



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS Y CALIDAD DE SERVICIO DE UNA RED DE ACCESO UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-T G984.X PARA BRINDAR SERVICIO TRIPLE PLAY A 500 USUARIOS”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR:

JAMESON EDUARDO SARMIENTO LÓPEZ

Riobamba-Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

“EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS Y CALIDAD DE SERVICIO DE UNA RED DE ACCESO UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-T G984.X PARA BRINDAR SERVICIO TRIPLE PLAY A 500 USUARIOS”

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA, TELECOMUNICACIONES Y REDES

AUTOR: JAMESON EDUARDO SARMIENTO LÓPEZ

DIRECTOR: ING. HUGO OSWALDO MORENO AVILES, PHD.

Riobamba-Ecuador

2021

©2021, Jameson Eduardo Sarmiento López

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, JAMESON EDUARDO SARMIENTO LÓPEZ, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación. El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 13 de agosto de 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping loops and lines, representing the name Jameson Eduardo Sarmiento López.

Jameson Eduardo Sarmiento López

140097281-4

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA TELECOMUNICACIONES

El tribunal de trabajo de titulación certifica que: El trabajo de integración curricular: Tipo: Proyecto Técnico, “**EVALUACIÓN DE PARÁMETROS TÉCNICOS Y CALIDAD DE SERVICIO DE UNA RED DE ACCESO UTILIZANDO EL ESTÁNDAR ITU-T G984.X PARA BRINDAR SERVICIO TRIPLE PLAY A 500 USUARIOS**” realizado por el señor **JAMESON EDUARDO SARMIENTO LÓPEZ**, 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..

NOMBRE	FIRMA	FECHA
Ing. Diego Fernando Veloz Chérrez. MSc PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DIEGO FERNANDO VELOZ CHERREZ	2021-12-07
Ing. Hugo Oswaldo Moreno Avilés. PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN	 Firmado electrónicamente por: HUGO OSWALDO MORENO AVILES	2021-12-07
Ing. Oswaldo Geovanny Martínez Guashima MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: OSWALDO GEOVANNY MARTINEZ GUASHIMA	2021-12-07

DEDICATORIA

A Dios por demostrarme a través de sus acciones en mi vida que, con humildad, esfuerzo, dedicación y disciplina, todos somos capaces de lograr nuestras metas. A mis padres, Yanina y Guido, quienes con su ejemplo supieron forjar cada una de mis virtudes y defectos siendo mis pilares de apoyo en mi vida universitaria. A mis hermanos Edison y Edwin los cuales siempre fueron mi ejemplo a seguir cuyos consejos hicieron de mí, una mejor persona. A mis docentes que supieron siempre apoyarme y corregir mis errores inculcando en mí ese deseo por seguir algo que me apasiona. A mis amigos y familiares y demás personas que me han acompañado en la vida universitaria.

Jameson

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer de todo corazón a mis padres, por siempre confiar en mí, otorgándome las herramientas necesarias para cumplir mis sueños y lograr ser ingeniero que a través de sus valores y principios impartidos me ayudaron a ser un ser productivo en la sociedad. Un especial agradecimiento a un gran amigo Marco, por su amistad y paciencia con el cual siempre nos apoyamos hombro a hombro para vencer las dificultades universitarias que se nos atravesaron.

Agradezco a todos mis familiares y amigos de universidad que en conjunto hemos podido llegar al pináculo de nuestra profesión.

Agradezco de manera especial a mi tutor de tesis, Ing. Hugo Moreno, PhD, que a través de sus consejos supo dirigir este trabajo de titulación de forma eficiente logrando cumplirlo en el tiempo establecido. A cada uno de mis docentes que impartió su conocimiento a lo largo de la etapa universitaria, logrando convertirme en ingeniero en electrónica, telecomunicaciones y redes.

Jameson

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xvii
ÍNDICE DE ANEXOS	xviii
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xix
RESUMEN.....	xxi
SUMMARY.....	xxii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	3
1.1.	Introducción.....	1
1.2.	Formulación del Problema.	3
1.3.	Justificación del Trabajo de Titulación.....	3
1.3.1.	<i>Justificación Teórica.</i>	3
1.3.2.	<i>Justificación Aplicativa.</i>	4
1.4.	Objetivos	6
1.4.1	<i>Objetivo General.</i>	6
1.4.2	<i>Objetivos Específicos.</i>	6

CAPÍTULO II

2.	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.	7
2.1.	Componentes y Características.....	7
2.1.1.	<i>Estructura.</i>	7
2.1.2.	<i>Tipos de Fibra Óptica</i>	8
2.1.2.1.	<i>Fibras Monomodo (SM)</i>	8
2.1.2.2.	<i>Fibras Multimodo (MM)</i>	9

2.2.	Parámetros geométricos de la luz en medios guiados	10
2.2.1.	<i>Espectro Electromagnético</i>	10
2.2.2.	<i>Índice de refracción</i>	11
2.2.3.	<i>Reflexión en la Fibra Óptica.....</i>	13
2.2.4.	<i>Apertura Numérica</i>	13
2.2.5.	<i>Ángulo y cono de aceptación.</i>	14
2.3.	Parámetros de Transmisión en la Fibra Óptica	14
2.3.1.	<i>Atenuación.....</i>	14
2.3.2.	<i>Dispersión</i>	16
2.3.2.1.	<i>Dispersión Modal.....</i>	17
2.3.2.2.	<i>Dispersión Cromática</i>	17
2.3.2.3.	<i>Dispersión por Modo de Polarización (PMD).....</i>	18
2.4.	Redes y Tecnologías de Acceso.....	18
2.4.1.	<i>Redes FTTx</i>	18
2.4.1.1.	<i>FTTH</i>	19
2.4.1.2.	<i>FTTB</i>	19
2.4.1.3.	<i>FTTC</i>	20
2.4.1.4.	<i>FTTN</i>	21
2.5.	Redes PON.....	21
2.5.1.	<i>Tipos de Redes PON.....</i>	22
2.5.1.1.	<i>APON (ATM Passive Optical Network).....</i>	22
2.5.1.2.	<i>Red BPON (Broadband PON).....</i>	22
2.5.1.3.	<i>Red EPON (Red Óptica Pasiva Ethernet).....</i>	23
2.5.1.4.	<i>Red GPON (Gigabit PON).....</i>	23
2.6.	Arquitectura de una red GPON.....	26
2.6.1.	<i>OLT</i>	26
2.6.2.	<i>ODN</i>	26
2.6.3.	<i>Ambiente Cliente</i>	27
2.7.	Protocolos utilizados en GPON.....	27
2.8.	Topología de Redes	28
2.8.1.	<i>Configuración Punto a Punto.....</i>	29
2.8.2.	<i>Configuración Punto a Multipunto.</i>	29
2.9.	Sistema Triple Play	30
2.9.1.	<i>Televisión Digital.....</i>	31
2.9.2.	<i>Voz sobre IP (VoIP)</i>	31
2.9.3.	<i>Internet</i>	32
2.9.4.	<i>Calidad de servicio en IPTV (QoS).....</i>	32
2.10.	Parámetros de transmisión.....	33

2.10.1.	<i>BER (Bit Error Ratio)</i>	33
2.10.2.	<i>Factor Q</i>	33
2.10.3.	<i>Codificación NRZ (No Return to Zero)</i>	33
2.10.4.	<i>Diagrama de ojo</i>	34
2.10.5.	<i>OSNR Relación señal a ruido</i>	34
2.11.	Norma ITU-T G.984.x	35
2.11.1.	<i>ITU-T G.984.1</i>	35
2.11.2.	<i>ITU-T G.984.2</i>	36
2.11.3.	<i>ITU-T G.984.3</i>	38
2.11.4.	<i>ITU-T G.984.4</i>	38
2.11.5.	<i>ITU-T G.984.5</i>	39
2.11.6.	<i>ITU-T G.984.6 e ITU-T G.984.7</i>	39
2.12.	Elementos de una Red GPON.	40
2.13.	Análisis del Software de Simulación.	42
2.13.1.	<i>OptiSystem.</i>	42
2.13.2.	<i>OpNet Modeler.</i>	43
2.13.3.	<i>Omnet ++ (Red de pruebas Objetiva Modular en C++)</i>	44

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	46
3.1.	Metodología del diseño.	46
3.2.	Enfoque	46
3.3.	Método de Investigación.	46
3.4.	Técnicas	47
3.5.	Diseño Lógico	47
3.5.1.	<i>Sector de Estudio.</i>	47
3.5.1.1.	<i>División en Distritos</i>	48
3.5.1.2.	<i>Población</i>	48
3.5.1.2.	<i>Muestra</i>	49
3.5.1.3.	<i>Diseño de la Muestra</i>	50
3.5.1.4.	<i>Resultado y Análisis de la Encuesta</i>	50
3.5.1.5.	<i>Demanda del Sector.</i>	56
3.5.2.	<i>Determinación de la Topología de Red</i>	57
3.5.3.	<i>Capacidad por Servicio.</i>	58

3.5.4.	<i>Ancho de Banda</i>	59
3.5.5.	<i>Determinación del cableado y tipo de fibra</i>	61
3.5.5.1.	<i>Tipos de Uniones entre Fibras</i>	62
3.5.6.	<i>Ubicación de los Equipos.</i>	62
3.5.6.1.	<i>Ubicación de la OLT</i>	62
3.5.7.	<i>Diseño Físico-Red de Planta Externa.</i>	63
3.5.7.1.	<i>Red Feeder.</i>	64
3.5.7.2.	<i>Divisores Ópticos Secundarios (NAPs)</i>	71
3.5.7.3.	<i>Red de Distribución</i>	71
3.5.7.4.	<i>Red de Dispersión.</i>	79
3.5.7.5.	<i>Red interna.</i>	80
3.6.	<i>Presupuesto Óptico.</i>	80
3.6.1.	<i>Atenuación.</i>	81
3.6.2.	<i>Cálculo del Balance de Potencias.</i>	86
3.6.3.	<i>Material Utilizado en cada Zona.</i>	87
3.7.	<i>Selección de la OLT.</i>	88
3.8.	<i>Selección de la ONT</i>	89
3.9.	<i>Selección de los distribuidores de fibra óptica (ODF)</i>	90
3.10.	<i>Selección de los Divisores de potencia o power splitters.</i>	91
3.11.	<i>Selección del Rack de ODF</i>	92
3.12.	<i>Selección de las Mangas Troncales</i>	92
3.13.	<i>Selección del punto de acceso a la red NAP.</i>	94
3.14.	<i>Selección de la roseta óptica.</i>	95
3.15.	<i>Selección del patchcord, adaptador simple y pigtail de la fibra óptica.</i>	95

CAPÍTULO IV

4.	SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN.	96
4.1.	Simulación	96
4.1.1.	<i>Configuración de la OLT</i>	96
4.1.2.	<i>Configuración de la ODN</i>	99
4.1.3.	<i>Configuración de la ONT</i>	101
4.2.	Evaluación de Resultados.	103
4.2.1.	<i>Ambiente de Transmisión.</i>	103
4.2.2.	<i>Ambiente de Recepción.</i>	105

4.2.2.1.	<i>Usuario más lejano.</i>	105
4.2.2.2.	<i>Usuario más cercano</i>	109
4.3.	Inversión	118
4.3.1.	<i>Costo de los equipos.</i>	118
4.3.2.	<i>Costo de la Red Feeder</i>	119
4.3.3.	<i>Red de Distribución.</i>	120
4.3.4.	<i>Red de Dispersión.</i>	122
4.3.5.	<i>Costo de Ingeniería.</i>	123
4.3.6.	<i>Costos Adicionales.</i>	123
4.3.7.	<i>Costo total de la red de acceso</i>	124
4.4.	Payback de la red de acceso.	124
CONCLUSIONES		128
RECOMENDACIONES		130
BIBLIOGRAFÍA		
ANEXOS		

