SALVADOR, Gustavo, ZABALA, Gabriela & CASTILLO, Andrea., "Actualización del plan de desarrollo y ordenamiento territorial de la parroquia «ZAMBIZA»", *Reportes de las parroquias de DMQ* [en línea], 2015, Quito - Ecuador: [Consulta: 12 noviembre 2020]. Disponible en: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1160029140001_Fase de diagnostico final_15-10-2015_14-02-23.pdf.

HUAWEI. *EA5800-X2 Datasheet*.

HUAWEI. *Huawei ONT Products Datasheet*.

ILBAY, YUPA Hipatia Teresa. Diseño de una red de accesos GPON en la ESPOCH para proveer servicios Triple-Play (voz, video y datos) [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2015. pp. 7-85. [Consulta: 10 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6429>.

INEC. *Población por sexo, según provincia, parroquia y cantón de empadronamiento.*

ITU-T. *Lista de Recomendaciones del ITU-T.*

ITU-T G.983.1. *Sistemas de acceso óptico de banda ancha basados en redes ópticas pasivas G.983.1.*

ITU-T G.984.1. *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales.*

ITU-T G.984.2. *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa dependiente de los medios físicos.*

ITU-T G.984.3. *Gigabit-capable passive optical networks (G-PON): Transmission convergence layer specification.*

ITU-T G.984.4. *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.*

ITU-T G.984.5. *Gigabit-capable Passive Optical Networks (G-PON): Enhancement band.*

ITU-T G.984.7. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Long reach.*

ITU-T G.987.1. *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): General requirements.*

ITU-T G.987.2. *10 Gigabit Capable Passive Optical Networks (XGPON): Physical Media Dependent (PMD) Layer Specification.*

ITU-T G.987.3. *10-Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Transmission convergence (TC) layer specification.*

ITU-T G.987.4. *10 Gigabit-capable passive optical networks (XG-PON): Reach extension.*

JARDON, Aguilar Hildeberto & LINARES, y Miranda Roberto. *Sistemas de comunicaciones por fibras ópticas.* México, 2005, pp. 5-49.

MANJARRES, ALTAMIRANO Holguer David. Evaluación de una red de distribución óptica utilizada en el estándar GPON G984 para medir parámetros óptimos de calidad de servicio sobre

OPTISYSTEM utilizando normativa CNT [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 11-29. [Consulta: 14 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/7545/1/20T00916.PDF>.

OPEN UP. *Diferentes tipos de Fibra Óptica* [blog]. 2017 [Consulta: 15 octubre 2020]. Disponible en: <https://www.openup.es/diferentes-tipos-fibra-optica/>.

OPTRAL. *FIBRA OPTICA: Diferentes tipos y aplicaciones* [blog]. 2020 [Consulta: 29 octubre 2020]. Disponible en: www.C3comunicaciones.es.

OPTRONICS. *Cables fibra óptica* [blog]. 2020 [Consulta: 5 noviembre 2020]. Disponible en: <http://optronics.com.mx/index.php?mod=contacto>.

POZO, SUNTA Luis Fernando & ZURITA, ZURITA Kevin Andrés. Diseño y simulación de una red de acceso 10G-PON para el Sector de la Mariscal [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2019. pp. 1-71. [Consulta: 5 octubre 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec>.

QUISHPE, PÉREZ Alejandra Soraya & VINUEZA, ESTÉVEZ Nuvia Soraya. Estudio de factibilidad de una red de acceso para servicios Triple Play en el sector central de la ciudad de Ibarra, mediante la combinación de las tecnologías FTTX (Fiber To The X) [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2010. pp. 1-38. [Consulta: 6 octubre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3728>.

RADICELLI, Ciro D., POMBOZA, Margarita del R., SAMANIEGO, Nicolay S. & VILLACRÉS, Edison P. "Optic network to provide internet to the city of Riobamba-Ecuador". *Revista Espacios* [en línea], 2019, (Ecuador) 40(40), pp. 1-8. [Consulta: 25 octubre 2020]. ISSN 07981015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n40/a19v40n40p12.pdf>.