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Comparativa de las principales tecnologías PON.....	25
Tabla 2-2:	Perdidas Máximas y Mínimas de las Diferentes Clases de Red GPON	25
Tabla 3-2:	Topologías de la Red Óptica Pasiva	30
Tabla 4-2:	Resumen de Requerimientos de QoS para los servicios Triple Play	33
Tabla 5-2:	Niveles de Potencia óptica en GPON	37
Tabla 6-2:	Niveles de Atenuación en GPON.....	37
Tabla 7-2:	Parámetros de capa dependientes del medio físico de la ODN.....	38
Tabla 8-2:	Longitudes de onda en uso y reserva de GPON.....	39
Tabla 9-2:	Elementos principales de una red GPON.....	40
Tabla 1-3:	Número de viviendas por zona	49
Tabla 2-3:	Habitantes que tienen contratado el servicio Triple Play	50
Tabla 3-3:	Conformidad de los usuarios con los servicios actuales.....	51
Tabla 4-3:	Inconvenientes de la Red.....	52
Tabla 5-3:	Usuarios que están de acuerdo en cambiarse de tecnología.	53
Tabla 6-3:	Usuarios que están de acuerdo en cancelar una cantidad mayor de dinero que la que cancelan en la actualidad.	54
Tabla 7-3:	Capacidad Óptima de Servicios-Hogar	59
Tabla 8-3:	Estándar de la Fibra Óptica	61
Tabla 9-3:	Ubicación de los Divisores Ópticos Primarios	70
Tabla 10-3:	NAPs y splitter de primer nivel	73
Tabla 11-3:	Atenuación del usuario más lejano del distrito 1	82
Tabla 12-3:	Atenuación del usuario más cercano del distrito 1	82
Tabla 13-3:	Atenuación del usuario más lejano del distrito 2.....	82
Tabla 14-3:	Atenuación del usuario más cercano del distrito 2	83
Tabla 15-3:	Atenuación del usuario más lejano del distrito 3.....	83
Tabla 16-3:	Atenuación del usuario más cercano del distrito 3	83
Tabla 17-3:	Atenuación del usuario más lejano del distrito 3.....	88
Tabla 18-3:	Análisis comparativo entre OLTs.....	88
Tabla 19-3:	Análisis comparativo entre ONTs	89
Tabla 20-3:	Características del ODF TYCO.....	91
Tabla 21-3:	Atenuación de los splitters según su relación.....	91
Tabla 22-3:	Características de la Manga troncal GP01-H9JM4	93
Tabla 23-3:	Características de la Manga troncal GP01-H9JM4	94

Tabla 1-4:	Diagrama del ojo, factor de calidad y tasa de error binario (BER), de los usuarios más cercanos y lejanos de los distritos para Voz/Datos (1490 nm)	113
Tabla 2-4:	Diagrama del ojo, factor de calidad y tasa de error binario (BER) de los usuarios más cercanos y lejanos de los distritos para video (1550 nm)	115
Tabla 3-4:	Costo de equipos.	118
Tabla 4-4:	Costo de la red feeder.	119
Tabla 5-4:	Costo de la red de distribución.....	120
Tabla 6-4:	Costo de la red de dispersión.	122
Tabla 7-4:	Costo de Ingeniería	123
Tabla 8-4:	Costos adicionales.....	123
Tabla 9-4:	Costo total de la red de acceso.....	124
Tabla 10-4:	Planes tentativos para ofrecer.	124
Tabla 11-4:	Número de usuarios de la red GPON al cabo de 1 año.....	126
Tabla 12-4:	Ingresos mensuales.	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Delimitación del área de estudio	5
Figura 1-2:	Fibras ópticas.....	7
Figura 2-2:	Estructura de una red de fibra óptica	7
Figura 3-2:	Fibra Óptica Multimodo (SM).....	9
Figura 4-2:	Fibra Óptica Multimodo (SM) de Índice Escalonado	9
Figura 5-2:	Fibra Óptica Multimodo (SM) de Índice Gradual.....	10
Figura 6-2:	Espectro Electromagnético.....	11
Figura 7-2:	Refracción de la Luz.....	11
Figura 8-2:	Reflexión interna total de la fibra óptica	13
Figura 9-2:	Ángulo y cono de aceptación.	14
Figura 10-2:	Factores intrínsecos y extrínsecos de la Atenuación	15
Figura 11-2:	Dispersión Total en la Fibra Óptica.....	16
Figura 12-2:	Arquitectura FTTH.....	19
Figura 13-2:	Arquitectura FTTB	20
Figura 14-2:	Funcionamiento de FTTC.....	20
Figura 15-2:	Funcionamiento de FTTN	21
Figura 16-2:	Diagrama de una Red Óptica Pasiva	22
Figura 17-2:	Arquitectura de una red GPON	26
Figura 18-2:	Enlace Punto a Punto.....	29
Figura 19-2:	Convergencia de las Redes.....	31
Figura 20-2:	Codificación NRZ	34
Figura 21-2:	Diagrama del Ojo	34
Figura 22-2:	Arquitectura requerida para la extensión del alcance	40
Figura 23-2:	Interfaz del Software OptiSystem	43
Figura 24-2:	Interfaz del Software OpNet Modeler	44
Figura 25-2:	Interfaz del Software OMNet++.....	44
Figura 1-3:	Área de Estudio.....	48
Figura 2-3:	Topología Tipo Árbol.....	57
Figura 3-3:	Localización en ArGis de la parroquia Sucúa	58
Figura 4-3:	Diagrama lógico de la red GPON.....	60
Figura 5-3:	Delimitación del área de estudio en ArGis.....	62
Figura 6-3:	Ubicación del Nodo Principal o OLT geográficamente.	63
Figura 7-3:	Ubicación del Nodo Principal o OLT geográficamente.	63
Figura 8-3:	Distribución de la Red Feeder a lo largo de la zona de Estudio	64
Figura 9-3:	Distribución de la Red Feeder a lo largo de la zona de Estudio	66

Figura 10-3:	Manga Troncal MT01.....	67
Figura 11-3:	Manga Troncal MT02.....	68
Figura 12-3:	Manga Troncal MT03.....	69
Figura 13-3:	Ubicación de los Armarios	70
Figura 14-3:	Ubicación de las NAPs.....	71
Figura 15-3:	Red de distribución del área de estudio.....	72
Figura 16-3:	Identificador de la red de Distribución.....	73
Figura 17-3:	NAPs por la Manga MT01	74
Figura 18-3:	NAPs más cercana a la MT01	75
Figura 19-3:	NAPs por la Manga MT02	76
Figura 20-3:	NAPs más cercana a la MT02	77
Figura 21-3:	NAPs por la Manga MT03	78
Figura 22-3:	NAPs más cercana a la MT03	79
Figura 23-3:	Red de Dispersión.....	79
Figura 24-3:	Red interna	80
Figura 25-3:	Arquitectura de la tecnología GPON.....	80
Figura 26-3:	Huawei MAT5608T	89
Figura 27-3:	HUAWEI HG8245H FTTH	90
Figura 28-3:	ODF TYCO de 96 puertos.....	90
Figura 29-3:	Splitter 1:16 Huawei.....	92
Figura 30-3:	Rack de ODFs marca TYCO.....	92
Figura 31-3:	Manga troncal GP01-H9JM4	93
Figura 32-3:	NAP con splitter 1:16.....	94
Figura 33-3:	Roseta óptica	95
Figura 34-3:	Pachcord, adaptador simple y pigtail de fibra óptica.....	95
Figura 1-4:	Transmisor de Datos/Voz y Video.....	97
Figura 2-4:	Configuración de la OLT-TX Datos/Voz (Upstream).....	98
Figura 3-4:	Tipo de modulación-Tx Datos/Voz	98
Figura 4-4:	Simulación de la ODN.....	99
Figura 5-4:	Fibra Óptica- distancia de la Red Feeder.....	100
Figura 6-4:	Fibra Óptica- distancia de la Red de Distribución.....	100
Figura 7-4:	Fibra Óptica- distancia de la Red de Dispersión.	100
Figura 8-4:	Subsistemas de la ONT	101
Figura 9-4:	Receptor de Video	102
Figura 10-4:	Espectro de la señal de datos/voz	103
Figura 11-4:	Espectro de la señal de video.....	104
Figura 12-4:	Espectro de la señal sumada	104
Figura 13-4:	Factor Q y BER del receptor audio/datos del usuario más lejano	106

Figura 14-4:	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más lejano.....	106
Figura 15-4:	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano.....	107
Figura 16-4:	Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más lejano	108
Figura 17-4:	Potencia que llega a la ONT-Downstream	108
Figura 18-4:	Potencia que llega a la OLT-Upstream.....	109
Figura 19-4:	Factor Q y BER del receptor de audio/video del usuario más cercano	109
Figura 20-4:	Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano	110
Figura 21-4:	Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano.....	110
Figura 22-4:	Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano	111
Figura 23-4:	Potencia que llega a la ONT-Downstream	111
Figura 24-4:	Potencia que llega a la OLT-Upstream.....	112

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-3:	Porcentaje de habitantes que tienen contratado el servicio Triple Play.....	51
Gráfico 2-3:	Porcentaje de conformidad de los usuarios con los servicios actuales.	52
Gráfico 3-3:	Porcentaje de inconvenientes de la Red.	53
Gráfico 4-3:	Porcentaje de usuarios que están de acuerdo en cambiarse de tecnología.	54
Gráfico 5-3:	Porcentaje de usuarios que están de acuerdo cancelar una cantidad mayor de dinero que la que cancelan en la actualidad.	55

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A:** División de los tres distritos en la zona de estudio de la parroquia Sucúa.
- Anexo B:** Encuesta realizada a los habitantes de la parroquia zona urbana de la parroquia Sucúa.
- Anexo C:** Plano completo en ArGis de la parroquia Sucúa.
- Anexo D:** Tipos de fibras según la ITU-T G.652.
- Anexo E:** Simbología utilizada para el diseño de la red GPON.
- Anexo F:** Simulación de la red GPON.

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

ACRÓNIMO	SIGNIFICADO
CNT	Corporación Nacional de Telecomunicaciones.
ATM	Modo de Transferencia Asíncrono.
FTTX	Fibra hasta X(Cualquier Lugar).
IP	Protocolo de Internet.
UTP	Par Trenzado no Apantallado
DSL	Línea de Suscriptor Digital.
HDTV	Televisión de Alta Definición.
VDSL	Línea de Abonado Digital de muy Alta Tasa de Transferencia.
PLOAM	Operación de Administración y Mantenimiento de la Capa Física.
CSMA/CD	Protocolo de Transmisión Anticolisiones.
PON	Redes Ópticas Pasivas.
GPON	Redes Ópticas Pasivas con capacidad de Gigabit.
LAN	Redes de Área Local.
OLT	Terminal de Línea Óptica.
ONT	Terminal de Red Óptica.
ONU	Unidad de Red Óptica.
ODN	Red Óptica de Distribución.
APON	ATM (Asynchronous Transfer Mode) Passive Optical Network.
BPON	Redes Ópticas Pasivas de Banda Ancha.
EPON	Redes Ópticas Pasivas Ethernet.
ITU	Unión Internacional de Telecomunicaciones.
SONET	Red Óptica Síncrona.

SDH	Jerarquía Digital Síncrona.
DBA	Asignación Dinámica del Ancho de Banda.
GEM GPON	Método de Encapsulación GPON.
WDM	Multiplexación por División de Longitud de Onda.
TDM	Multiplexación por División de Tiempo.
TDMA	Acceso Múltiple por División de Tiempo.
FTTH	Fibra hasta la Casa.
FTTN	Fibra hasta el Nodo.
FTTB	Fibra hasta el Edificio.
FTTC	Fibra hasta la Acera.
BER	Tasa de Error de Bit
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue diseñar una Red Óptica Pasiva con capacidad Gigabit, mediante el uso del estándar G.984.x con la finalidad de proveer un servicio Triple Play satisfaciendo los requerimientos de calidad de los usuarios, para lo cual se tomó como estudio el sector de la parroquia de Sucúa. En primer lugar, se realizó un análisis de los parámetros técnicos y calidad de servicio en la propagación de la luz sobre la fibra óptica, determinando el comportamiento de la señal al viajar a través de un medio óptico por una red de acceso como lo es FTTH, su arquitectura y topologías, de igual manera se examinó los diferentes estándares PON con la finalidad de determinar cuál de estos posee las mejores prestaciones para ser aplicadas en el área de estudio y a su vez la factibilidad del proyecto. A partir del número de viviendas con su respectiva proyección a 10 años se realizó la distribución de las diferentes redes que conforman la red FTTH con tecnología GPON, determinando los equipos necesarios para finalmente proceder a realizar su presupuesto óptico del enlace a los usuarios más lejanos y cercanos de cada distrito de manera teórica y a través del software OptiSystem 18.0 analizando la calidad de la red; además se usó ArGis 10.3 para tener una georreferenciación del área de estudio. También se calculó la inversión del proyecto y su respectivo payback. Para concluir se determinó que el proyecto es viable y factible de manera que puede ofrecer una red convergente en la zona de Sucúa. Se recomienda dimensionar adecuadamente la red con sus respectivos respaldos, ya que cada año la población aumenta.

PALABRAS CLAVE: < TELECOMUNICACIONES>,<REDES ÓPTICAS,<ESTUDIO DE FACTIBILIDAD >,<OPTISYSTEM (SOFTWARE) >,< CALIDAD DE SERVICIO >



2106-DBRA-UPT-2021

2021-11-16

SUMMARY

The objective of the research was to design a Passive Optical Network with Gigabit capacity, through the use of the G.984.x standard in order to provide a Triple Play service satisfying the quality requirements of the users. for this reason, the sector of Sucúa was taken as a study. In the first place, an analysis of the technical parameters and quality of service in the propagation of light on the optical fiber was carried out, determining the behavior of the signal when traveling through an optical medium through an access network such as FTTH, its architecture and topologies, in the same way the different PON standards were examined in order to determine which of these has the best benefits to be applied in the study area and in turn the feasibility of the project. Based on the number of homes with their respective 10-year projection, the distribution of the different networks that make up the FTTH network with GPON technology was carried out, determining the necessary equipment to finally proceed to make its optical budget for the link to the most distant users and close to each district theoretically and through OptiSystem 18.0 software analyzing the quality of the network; besides, ArGis 10.3 was used to have a georeferencing of the study area. In addition, the project investment and its respective payback were also calculated. To conclude, it was determined that the project is viable and feasible so that it can offer a convergent network in the Sucúa area. It is recommended to properly size the network with its respective backups, since each year the population increases.

KEYWORDS: <TELECOMUNICATIONS>, <OPTICAL NETWORKS>, < STUDY OF FEASIBILITY>, <OPTISYSTEM (SOFTWARE)>, <QUALITY OF SERVICE

WILSON
GONZALO
ROJAS
YUMISACA

Firmado digitalmente
por WILSON
GONZALO ROJAS
YUMISACA
Fecha: 2021.11.19
18:18:40 -05'00'

Lic. Wilson G. Rojas
NOMBRE Y FIRMA PROFESOR

INTRODUCCIÓN

GPON (Red óptica con Capacidad de Gigabit) es una tecnología de acceso líder en la actualidad, que utiliza como medio para la transmisión de información la fibra óptica para llegar al suscriptor, siendo esta una óptima solución de transmisión de datos que desde los años 90 empezaron a ser consideradas como una eficaz solución para disminuir las pérdidas de transmisión otorgando grandes ventajas sobre otras tecnologías como el cable coaxial y par trenzado, alcanzando fácilmente grandes distancias, se obtienen anchos de banda y velocidades mayores a más de no presentar interferencia electromagnética disminuyendo considerablemente la pérdida de la información siendo mucho más eficiente que la tecnología de transmisión no guiada por las pocas pérdidas de la señal que presenta en su transmisión, convirtiéndose en un medio de acceso de telecomunicaciones más destacable para el ser humano a lo largo del desarrollo tecnológico de las sociedades, otorgando comunicaciones más rápidas, estables y seguras, aunque a sus inicios no fue explotada a tal magnitud como lo es ahora ya que es una tecnología que inició hace ya más de 200 años.

La fibra óptica registra los primeros indicios en 1880, año en el cual se presentaron los intentos iniciales por implantar un medio de comunicación a través de señales ópticas, el científico que promueve esta asombrosa idea es Alexander Bell, pero esta no podía ser explorada pues no se contaban con los dispositivos ópticos transmisores y receptores capaces de transformar una señal eléctrica en una óptica, varios años más tarde logran usar a la luz como fuente de información, señales que no poseían un medio guiado para ser transportadas hacia el suscriptor, por lo que por el año 1970 se presenta la primera versión de fibra óptica, la cual poseía características similares en forma, de un cabello humano transparente como recurso para promover las señales ópticas que como portadoras usaban fuentes de luz como diodos o laser , es un hecho que la evolución tecnológica es directamente proporcional a la medida del crecimiento poblacional pues esto provoca un aumento en la capacidad de tráfico de internet.

A nivel mundial, el porcentaje de despliegue de redes de acceso FTTx ha tenido un crecimiento abrupto por sus ventajas evidentes respecto a otras redes de acceso siendo estas capaces de cubrir necesidades y expectativas de calidad que demandan los suscriptores por lo que en la actualidad se posee un mercado de telecomunicaciones muy competitivo a las que las empresas proveedoras de este servicio deben enfrentarse, siendo la calidad de la señal un factor influyente en el crecimiento de las mismas que como en toda región el crecimiento demográfico influye al despliegue de estas redes hacia otros lugares, ya que a mayor el porcentaje de este, mayor la demanda de servicios, tal es el caso de la parroquia Sucúa que pese a tener tres proveedores de internet en la zona, existen lugares en los que el acceso a servicios como lo son internet, televisión o teléfono a través de un medio guiado no existen o estos son de pésima calidad.

La creciente demanda de servicios como indispensables como voz, audio y video por parte de los usuarios requieren una planificación eficaz en las tecnologías de tal forma que sean capaces de satisfacer las demandas de los subscriptores, en este entorno se encuentran las redes de acceso FTTx las cuales proveen una mejor calidad del servicio, eficiencia en la transmisión de información y accesibilidad por los bajos costos que requieren, la implementación de redes que usen esta tecnología se ha vuelto muy popular alrededor de todo el mundo mediante el uso de su arquitectura punto a multipunto ya que en la actualidad las redes de telecomunicaciones se han convertido en un recurso indispensable para la población, tanto en el ámbito laboral como social, siendo tan necesaria que sería casi imposible imaginarse un mundo que no esté interconectado. La ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo que a través de sus estándares proporciona un modelo común para todos los países los cuales presentan los avances en comunicaciones guiadas que usan la luz como fuente de información, el más destacable para este caso de estudio es la ITU.T G.984.x conocido como red GPON el cual es un pilar fundamental para la nueva tecnología denominada XG-PON, tecnología predecesora que otorgará un mayor ancho de banda con una velocidad de transmisión mayor en intervalos de tiempo menores.

El surgimiento de tecnologías que demandan un mayor ancho de banda como televisión de alta definición, juegos en línea, aplicaciones interactivas, IPTV, teleeducación, teletrabajo, realizar video conferencias, hacer llamadas IP simultáneas, monitorización remota de instalaciones de domótica, calidad en el servicio, etc. Obligan a los operadores actuales realizar continuamente mejoras en la prestación del servicio, pero se sigue requiriendo más ancho de banda, (Carmona & Montes, 2009, p. 4-69) representar el uso de todas estas aplicaciones a través de un solo medio de comunicación (*Triple Play*), representa a los usuarios una disminución notable en los costos de adquisición ya que se obtienen los mismos resultados a través de una misma red con un mayor ancho de banda.

Brasil es considerado como uno de los países precursores de esta tecnología ya que a finales de los 80 su implantación de fibra ya superaba los 10.000 km los cuales poseían fibras de 3 tipos la de cubierta y núcleo de vidrio diseñada 2 para las telecomunicaciones, la de vidrio – plástico para telemetría y comandos y la de plástico – plástico para iluminación. (Fernández & Tadul, 1999) Una realidad totalmente atípica con lo que se vive en un país pequeño y con falta de iniciativa como lo es Ecuador que 27 años después tuvo su primera conexión a fibra por parte de la empresa CNT, (Mayorga S, 2021, pp. 2) que en la actualidad su población urbana es tan solo el 64.3 % de un total de 17.77 millones de habitantes lo que marca una diferencia significativa con respecto a otros países de Latinoamérica, ya que de este 35.7 % que pertenece al sector rural solo el 16% cuenta con servicio a internet, en el 2019 el país contó con una empresa propia de producción de fibra óptica, ubicada en la provincia de Esmeraldas denominada LatamFiberHome, que es capaz de producir 1 millón de kilómetros de fibra por año.(MINTEL, 2016)

A nivel local, Sucúa posee fibra gracias a la empresa CNT y TELCONET, que a partir de ellos empresas como OPTICAFIBER y ZoeNet mediante permisos del ARCOTEL han podido otorgar servicios a varias zonas de la parroquia y sus alrededores, aunque claramente existen zonas las que no disponen de este servicio o este es de muy mala calidad.

CAPÍTULO I

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

1.1. Formulación del Problema.

¿El realizar una evaluación de parámetros técnicos y calidad de servicio de una red de acceso utilizando el estándar ITU-T G984.X permitirá brindar mejor servicio Triple Play a 500 usuarios?

1.2. Justificación del Trabajo de Titulación.

1.2.1. Justificación Teórica.

La fibra óptica es un medio de transmisión guiado por el cual se envía información a través de haces de luz por un medio similar a un hilo muy fino transparente, por el cual los haces de luz pueden transportarse, estos generalmente están compuestos de vidrio o materiales plásticos con un alto índice de refracción lo que permite que la transmisión de datos sea más eficiente, rápida y sobre todo que se presente un alto índice de integridad en la información, está compuesta por tres etapas denominadas feeder, distribución y dispersión en las cuales se analizan los mejores parámetros para que el usuario final cuente con la menor pérdida de señal posible, siendo la tecnología GPON capaz de soportar los servicios de nueva generación que se utilizan ampliamente en las telecomunicaciones. En la actualidad el uso de las redes GPON se ha popularizado dentro de los *ISP* (Internet Service Provider), debido a la flexibilidad y escalabilidad que facilitan este tipo de redes, en la actualidad los servicios destinados al usuario final requieren grandes velocidades y anchos de banda capaces de soportar servicios de nueva concepción como son: Televisión en alta definición, domótica, videoconferencias, teletrabajo, clases en línea, juegos online, telefonía IP, etc. Para implementar y desplegar estas tecnologías la Unión Internacional de Telecomunicaciones ha desarrollado tecnologías de telecomunicaciones como las redes PON que ofrecen características de gran ancho de banda permitiendo una red GPON velocidades de 2,5 Gbps en sentido descendente y de 1,25 Gbps en sentido ascendente, al ser redes compuestas por fibra óptica ya no es necesario el uso de elementos activos como en las redes tradicionales existentes entre el servidor y el cliente. Hace años atrás acceder a

servicios como navegar a través de la red, observar contenido audiovisual a través de televisión abierta o hacer una llamada hacia una determinada ubicación se los realizaba a través de servicios independientes, en la actualidad los avances tecnológicos han permitido integrar y unificar estos tres servicios en uno solo mediante la creación e implementación de lo que se le designa como *Triple Play*, el cual se define como la prestación de servicios y contenidos audiovisuales (voz, banda ancha y televisión) sobre una infraestructura común, mejorando la eficiencia en los servicios llegando a los hogares con calidad digital a un menor costo. GPON es una red de acceso cuyo medio de transmisión es la fibra óptica, considerada como una red pasiva, que a través de su arquitectura punto a multipunto todos los usuarios reciben la misma información (Libay 2016, p. 3-17), toda la red de distribución óptica de componer de elementos ópticos pasivos los cuales guían el tráfico de la red, en la actualidad las redes GPON son las más utilizadas.

1.2.2. Justificación Aplicativa.

Con el surgimiento de las civilizaciones nace también la necesidad de transmitir información a un mayor número de individuos que con el paso de los años los requerimientos fueron cambiando exigiendo mayores prestaciones a costos reducidos, con el tiempo llegaron a comunicarse de mejor manera y gracias al avance de la tecnología se construyeron varios equipos de comunicación con los que se pudo dar transmisión vía microonda y satelital, hasta que en la actualidad la comunicación es generada por diversos enlaces incluyendo fibra óptica que es lo que se va a usar en la simulación de la red, por la pandemia por la cual estamos atravesando, la mayoría de gente trabaja desde su casa, los estudiantes lo hacemos virtualmente tanto de educación superior como de primaria y secundaria por lo que se presenta la necesidad de comunicación como un servicio básico, por esta razón se realizara una investigación sobre la norma ITU-T G984.x para determinar los tipos de redes GPON que existen y escoger la que mejor se adapte a la necesidad de impartir internet de alta velocidad, telefonía y televisión en la zona urbana de la parroquia Sucúa, tanto por la cantidad de usuarios como por la distancia del usuario más lejano y cercano al que se requiere brindar este servicio, con estos antecedentes se plantea diseñar una red FTTH utilizando la tecnología GPON la cual permita que los servicios mencionados así como sus variantes funcionen sin ningún inconveniente, con el objetivo de que el presente proyecto sirva como la base e inspiración para la implementación de su propia empresa al autor. Para ello se realizará un estudio sobre la oferta y la demanda del servicio *Triple Play*, teniendo en cuenta la opinión de las personas sobre los proveedores existentes, posteriormente se realizará una simulación y su evaluación de la red que se podría implementar, teniendo en cuenta la ubicación de cada elemento necesario para brindar este servicio y por último se determinará los equipos más adecuados para dicha implementación, considerando las características y precios de cada

uno, teniendo de esta manera un diseño para una posible implementación de una red GPON con servicio de calidad.