RODRÍGUEZ, ZAMBRANO Cristian Rudich. Diseño de una red FTTH para la renovación de los servicios de las operadoras telefónicas de Guayaquil [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2012. pp. 10-106. [Consulta: 29 noviembre 2020]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/495/1/T-UCSG-POS-MTEL-8.pdf>.

RUIZ, LOVATO David Ricardo. Estudio comparativo y simulación de las tecnologías PON tradicionales y emergentes [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Politécnica Salesiana Sede Quito, Quito, Ecuador. 2015. pp. 1-89. [Consulta: 29 octubre 2020]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>.

SANGUÑA, GUEVARA Paul Fernando. Estudio técnico de la red de comunicaciones para brindar los servicios de voz, internet y video por demanda de una urbanización [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2010. pp. 54-93. [Consulta: 29 octubre 2020]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1764/1/CD-2763.pdf>.

SARANGO, SÁNCHEZ David Israel. Diseño de una red de datos basada en tecnología XG-PON systems (10 gigabit capable passive optical networks) para el programa de vivienda Ciudad Verde [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2015. pp. 1-40. [Consulta: 11 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/11245>.

TENECORA, MEJÍA Iván Bolívar. Evaluación del proceso de migración de tecnología ADSL a fibra óptica bajo el estándar G.984.G GPON. Caso de estudio Macas, Morona Santiago [En línea] (Trabajo de titulación). (Maestría) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019. pp. 27-62. [Consulta: 5 noviembre 2020]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/9443/1/20T01137.pdf>.

TOMASI, Wayne. *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*. México: PEARSON, 2003, pp. 310-550.

TU CONECTIVIDAD LKD. *Catalo de Productos para instalación de fibra óptica* [blog] . 2020 [Consulta: 10 enero 2020]. Disponible en: <https://tu-conectividad-lkd.webnode.ec/>.

VARGAS, Ibrahín Alonso., *Sistemas de Fibra Óptica* [blog], 2014, Ica - Peru: [Consulta: 30 octubre 2020]. Disponible en: http://www.efn.uncor.edu/departamentos/electrotecnia/cat/eye_archivos/apuntes/a_practico/Cap 5 Pco.pdf.

VILLACÍS, VALENCIA Andrea Carolina. Diseño de una red 10G-PON para el Barrio de Carcelén Alto 3D [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2013. pp. 9-48. [Consulta: 25 octubre 2020]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5911/1/CD-4733.pdf>.

ZAMBRANO, VERA Maria Belen. Diseño y evaluación de una red FTTH y HFC en una zona urbana utilizando OPTISYSTEM para medir parámetro de eficiencia en la transmisión [En línea] (Trabajo de titulación). (Ingeniería) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017. pp. 10-56. [Consulta: 5 enero 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8438/1/98T00185.pdf>.

ANEXOS

ANEXO A: Formato de encuesta



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

Objetivo: Obtener datos para determinar la necesidad de aumento de anchos de banda en la parroquia Zámbriza.

Instrucción: Se solicita su entera colaboración y sinceridad en cada una de las respuestas. Marque con una X la respuesta.

1. ¿Qué tipo de servicio utiliza para conectarse a internet?

- a) Radioenlace.....()
- b) Cable de teléfono()
- c) Fibra óptica()

2. ¿Posee alguno/s de los siguientes servicios en su hogar?

- a) Solo Internet.....()
- b) Solo TV pagada.....()
- c) Solo Telefonía fija.....()
- d) Internet y TV pagada.....()
- e) Internet y Telefonía fija.....()
- f) Telefonía fija y TV pagada.....()
- g) Internet + Telefonía fija + TV pagada (TRIPLE PLAY)()

3. ¿Cuánto está pagando actualmente por el servicio?

- a) \$25 - \$30.....()
- b) \$35 - \$40.....()
- c) Mas de \$40.....()

4. ¿Qué grado de satisfacción tiene hacia sus servicios?