En la figura 1-1 muestra el área de estudio donde se realizará el diseño de la red de acceso FTTH con tecnología GPON, esta parroquia pertenece al cantón Sucúa, se encuentra en la zona urbana del cantón, por lo que se toma como muestra una cierta cantidad de clientes potenciales que consumen los servicios actuales a través de otros proveedores de servicio, ya sea en una red convergente o no, y por ende, que estén dispuestos a contraer un servicio que ofrezca una red de calidad, superior a la de su proveedor tradicional, cuyo boceto permite delimitar en distritos de mejor manera a los clientes, implantando los elementos de la red en lugares estratégicos, en los cuales se ubicarán los equipos activos y pasivos de la red, para finalmente determinar al usuario más lejano y cercano confirmando la calidad de su recepción, este diseño se realizó mediante el software OptiSystem, donde se toma en cuenta parámetros de potencia de los usuarios más cercano y lejano. Para determinar la calidad de la recepción a través de herramientas del software como el análisis de la probabilidad de error de bit (BER) o factor Q, que mediante el diagrama del ojo de puede garantizar la eficiencia del enlace determinando su factibilidad.

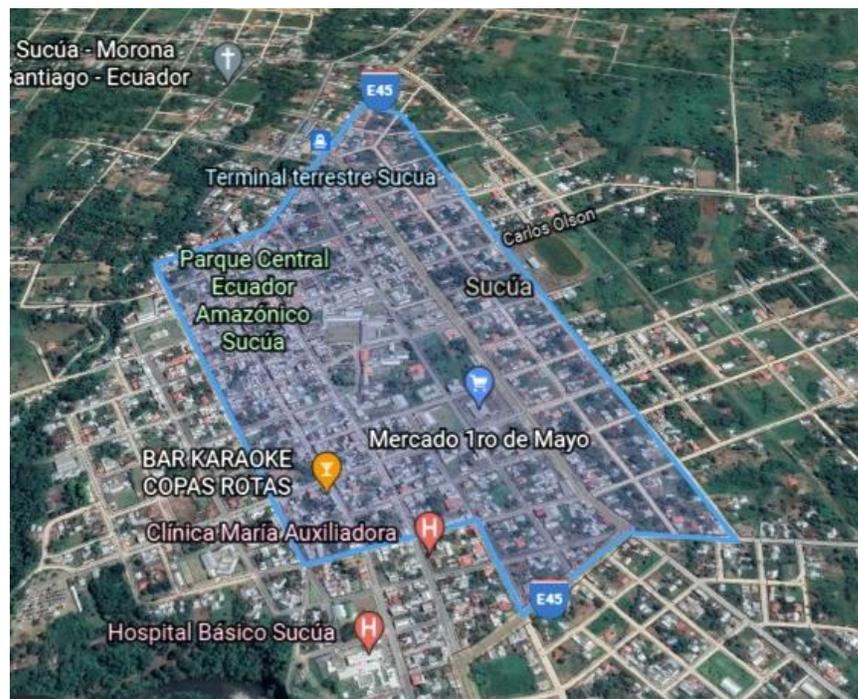


Figura 1-1. Delimitación del área de estudio

Fuente: Google Earth, 2021

1.3. Objetivos

1.4.1 Objetivo General.

Evaluar los parámetros técnicos y calidad de servicio de una red de acceso utilizando el estándar ITU-T G984. X para brindar servicio Triple Play a 500 usuarios.

1.4.2 Objetivos Específicos.

- ✓ Realizar un estudio de los parámetros técnicos y calidad de servicio en la propagación de la luz sobre la fibra óptica.
- ✓ Estudiar la tecnología y arquitectura ITU-T G984.X para determinar la infraestructura más adecuada en el diseño de una red de 500 usuarios con servicio triple-play.
- ✓ Evaluar mediante un software de simulación el rendimiento de la red de acceso ITU-T G984.X para 500 usuarios
- ✓ Determinar la factibilidad de implementación de la red en una zona urbana

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS.

2.1. Componentes y Características.

La fibra óptica es un medio de transmisión guiado compuesto por un hilo muy fino de un material transparente en el cual cualquier haz de luz pueda transportarse con un alto índice de refracción, permitiendo una transmisión mucho más eficiente mediante reflexiones internas múltiples, estos materiales están compuestos generalmente de vidrio o plástico, siendo inmune a las interferencias electromagnéticas, un sistema de comunicaciones de fibra óptica está compuesto de tres módulos para obtener el enlace, estos son: el transmisor, el medio de transmisión (fibra óptica) y el receptor. (Carrion & Cevallos, 2011, p. 2-11).



Figura 1-2. Fibras ópticas

Fuente: (Prieto, 2014, p.7)

2.1.1. Estructura.

La fibra óptica (F.O) está constituida por tres elementos como se muestra en la figura 2-2:

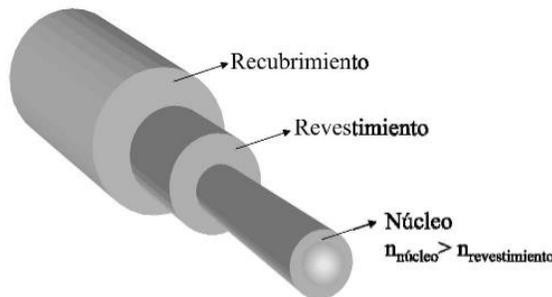


Figura 2-2. Estructura de una red de fibra óptica

Fuente: (Hernández, Estudillo, Rojas, Mata, Martínez, Gutiérrez, Trejo, Vargas z, Andrade & Alvarado ,2010, p. 256)

Núcleo (Core): Constituido por un material de alto índice de refracción por el cual viaja la señal luminosa, este generalmente es un cilindro de vidrio cuya estructura y dimensiones dependen de la fibra óptica.

Recubrimiento (Cladding): Es la parte externa que cubre al núcleo y que está compuesta por el mismo material que éste (Velasco, 2012, p.24) de tal forma que permita que los haces de luz queden atrapados dentro del núcleo y puedan propagarse por él.

Revestimiento de Protección: Asegura la protección mecánica de las fibras evitando que se produzcan interferencias entre fibras adyacentes, generalmente fabricado de plástico como Kevlar.

2.1.2. Tipos de Fibra Óptica

Por los modos de propagación de la luz la fibra se clasifica en 2 grupos: Fibras Monomodo (SM) y Fibras Multimodo (MM)

2.1.2.1. Fibras Monomodo (SM)

La construcción de esta fibra sólo permite únicamente el paso de un modo de luz obteniendo una menor pérdida de la señal y un ancho de banda potencial por encima de 100 GHz/Km. (Borbor, Molineros & Proaño, 2007, p.65-66) siendo capaces de transmitir señales con grandes cantidades de datos y distancias debido a su bajo índice de dispersión en las cuales el diámetro del núcleo deber ser aproximadamente igual a la longitud de onda de la portadora óptica y su revestimiento de protección 10 veces más que el núcleo con la finalidad de satisfacer las condiciones establecidas por las ecuaciones de Maxwell reduciendo las pérdidas de atenuación y aumentando la velocidad de transmisión ya que se elimina la dispersión modal, entre las más usadas se tienen fibras con longitud de onda de los 1310 a 1550 nm utilizando como fuente de luz el diodo laser.

Entre sus características más importantes se tiene:

- Núcleo pequeño.
- Menos Dispersión.
- Adecuado para aplicaciones de larga distancia.
- Comúnmente utilizado con backbones de campus para distancias de varios miles de metros.
- Núcleo de vidrio= 9 micrones.
- Recubrimiento de vidrio= 125 micrones de diámetro.

2.1.2.2. Fibras Multimodo (MM)

A diferencia de las fibras SM en este tipo de fibra se propagan más de un modo de la misma longitud de onda, es decir hay múltiples rayos de luz de una fuente luminosa, (Proano & Jurado, 2009, p. 17-23) cuya apertura es mayor, usada para aplicaciones a una distancia máxima de 2 km (España, 2005), siendo fáciles de diseñar y económicas, pudiendo tener más de mil modos de propagación de luz, lo que supone que no llegan todos a la vez teniendo una mayor tolerancia a componentes de menor precisión, trabajando en ventanas de 850 a 1300 nm utilizando LEDs como fuente de luz.

Entre sus características más importantes se tiene:

- Núcleo de vidrio= 50 o 62.5 micrones.
- Adecuado para aplicaciones de distancias menores a 2 km.
- Comúnmente utilizado en redes LAN.
- Núcleo mayor que el del monomodo.
- Revestimiento de 125 micrones de diámetro.
- Permite mayor dispersión y, por tanto, pérdida de la señal.

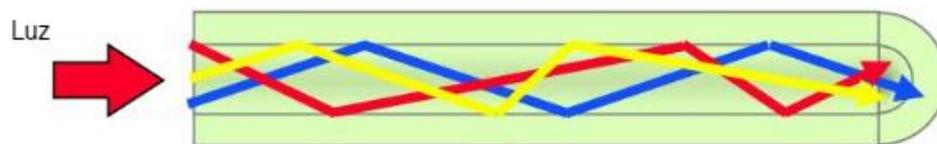


Figura 3-2. Fibra Óptica Multimodo (SM)

Fuente: (Gerónimo, 2014, p. 21)

- **Fibras Multimodo de índice Escalonado.** _ Posee un comportamiento similar a la de una fibra monomodo exceptuando su núcleo el cual es mayor ($50\mu\text{m}$ a $200\mu\text{m}$), de tal forma que se propaguen un mayor número de haz de luz en diferentes tiempos de transmisión en variados caminos cuyo índice de efracción es superior a la cubierta.

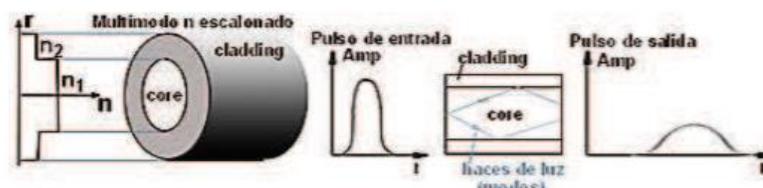


Figura 4-2. Fibra Óptica Multimodo (SM) de Índice Escalonado

Fuente: (Cevallos & Coronel, 2014, p. 9-10)

- **Fibra Óptica Multimodo de Índice Gradual.** _ Poseen un índice de refracción que no es constante, inserta una reducción gradual en el núcleo provocando que los haces de luz en los que es enviada la información no reboten sino realicen disminución de los ensanchamientos de los pulsos. (Zambrano, 2017, p.15-19)

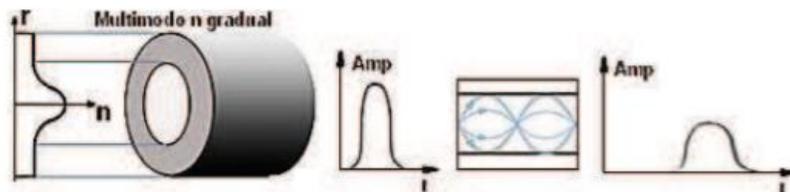


Figura 5-2. Fibra Óptica Multimodo (SM) de Índice Gradual

Fuente: (Cevallos & Coronel, 2014, p. 9-10)

2.2. Parámetros geométricos de la luz en medios guiados

2.2.1. Espectro Electromagnético

Bien natural en el que se encuentran ubicadas todas las frecuencias a las que se producen radiación electromagnética, estas ondas electromagnéticas se miden por parámetros como la amplitud, frecuencia y longitud de onda, siendo básicamente una variación de un campo magnético con uno eléctrico que al cruzarse forman un ángulo de 90 grados , siendo constituido por todas las longitudes de onda que pueda tener la luz, su utilización en el campo de las transmisiones ópticas va desde los 800 a 1600 nm, a lo que se le conoce como las ventanas de la fibra óptica (F.O)

1. Primera ventana: Longitud de onda $\lambda = 800 \text{ a } 900 \text{ nm}$ ► utilizada = 850 nm
2. Segunda ventana: Longitud de onda $\lambda = 1250 \text{ a } 1350 \text{ nm}$ ► utilizada = 1310 nm
3. Tercera Ventana: Longitud de onda $\lambda = 1500 \text{ a } 1600 \text{ nm}$ ► utilizada = 1550 nm

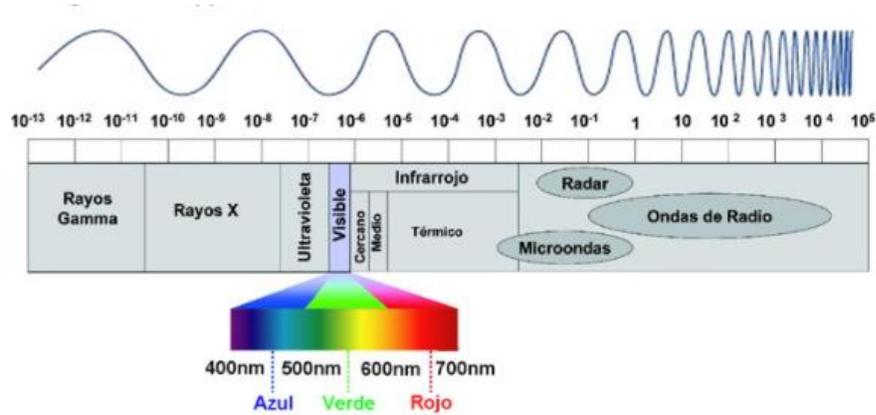


Figura 6-2. Espectro Electromagnético

Fuente: (B@UNAM, 2021)

2.2.2. Índice de refracción

Este fenómeno físico se ve reflejado en las comunicaciones ópticas cuando un haz de luz que se propaga por un medio ingresa a otro medio con diferente densidad, isótropos, homogéneos y sin pérdidas, una parte de ese haz se refleja mientras que la otra sufre un cambio de dirección del haz, para determinar la diferencia entre el ángulo de incidencia y el ángulo de refracción se utiliza el llamado índice de refracción, este sólo se produce si la onda incide oblicuamente sobre dicha superficie de separación y con índices de refracción distintos, de acuerdo con la ley de Snell. (Pinto & Cabezas, 2014, pp. 22-24)

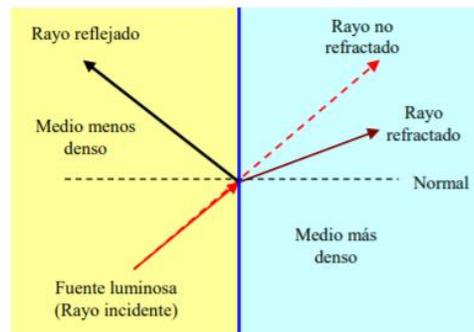


Figura 7-2. Refracción de la Luz

Fuente: (Pinto & Cabezas 2014, p. 22-24)

Como se puede observar en la figura 7-2 los diferentes medios en los que se propaga la luz poseen índices de refracción distintos, generalmente denotado con la letra n , la cual es la cantidad de desviación del haz de luz que se produce cuando este incide en la superficie de separación de dos medios o materiales con distintas densidades, siendo el cociente velocidad de la luz en el espacio libre respecto de la velocidad de propagación del mismo rayo en determinado material, se lo utiliza la siguiente ecuación a fin de poder determinarlo:

$$n = \frac{c}{v} \quad (1)$$

Donde:

c = Velocidad de la luz en el espacio libre

v = Velocidad de la luz en un determinado material.

La ruta que tome el rayo que se refleja se rige por las siguientes leyes:

1. El rayo refractado se encuentra en el plano del rayo incidente y la normal que pasa por el punto de incidencia. (Pinto & Cabezas 2014, p. 22-24)
2. Ley de Snell, establece el comportamiento de la luz cuando pasa por medios de distintos índices de refracción, su fórmula está establecida como:

$$n_1 \sin(\theta_1) = n_2 \sin(\theta_2) \quad (2)$$

Donde:

n_1 = índice de refracción del componente 1 (adimensional)

n_2 = índice de refracción del componente 2 (adimensional)

θ_1 = ángulo de incidencia

θ_2 = ángulo de refracción

Conforme aumenta el ángulo de incidencia el rayo refractado se acerca la superficie, para que el ángulo de refracción sea 90 grados se denomina ángulo crítico de tal forma que todos ángulos menores al crítico dichos haz de luz van a reflejarse y a refractarse sin embargo para ángulos mayores al ángulo crítico toda a luz se refleja, por lo tanto n_1 tiene que ser ligeramente mayor a n_2 siendo estos el núcleo y el revestimiento de la fibra respectivamente, dicha expresión viene dada por la siguiente ecuación.

$$\theta_c = \sin^{-1}\left(\frac{n_2}{n_1}\right) \quad (3)$$

En consecuencia, el funcionamiento de la fibra óptica se fundamenta principalmente en las continuas reflexiones internas totales entre la superficie de cambio del medio entre el núcleo y el revestimiento. (Guzmán, 2018, pp. 13-47)

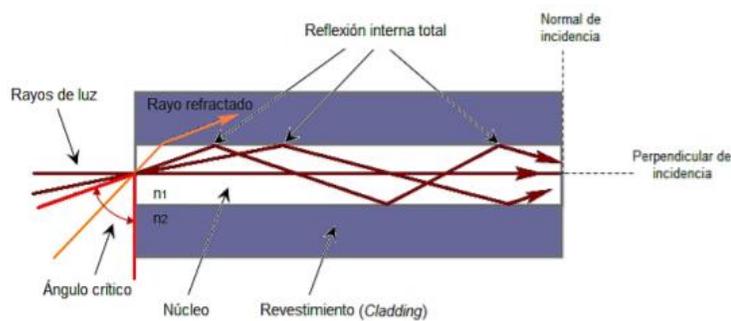


Figura 8-2. Reflexión interna total de la fibra óptica

Fuente: (Guzmán, 2018, p. 13-47)

2.2.3. Reflexión en la Fibra Óptica

A consecuencia de las emisiones de haz de luz por un medio óptico, este es el ángulo que forma entre el rayo reflejado y la normal el cual es equivalente a su ángulo de incidencia, en otras palabras, el ángulo con el que el rayo de luz toca una superficie reflectora establece el ángulo con el que se reflejará el rayo en la superficie. (Proano & Jurado, 2009, pp.17-23), el principio en el que se basa la fibra óptica es el denominado reflexión interna total para todos los ángulos mayores al ángulo crítico en el que toda la luz se refleja de regreso al material más denso en el núcleo y no se escapa hacia el revestimiento de la fibra óptica, esto provocaría pérdidas de información en el caso de que se suscitara, para que pueda cumplirse la reflexión interna total el ángulo de incidencia tiene que ser siempre mayor al ángulo crítico. (Lluminquina & Mullo, 2008, pp. 4-5)

$$\theta_1 > \theta_c$$

2.2.4. Apertura Numérica

Medida adimensional que determina la cantidad de luz que puede aceptar una fibra y por ende que cantidad de energía puede transportar caracterizando el alcance de ángulos para los cuales el sistema es capaz de enviar luz, determinándose a través del seno del ángulo máximo de aceptación denominado como apertura numérica (AN) siendo este un parámetro fundamental que caracteriza a una fibra óptica o guía de onda plana, (Barroso, 2013, pp. 25) se la puede calcular mediante:

$$AN = \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (4)$$

2.2.5. Ángulo y cono de aceptación.

Tanto el ángulo de aceptación como el cono de aceptación hacen referencia a la adaptabilidad que van a tener las fuentes de luz en la fibra óptica, denominando ángulo de aceptación al ángulo máximo que puede tomar la fuente de luz a la que permite la fibra óptica su reflexión total para propagar el rayo a lo largo de su longitud, con lo que al girar este ángulo alrededor de la base de la fibra se obtiene el cono de aceptación de entrada. (Carrion & Cevallos, 2011, pp. 2-11). La apertura numérica está ligada directamente con el cono de aceptación ya que relacionan la cantidad de potencia que puede soportar la fibra.

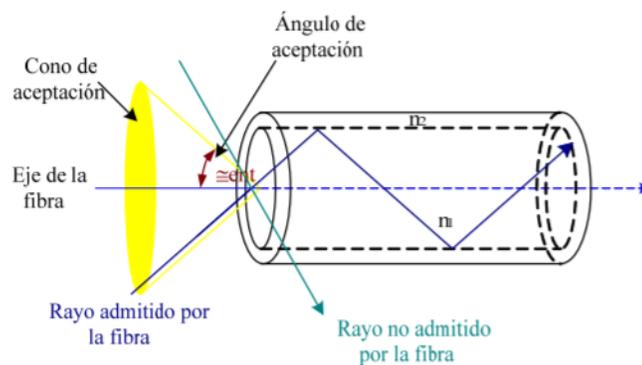


Figura 9-2. Ángulo y cono de aceptación.

Fuente: (Carrion & Cevallos, 2011, pp. 2-11).

2.3. Parámetros de Transmisión en la Fibra Óptica

En esta sección se describen los parámetros principales que intervienen en la pérdida potencia de las señales que atraviesan la fibra óptica.

2.3.1. Atenuación.

La atenuación es definida como la disminución de potencia de una señal cuando esta se propaga a lo largo de un medio de transmisión calculada a una determinada longitud de onda. (Pereda, 2004) , siendo esta una limitante de un sistema óptico con respecto a la distancia que el enlace puede cubrir de manera diferente a como lo hacía la dispersión , se especificada en unidades de dB/Km, esta disminución de potencia se produce por varios factores tanto intrínsecos como extrínsecos, de modo que en la siguiente figura se aprecian estos factores para un mejor entendimiento.

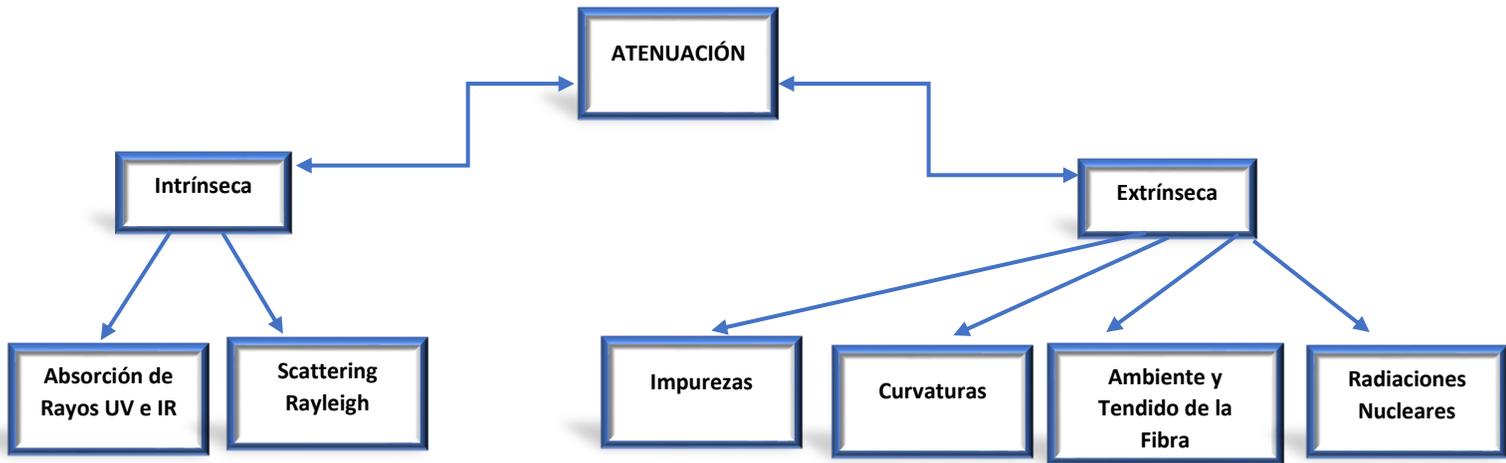


Figura 10-2. Factores intrínsecos y extrínsecos de la Atenuación

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Los mecanismos de atenuación intrínsecos son aquellos que dependen del material que se elige para fabricar la fibra óptica por lo que se los define como inevitables en cambio los mecanismos de atenuación extrínsecos se pueden evitar ya que dependen de factores externos al material de la fibra. Viene dada por la siguiente expresión matemática:

$$\text{Atenuación (dB)} = 10 \log\left(\frac{P_E}{P_S}\right) \quad (5)$$

Donde:

- $P_E = \text{Potencia Transmitida}$
- $P_S = \text{Potencia Recibida}$

La atenuación total de la fibra es la sumatoria de todas las atenuaciones tanto intrínsecas como extrínsecas.