- a) Muy satisfecho.....()
- b) Satisfecho.....()
- c) Neutro
- d) Insatisfecho.....()
- e) Muy insatisfecho.....()

5. ¿Cuántos dispositivos en promedio se conectan en su hogar?

- a) Solo 1.....()
- b) Entre 2 a 5.....()

- c) Entre 5 a 10.....()
- d) Mas de 10.....()

6. ¿Ha tenido problemas con la conexión en su servicio?

- a) Siempre.....()
- b) Casi Siempre.....()
- c) A veces.....()
- d) Casi nunca.....()
- e) Nunca.....()

7. ¿Estaría interesado en acceder a un servicio de Internet con una mayor velocidad?

- a) Si.....()
- b) No()

8. ¿Estaría interesado en un servicio Triple Play (Internet + Telefonía fija + TV pagada) a través del mismo proveedor?

- a) Si.....()
- b) No()

9. ¿Estaría dispuesto a cambiarse a una nueva tecnología (XG-PON) que le proporcione un servicio más eficiente?

- a) Si.....()
- b) No()

ANEXO B: Planos de AutoCAD de los barrios del Distrito Metropolitano de Quito parroquia Zambiza



ANEXO C: Cotización de la empresa "Tu conectividad LKD"



Tu Conectividad LKD RUC: 1723797674001
AV JAIME ROLDOS AGUILERA, OE2-128 Y FRANCISCO
SANCHEZ
0961431812
grupocomercial_lkd@hotmail.com

PROFORMA
N° 47

Cliente: ACHIG MORALES LIZBETH
Dirección: AV. MARSICAL SUCRE
Telefono: 0995879893

Fecha: 27/01/2021

Cantidad	Descripción	Precio Unitario	%Descuento	Subtotal
16	ONT HUAWEI 8141 5DBI	\$36.00	%0.00	\$576.00
3	SPLITTERS DE 1 A 8 CONECTORIZADO	\$14.00	%0.00	\$42.00
24	SPLITTERS DE 1 A 16 CONECTORIZADO	\$17.00	%0.00	\$408.00
16	CAJA ROSETA COMPLETA	\$2.50	%0.00	\$40.00
16	PATCH CORD APC SIMPLEX 3MT	\$3.50	%0.00	\$56.00
2	CAJA ODF DE 12 PUERTOS COMPLETA	\$78.00	%0.00	\$156.00
3	CAJA NAP IP65 DE 1A8 COMPLETA	\$50.00	%0.00	\$150.00
24	CAJA NAP IP65 1 A 16 COMPLETA	\$55.00	%0.00	\$1,320.00
5000	FIBRA ADSS 12 HILOS G652D SPAM 120	\$0.66	%0.00	\$3,300.00
5000	FIBRA ADSS 24 HILOS G652D SPAN 120 MTS	\$0.72	%0.00	\$3,600.00

Condiciones de la negociación: Precios válidos únicamente para este número de cotización.

Tiempo de entrega: Inmediata, previa confirmación de stock.

Forma de pago: Contado

Validez de la cotización: 8 días

*Se realizará el despacho una vez confirmada la efectivización de la transferencia y/o depósito bancario, y envío de Retención a: contabilidad@tuconectividadlkd.com