Es imprescindible el análisis del denominado cálculo teórico del presupuesto de pérdidas ópticas, ya que a través de este se analizará toda la degradación de la potencia de la señal óptica al atravesar el trayecto de la ODN (Red de distribución óptica) limitando la distancia que poseerá dicha red, a mayor distancia habrá una mayor incurrancia de degradación de la señal

$$\text{Atenuación (dB)} = (a + b) + (c * d) + (e * f) + (g * h) \quad (6)$$

Donde:

a_{yb} = Atenuación del splitter 1 y el splitter2 (dB)

c = Atenuación de la longitud de onda (dB/Km)

d = Distancia del enlace a diseñar (Km)

e = Atenuación del punto de empalme (dB)

f = Cantidad total de puntos de empalme en el enlace

g = Atenuación de los conectores (dB)

h = Cantidad total de conectores en el enlace

2.3.2. *Dispersión*

En la transmisión de un haz de luz a través de una fibra óptica, la señal no solo sufre una disminución de potencia, esta puede ensancharse en el tiempo lo que produce una disminución del ancho de banda lo que provoca una baja velocidad de transmisión (Panchi, 2016, pp. 8) o sufrir una desviación.

Se mide en incrementos de ensanchamiento por unidad de distancia (Ps/Km).

$$\sigma^2 = \sigma_m^2 + (\sigma_e + \sigma_g)^2 \quad (7)$$

De tal forma que para el cálculo de la dispersión total que sufre una onda se determina a través de una suma cuadrática entre los tres tipos de dispersiones como se puede observar en la figura 12-2 , es decir entre la dispersión intermodal σ_m , la dispersión por el modo de polarización y la cromática donde se suma de modo lineal la dispersión del material σ_e y la dispersión por guía de onda σ_g . (Zambrano, 2017, pp. 15-19)

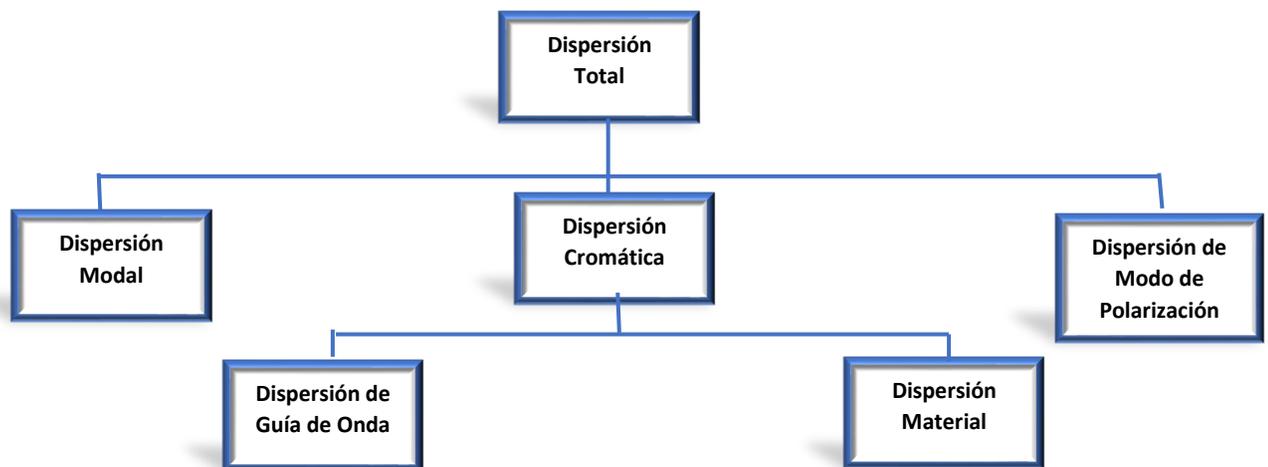


Figura 11-2. Dispersión Total en la Fibra Óptica

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.3.2.1. *Dispersión Modal*

Denominada también como dispersión Intermodal (σ_m), surge cuando los haces de luz con trayectorias diferentes arriban al punto final de la red en diferentes tiempos, (Panchi, 2016, pp. 8), esta dispersión solo ocurre en fibras multimodo siendo menor en las fibras multimodo de índice gradual debido a que su índice de refracción es variable en el núcleo permitiendo que lleguen los haces de luz al receptor en tiempos similares pese a que tomen diferentes trayectorias, en las fibras monomodo esta tipo de dispersión en casi nula, es un problema en transmisiones por fibra óptica debido a que limita el ancho de banda ya que existirá un solapamiento de la señal si se envían pulsos a alta velocidad en una fibra, esto debido a causa de la dispersión, lo que provocará que el receptor no sea capaz de distinguir el inicio o el final del pulso. (Carrera, 2013, pp. 55-60)

2.3.2.2. *Dispersión Cromática*

Denominada también como dispersión Intramodal (σ_e), representa el retraso o aumento en el tiempo afectando a la información que se transmite a través de la fibra, estas afectaciones van a ser mayores o menores dependiendo del tipo de fibra a utilizar. (Cando, 2015, pp. 19-20) Esta dispersión es un efecto lineal propio de la fibra óptica, resulta de los diferentes retardos de propagación que tienen distintos componentes espectrales del pulso transmitido. (Castañeda, 2018, pp. 6), el acontecimiento de la dispersión cromática se forma con la suma de estos dos artilugios:

- **Dispersión Material.** Se produce este tipo de dispersión en los medios materiales cuyo índice de refracción depende de la frecuencia de la onda electromagnética que lo atraviesa. (España, 2005) Se produce debido a que los materiales que componen tanto el revestimiento como el núcleo son dispersivos siendo una propiedad independiente de que los materiales constituyan o no una guíaonda.
- **Dispersión por Guía de Onda.** Hace referencia a las diferencias de velocidad que toma la onda al viajar más cerca o lejos del núcleo, ya que tanto el núcleo como el revestimiento poseen diferentes índices de refracción; es provocada por los parámetros ópticos y geométricos de la fibra (Zambrano, 2017, pp. 15-19) permitiendo que la luz se refracte, el porcentaje de señal refractada dependerá de la longitud de onda de la señal produciendo un ensanchamiento de los pulsos, este tipo de dispersión es relevante en fibras monomodo.

2.3.2.3. *Dispersión por Modo de Polarización (PMD)*

Es la autora de que los pulsos ópticos transmitidos por la fibra se ensanchen y por lo cual se origina un aumento del BER (Tasa de Bit Errónea). (Leiva, Tarifeño & Olivares, 2007, pp. 337) Esta dispersión actúa en enlaces de fibras de velocidades superiores a 10 Gbps y distancias largas como las monomodo, con diferentes índices de refracción ya que se producen polarizaciones ortogonales entre sí y perpendicular a la dirección lo que conlleva a que dichas ondas lleguen a su destino en distintos tipos, pues sus velocidades de grupo difieren entre sí, con pulsos distorsionados y ensanchados. (Carvajal, 2014)

2.4. **Redes y Tecnologías de Acceso**

Se denomina red de acceso al segmento de red que permite la interconexión de los equipos finales de los suscriptores con los del proveedor de servicio de internet (*ISP*) (Yungán, 2019, pp. 4-77), para prestar servicios que requieren un gran ancho de banda y suplir las limitaciones que presentaba el par trenzado de cobre se implementa las redes de acceso guiadas a través de la fibra óptica, dando soporte para ofrecer servicios *Triple Play* ofreciendo soporte para brindar dicho servicio alcanzando un nivel de calidad óptimo que requiere cada aplicación a más de una significativa reducción de costos ya que no requieren equipos intermediarios para conectar puntos distantes presentando cierta inmunidad a interferencias electromagnéticas (Gómez & Morejón, 2012, pp. 28-36), las redes ópticas sobresalen por 3 aspectos principales.

- Establecen una plataforma común para servicios de diferente naturaleza.
- Áreas de acceso mayores y con un número pequeño de nodos de conmutación.
- Reducidos costos de operación.

2.4.1. **Redes FTTx**

Contiene un conjunto de tecnologías de banda ancha en las que se utilizan cables de fibra óptica para diferentes secciones y distancias, (Cruz, 2019, pp. 10-25) cubriendo varios servicios de alta capacidad como Triple Play. Poseyendo la capacidad de proporcionar más ancho de banda y resistencia al ruido con un menor consumo de energía, lo que conlleva una serie de técnicas de acceso utilizadas para impregnar las arquitecturas que utiliza la fibra óptica, la tecnología de red de acceso FTTx (*Fiber to the x*) es un término universal que se refiere al hecho de proporcionar un enlace de telecomunicaciones a través de fibra de un determinado lugar a otro cuyo objetivo es sustituir de manera parcial o total el cobre, estas se diferencian de una LAN tradicional, porque transmiten en full dúplex con el uso de un solo hilo de fibra óptica, con pérdidas sumamente bajas de la señal, a continuación se detalla cada una de las variantes típicas de las redes FTTx.

2.4.1.1. FTTH

Fibra hasta el hogar (*Fiber to the Home*), la fibra óptica se encuentra desplegada desde la central hasta el hogar del usuario final, en el cual existe el equipo terminal denominado ONT que es el encargado de convertir las señales ópticas en señales eléctricas (Velasco, 2018, p. 31) en el interior de la vivienda del abonado se realiza su distribución mediante cable UTP, redes *Wireless*, entre otras. Es la más adecuada de todas las variantes para ofrecer transmisión de datos de alta velocidad debido precisamente a que en toda su trayectoria no se utiliza en ningún punto el cable de cobre, a excepción de la vivienda del abonado, usando solo una fibra por abonado.

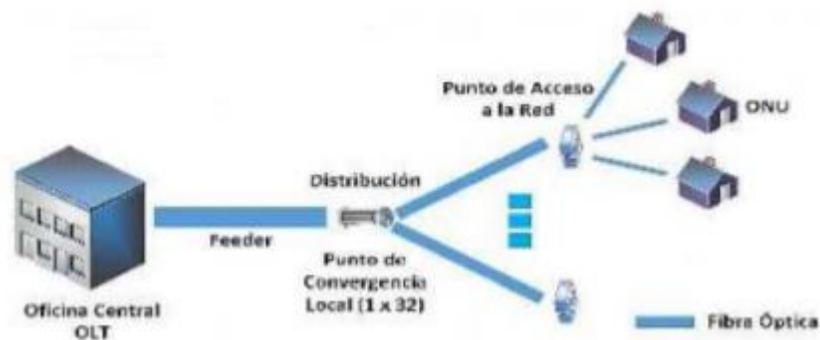


Figura 12-2. Arquitectura FTTH

Fuente: (González & Becerra, 2016, p. 17-19)

2.4.1.2. FTTB

Fibra hasta el Edificio (*Fiber to the Building*), arquitectura de transmisión óptica cuya red va desde la central hasta un punto de distribución intermedio o cerca del edificio del abonado, (González & Becerra, 2016, pp. 17-19) llegando a ellos a través de la tecnología VDSL2 sobre par trenzado o par trenzado existiendo una única ONU de forma que el cable de cobre no tiene que superar los 500 metros, de tal forma que se pueda reutilizar el cableado interno ya existente en los edificios pudiendo llegar a velocidades máximas de 100 Mbps.

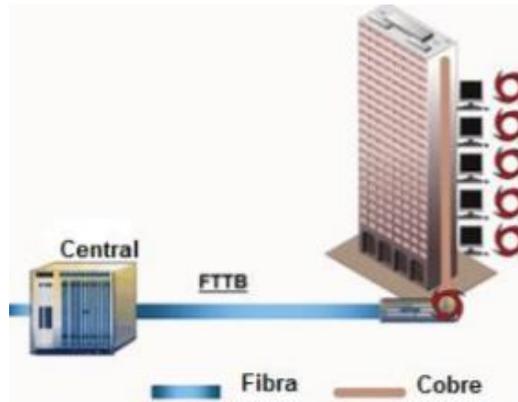


Figura 13-2. Arquitectura FTTB

Fuente: (Gómez & Morejón, 2012, p. 28-36)

2.4.1.3. FTTC

Fibra hasta la acera (*Fiber to the Curb*), se da una compartición tanto de la fibra óptica como de la ONU, por lo que se ubica un equipo de acceso en una manzana o área residencial de una pequeña extensión. (Quishpe, Vinueza & Jiménez, 2010, p. 2) Los abonados se conectan mediante par trenzado o cable coaxial a la plataforma, sirviendo para interconectar varios edificios con un ancho de banda de 100 Kbps hasta lo 100 Mbps el cual es un sistema que utiliza técnicas TDM. (Cevallos & Montalvo, 2010, p. 43)

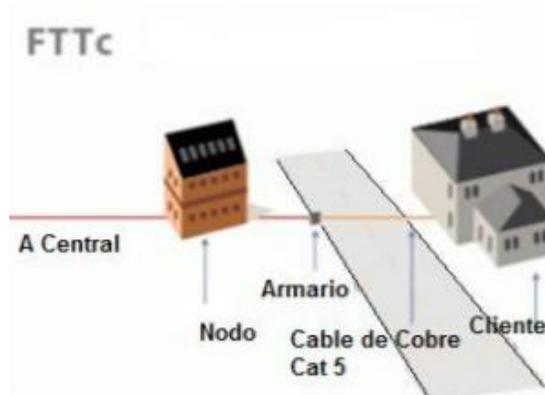


Figura 14-2. Funcionamiento de FTTC

Fuente: (Gómez & Morejón, 2012, p. 28-36)

2.4.1.4. FTTN

Fibra hasta el Nodo (*Fiber to the Node*), Permite el servicio al cliente como televisión, HDTV e Internet, lo que a menudo brinda a los suscriptores velocidades de 20 Mbps y 25 Mbps, utilizando una topología de árbol habitualmente el área que cubre es de menos de 1.5 Km de radio y puede dar servicio a unos cuantos miles de usuarios. (Guzmán, 2018, p. 13-47) Puede utilizarse DSL a través de líneas telefónicas o de compañías de cable existentes siendo los protocolos y la proximidad a los clientes los cuales determinan las velocidades de datos.

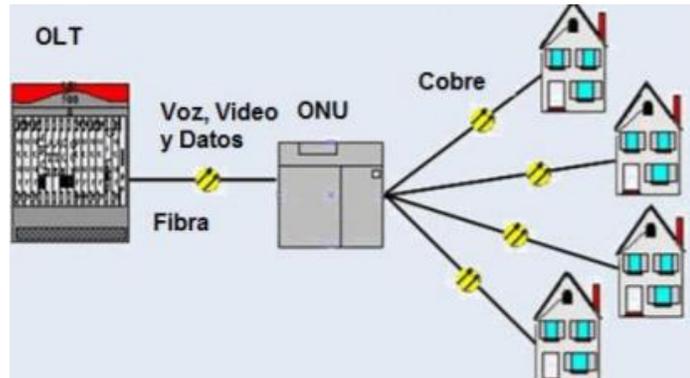


Figura 15-2. Funcionamiento de FTTN

Fuente: (Gómez & Morejón, 2012, p. 28-36)

2.5. Redes PON

Una red óptica pasiva (conocida como PON, del inglés *Passive Optical Network*) es una red punto-multipunto que lleva una conexión de fibra óptica hasta cada usuario. (Peova & Suárez, 2015, pp. 14) Permitiendo suprimir todos los componentes activos existentes entre la central y los suscriptores guiando el tráfico por la red mediante componentes ópticos pasivos reduciendo considerablemente los costos y mejorando prestaciones como el ancho de banda, velocidad de transmisión, atenuación de la señal, etc. Son utilizados en las redes FTTx para proveer múltiples servicios o servicios conocidos como *Triple Play* que demandan un gran ancho de banda la cual gracias al uso de un WDM (*Wavelength Division Multiplexing*) nos permite la transmisión y recepción mediante la utilización de un solo hilo de fibra utilizando diferentes longitudes de onda (Macías, 2015, pp. 1-3) generalmente para el tráfico de datos *Upstream* a 1.310 nm y *Downstream* a 1490 nm con la incorporación de una tercera longitud de onda de 1.550 nm dedicada para el *broadcast* de video para la formación de un sistema *Triple Play* contemplando el problema de la distancia entre central y usuario de tal manera que los suscriptores cercanos al punto de inicio de la red necesitarán menos energía para contenido continuo evitando así que el fotodiodo se sature, mientras que su usuario lejano necesitará una potencia más grande.

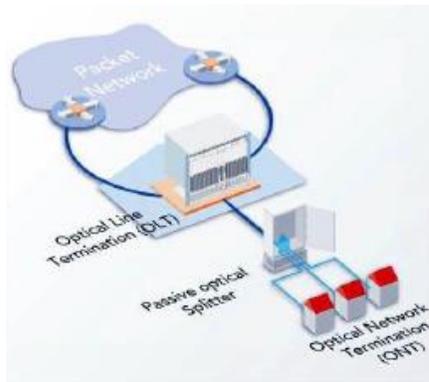


Figura 16-2. Diagrama de una Red Óptica Pasiva

Fuente: (KEYMILE, 2008, p. 5)

2.5.1. Tipos de Redes PON

Hay varios, pero los que se enumeran a continuación son los más importantes.

2.5.1.1. APON (ATM Passive Optical Network)

La tecnología APON basa su transmisión descendente en el estándar ITU-T G.983, su transmisión en ráfagas de celda de transferencia asíncrona con una tasa de transferencia de 155 Mbps las cuales reparte entre las ONT que estén conectadas en canal ascendente (Salvatierra, 2017, p. 36), su principal inconveniente es la falta de velocidad y capacidad de transmisión. (Radicelli, Pomboza, Samaniego & Villacrés, 2019, p. 12) Esta tecnología se ilustra mediante un canal de enlace descendente que consta de celdas ATM con una trama de 53 bytes., y un canal ascendente que se forman a partir de 54 celdas ATM donde se intercalan dos celdas PLOAM (Physical Layer Operation, Administration and Management). (González & Becerra, 2016, p. 17-19) basando su transmisión en sentido ascendente de 155 Mbps radicando su inconveniente en la limitación de esta velocidad que más tarde aumentó a 622 Mbps y con un sentido descendente de 622 Mbps.

2.5.1.2. Red BPON (Broadband PON)

Surge como una evolución de la tecnología APON con mejoras como acceder a mejores servicios y un ancho de banda óptimo, definido en el año 2001 por el estándar ITU-T G 983.3, el cual presentaba ciertas desventajas como costos altos y limitaciones técnicas a pesar de ser un soporte para otros estándares, (Iibay, 2016, p. 3-17) incluiría servicios de video y distribución con la excepción del soporte que brinda a estándares de banda ancha tales como VPL, Ethernet, etc.

Estaba definida con una tasa de transmisión tanto en el canal ascendente como en el descendente de 155 Mbps fijos, pero con el paso del tiempo se modificó para admitir: (Quishpe, Vinueza & Jiménez, 2010, p. 2)

- Tráfico Asimétrico: Canal ascendente 155 Mbps
Canal descendente 622 Mbps
- Tráfico Simétrico: Canal ascendente y descendente 622 Mbps

2.5.1.3. Red EPON (Red Óptica Pasiva Ethernet)

EPON fue desarrollado por la EFM (Ethernet en la última milla), grupo de trabajo perteneciente a la IEEE, una característica importante que los diferencia de BPON es que no utiliza celdas ATM (Campoverde & Ordoñez, 2015, p. 23-24) ofreciendo calidad del servicio (*QoS*) en el canal ascendente como en el descendente con una conexión entre etapas más sencilla ya que su transporte de tráfico es por Ethernet permitiendo unas tasas de transferencia para el canal descendente de 1244 Mbps y ascendente de 1244 Mbps. El estándar IEEE 802.3 define dos modos de operación: en la primera se puede usar un medio compartido utilizando CSMA/CD y en la segunda las estaciones pueden ser conectadas a través de un switch usando enlaces *full-dúplex* punto a punto, al igual que las redes GPON se compone de los mismos elementos básicos: OLT, ONT/ONU, Splitter. (López, Moschim & Rudge, 2009, p. 322-323) utilizando las técnicas WDM con las mismas frecuencias que GPON con un alcance de 20 Km.

2.5.1.4. Red GPON (Gigabit PON)

La red de acceso óptica pasiva denominada Gigabit PON posee la estandarización de la ITU-T rigiéndose bajo la recomendación G.984, cuya velocidad del canal descendente es de 2.5 Gbps y el del canal ascendente es de 1.25 Gbps. (Orozco, 2019, p. 15-16) Siendo la forma asimétrica la más comúnmente usada en implementaciones de redes FTTH con un sistema de alcance lógico de 60 Km, sin embargo, este alcance se ve reducido por limitaciones físicas por lo que el alcance máximo actual está definido en 10 Km a 20 Km con el uso de una transmisión bidireccional o la técnica WDM (Tinoco, 2011, p. 19-28). Las principales características de una red GPON son:

(Freire, 2019, p. 24-27)

- **Ancho de Banda y Distancia:** Supera los límites de distancia y ancho de banda existentes en las tecnologías xDSL
- **QoS:** Posee un ancho de banda necesario para cada usuario y servicio ya que posee una tasa de transmisión de subida de 1.25 Gbps.
- **Seguridad:** Posee una encriptación de la información mediante AES y adiciona un estándar para la protección del puerto PON.
- **Costo:** Al utilizar una misma fibra para muchos usuarios reduce el CAPEX, de igual manera con los puertos de la OLT, permitiendo suprimir la red de par telefónico y cable coaxial.

- **Escalabilidad:** Es capaz de admitir factores de splitteo de 1:32 / 1:64 / 1:128, en la actualidad se puede hablar de 2.5 Gbps para 64 usuarios aun que ya se encuentra en evolución de XG-PON con la cual podría continuar operando, empleando la misma estructura de fibra óptica.
- **Operación, Administración y Mantenimiento (OAM):** Cuenta con un modelo de gestión que facilita al proveedor la administración remota de los equipos de usuario (ONT/ONUs), con lo cual se reduce considerablemente el OPEX y provee de un mecanismo de corrección de errores por FEC.
- **Transporte:** Se envían las tramas de datos por medio de GEM a más de soportar la transmisión de señales CATV-RF.
- **Eficiencia:** Posee una eficiencia del 93 % para todo tipo de tráfico de servicios.
- **Sincronización:** Posee un método de ranging y ecualización para que el acceso al medio de la ONT/ONU se produzca en el instante preciso considerando la distancia física que le separa de la OLT.
- **Acceso al Medio:** Cada uno de los elementos que conforman la red GPON están en sincronía a una referencia temporal común lo que posibilita la asignación de periodos exclusivos y estrictos de acceso al medio por TDMA.

Se define un estándar de tasas de transmisión tanto para subida como de bajada, en el caso de la subida o denominada *Upstream* la red GPON actúa como un red peer-to-peer donde las diferentes ONT/ONU transmiten datos a la OLT, para lo cual se utiliza TDMA (*Time Division Multiple Access*), logrando que cada una de las ONT/ONU envíen datos en diferentes instantes de tiempo al mismo instante que todos los abonados se sincronizan a través del proceso denominado como ranging con una longitud de trama igual a la de bajada mapeando en tramas GEM para lo cual es de vital importancia la sincronización de las mismas para que el tiempo máximo de transmisión sea de 5ms, a diferencia que en el de bajada o denominado *Downstream* se utiliza TDM (*Time Division Multiplexing*) de tal forma que la información no se solape entre sí ya que se usan diferentes instantes de tiempo, para que no se produzcan interferencias se utilizan longitudes de onda superpuestas mediante técnicas WDM. (Villacrés & Muriel, 2016, p. 17-30) Consiste en una partición GEM con un bloque de control físico (Pc) cuya duración de la trama es de 125 microsegundos.

Tabla 1-2: Comparativa de las principales tecnologías PON

CARACTERÍSTICAS	BPON	EPON	GPON
Estándar	ITU-T G.983.X	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Velocidades de transmisión (Mbps)	Bajada: 155, 622, 1244 Subida: 155, 622	Bajada: 1244 Subida: 1244	Bajada: 1244, 2488 Subida: 155, 622, 1244, 2488
Tipo de Fibra	Monomodo Estándar (ITU- T G.652)		
Número de Fibras por ONT	1 ó 2	1	1 ó 2
Ratio de División Óptica	1:32 (Puede aumentar a 1:64)	1:16 (Permite 32)	1: 128 (En la práctica 1:64)
Máxima Longitud de Fibra (OLT-ONT)	20 km	10 km	10- 20 km
Modo de Tráfico	ATM	Ethernet	ATM, Ethernet, TDM
Arquitectura de Transmisión	Asimétrica, Simétrica	Simétrica	Asimétrica, Simétrica
OAM	PLOAM	Ethernet OAM	PLOAM
Seguridad	AES	No definida	AES
Eficiencia Típica (Varía con el Servicio)	83 % Downstream 80% Upstream	73 % Downstream 61% Upstream	93 % Downstream 94% Upstream

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

GPON posee diferentes tipos de clases que se encuentran definidas en el estándar ITU-T G.984.2 que se estudiará a continuación, las cuales definen características de pérdidas máximas y mínimas en cada una de ellas, en la siguiente te tabla se muestra dichas características.