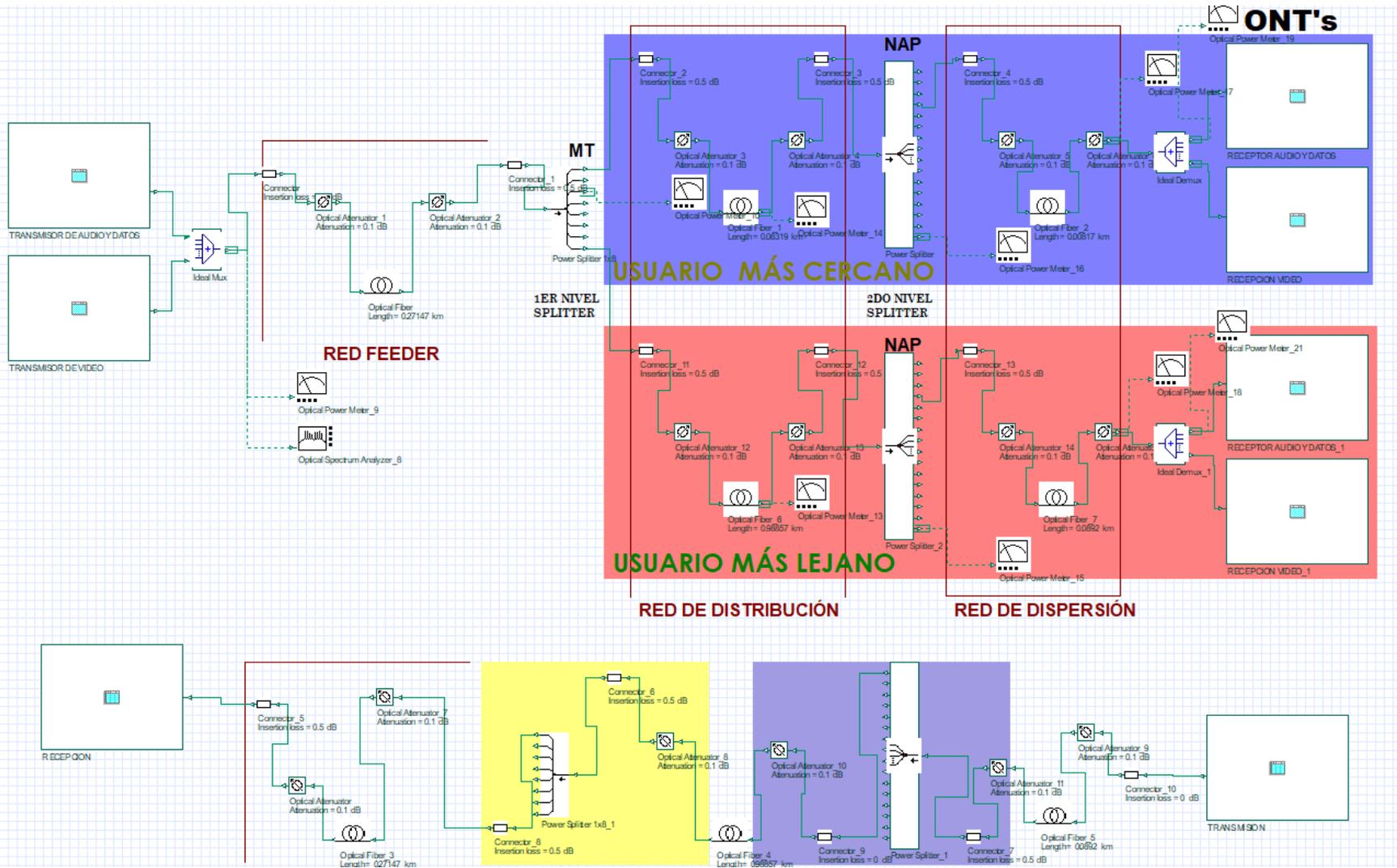
CUENTA CORRIENTE BANCO PICHINCHA 2100222113 A NOMBRE DE ALLISON TOBAR RODRIGUEZ C.I. 1723797682

El costo de envío fuera de la ciudad de Quito será asumido por el cliente, TU CONECTIVIDAD LKD no asumirá daños o pérdidas ocurridos durante la transportación.

Subtotal IVA (12 %)	\$ 9648.00
Subtotal IVA (0 %)	\$0.00
Descuento	\$0.00
Subtotal con Descuento IVA (12 %)	\$9648.00
Subtotal con Descuento IVA (0 %)	\$0.00
IVA (12%)	\$1157.76
Total	\$10805.76

Firma Autorizada

ANEXO D: Simulación de OLT, ODN y ONT para la Zona 1



ANEXO E: Simulación de OLT, ODN y ONT para la Zona 2