Tabla 2-2: Perdidas Máximas y Mínimas de las Diferentes Clases de Red GPON

CLASE	PÉRDIDAS MÁXIMAS (dB)	PÉRDIDAS MÍNIMAS (dB)
Clase A	20	5
Clase B	25	10
Clase C	30	15
Clase B+	28	13
Clase C+	32	17

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.6. Arquitectura de una red GPON

La figura 17-2, muestra las partes que compone una red GPON.

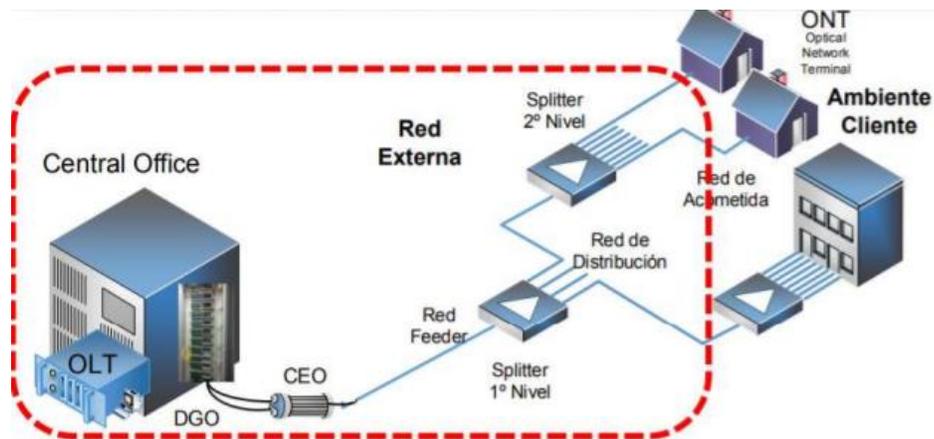


Figura 17-2. Arquitectura de una red GPON

Fuente: (López, 2015, p. 15-18)

Los elementos que conforman dicha arquitectura generalmente son:

- **OLT:** Terminal de Línea Óptico.
- **ODN:** Red de distribución óptica (*Optical Distribution Network*)
- **ONT:** Terminales de Red Ópticos (*Optical Network Terminals*) también conocidas como ONU (*Optical Network Unit*),

2.6.1. OLT

Elemento activo de la red GPON en ubicado en la oficina central, cuyo objetivo es el de controlar la información full- dúplex por medio de la ODN (Red de Distribución Óptica) a través de la función de enrutador, que atiende a algunos suscriptores.

2.6.2. ODN

Está compuesto por los elementos de pasivos de la red GPON, red en la cual las señales transmitidas van a ser distribuidas que interconecta la ONT con el equipo OLT ubicado en la central, recorriendo la red de dispersión, distribución y feeder, en la cual es importante establecer un margen de guarda recomendado de 3 dB con el objetivo de absorber los cambios que se pueden realizar en el diseño de la red; las tres redes que componen la arquitectura GPON se describen a continuación.:

- **Red Feeder.** _ Se define como la primera etapa de la estructura de la fibra óptica cuya función principal es la de interconectar la OLT con el primer nivel de splitter o denominado armario óptico de la red (Carrera, 2016, p. 13), posee una capacidad de 96, 144 y 288 filamentos de hilos,

para determinar la cantidad de hilos de fibra óptica que se requerirán en el despliegue de una red se utiliza la siguiente ecuación.

$$HF = \frac{Df}{S} \quad (7)$$

Donde: $HF = \text{Hilos Feeder}$

$Df = \text{Demanda Final}$

$S = \text{Nivel de Splitter}$

- **Red de Dispersión.** _ Comprende el espacio de red desde el primer nivel de splitteo ubicado en los armarios hasta el segundo nivel de splitteo en las NAPs, este tipo de fibra deberá cumplir con la norma G.652.D y será de 6 a 96 hilos.
- **Red de Dispersión.** _ Considerada como la última etapa de la transmisión de señales ópticas a través de fibra ya que unen las NAPs con las rosetas ópticas, en esta etapa se utiliza el cable drop (interior y exterior).

2.6.3. Ambiente Cliente

El principal equipo que se encuentra en esta etapa es la ONT, los cuales reciben la información para demodularla realizando una conversión de una señal óptica a una eléctrica de tal forma que esta información sea comprensible para los equipos del abonado (Televisión, Ordenador, teléfono, etc.) (López, 2015, p. 15-18)

2.7. Protocolos utilizados en GPON

Para el funcionamiento de la tecnología GPON se utilizan tres protocolos que se detallan a continuación.

○ DBA (Asignación Dinámica de Ancho de Banda)

La técnica de DBA ocurre cuando el equipo OLT usa el control de acceso al medio (MAC) para asignar un intervalo de tiempo a cada ONT evitando colisiones, (Yungán, 2019, p. 4-77) siendo que el ancho de banda es asignado a cada cliente dependiendo de los requerimientos del mismo, siendo el que el intercambio de enlaces es fundamentalmente similar a la multiplexación estática, adaptándose de alguna manera a las necesidades de tráfico instantáneo de los nodos conectados al enlace. (Gómez & Morejón, 2012, 28-36), posee algunas funcionalidades de las redes compartidas, cuando los usuarios que pertenezcan a la red no se hallen conectados las funcionalidades de estos serán distribuidas para los usuarios se beneficiarán de una mayor capacidad de transferencia de datos, si está disponible, y almacenarán esta información durante los períodos de ancho de banda no utilizado.

- **ATM (Modo de Transferencia Asíncrona)**

Esta tecnología gestiona el ancho de banda asignado a cada señal de tráfico en la red, estos pueden ser cualquiera de los servicios que brinda *Triple Play* de manera que el usuario reciba la información formando una plataforma multiservicio cuya información es íntegra ofreciendo diferentes categorías de servicio y unificando las redes, (Asimbaya, 2002, p.1) siendo una red de conmutación de paquetes con un modo de acceso punto a punto que envía celdas atm de longitud fija a través de la LAN o WAN, en lugar de paquetes de longitud variable como lo hacen otras tecnologías desarrolladas satisfacer la alta demanda de capacidad rendimiento para servicios y aplicaciones, (Condori & Laguna, 2017, p. 1) cada una de las celdas ATM posee un tamaño de 53 bytes que usando la tecnología TDM asíncrona toma los datos que requieren ser transportados y los divide en celdas para más tarde multiplexarlos permitiendo obtener anchos de banda de 2 Mbps- 10Gbps.

- **GEM (GPON Encapsulation Method)**

Es la innovación del protocolo de encriptación definido por la ITU-T G.984.3 que define formas de encapsular la información de longitud variable de diversas señales para transportarlas por redes SDH (Jerarquía Digital Asíncrona) u OTN (*Oracle Technology Network*) (Chávez, 2010, p. 20), lo que le concede a la red la capacidad de soportar servicios como : ATM, TDM, Ethernet, etc. Siendo un protocolo de transporte síncrono, las tramas se transmiten utilizando el protocolo de convergencia de transmisión GPON GTC (Transmisión de Convergencia GPON) de forma transparente en sentido ascendente en tramas periódicas de 125 ms que al ser una adaptación GFP (Protocolo de Entramado Genérico) ofrece un mayor ancho de banda con una mayor eficiencia y posibilidad de permitir a las redes continuar ofreciendo servicios tradicionales sin tener que cambiar sus equipos. (Gómez & Morejón, 2012, p 28-36)

2.8. Topología de Redes

Al elegir una topología para la implementación, se deben considerar los siguientes requisitos de red en relación con el tráfico: (Gusqui, 2017, p. 23-25)

- Confiabilidad de Conexión.
- Disponibilidad y factibilidad de acceso de conexión a cualquier hora.
- Capacidad de procesamiento de tráfico a cualquier hora.
- Escalabilidad.
- Distribución estratégica de los equipos a interconectar.
- Retardo en la transferencia de los datos.

2.8.1. Configuración Punto a Punto

Establece un enlace directo entre la OLT y la ONT sin compartir con otros usuarios otorgándole cierta sencillez y robustez al sistema a coste de un elevado costo de implementación por lo que no es un sistema muy utilizado por las arquitecturas FTTH, el cual va a aumentar de acuerdo con el número de abonados que tenga la red el cual suele utilizar un sistema bidireccional para transmitir diferentes longitudes de onda por cada dirección evitando reflexiones indeseadas de la onda. (Marchukov, 2011, p. 7)



Figura 18-2. Enlace Punto a Punto

Fuente: (Marchukov 2011)

2.8.2. Configuración Punto a Multipunto.

Las redes más usadas en fibra óptica son las de arquitectura FTTH cuyo propósito es conseguir cierta sencillez a la estructura a un costo de implementación bajo es por ello por lo que surge la topología punto a multipunto la cual mediante el uso de splitters básicamente funciona como un multiplexor, es decir entra una señal óptica la cual es dividida y distribuida en las salidas proporcionando múltiples servicios. En la tabla subsiguiente se especifican las topologías de red óptica más destacables.

Tabla 3-2: Topologías de la Red Óptica Pasiva

TOPOLOGÍAS	DESCRIPCIÓN
TOPOLOGÍA EN ÁRBOL	Posee un nodo de enlace troncal el cual está ocupado generalmente por un switch o hub, desde el cual se ramifican los demás nodos (Guaygua & Caiza, 2009, p. 23), muy usado en la tecnología FTTH por su bajos costo y eficiencia, estas ramificaciones van desde el enlace troncal hasta el divisor óptico el cual se encargará de repartir la señal.
TOPOLOGÍA EN BUS	Topología muy fácil de implementar la cual posee un cable de conexión común para todos los dispositivos de la red, una gran desventaja a mencionar es su confiabilidad en la transmisión de la información, una ruptura del enlace en el cable de conexión dejaría sin comunicación a los demás abonados.
TOPOLOGÍA EN ANILLO	Es confiable, potente en la transmisión de información y consta de una única conexión común a todos los nodos en un formato de anillo, y la comunicación se puede restaurar de varias formas de enlace de recuperación y protección de ruta. (Cruz, 2019, p. 10-25)

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.9. Sistema Triple Play

La tecnología GPON por su capacidad de banda ancha puede soportar todos los servicios existentes y en crecimiento. A los suscriptores que permiten una completa convergencia de servicios con una única infraestructura a menor costo, a estos servicios se los denomina *Triple Play* (Carpio, 2012, p. 4-5), la integración de estos servicios se da a partir de la digitalización de señales. Un paquete *Triple Play* consta de los servicios de Voz, Datos y Video. Entre sus utilidades se pueden mencionar una red convergente a cambio de tres independientes.

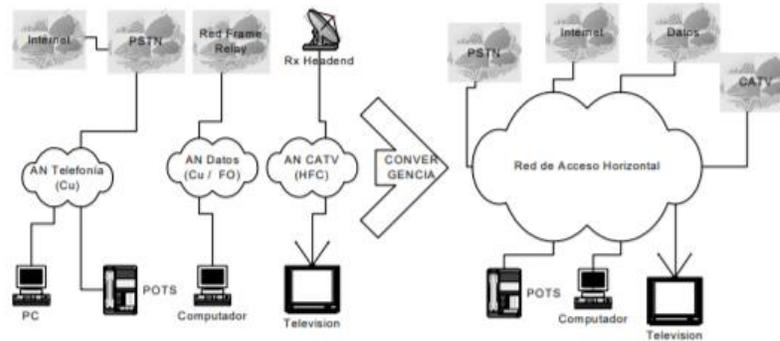


Figura 19-2. Convergencia de las Redes

Fuente: (Mora, Peñafiel & Peñafiel, 2008, p. 23)

2.9.1. Televisión Digital

La televisión digital (TVD) técnica de radiodifusión de señales que consiste en convertir el sonido, la imagen y contenidos interactivos en información digital brindando calidad de imagen y sonido (Morales, 2010, p. 1-5) emitiendo grandes volúmenes de datos de forma sincronizada para evitar los retardos al momento de transportar audio y video, existen dos formas de transmitir este servicio como lo es el modelo unidireccional que envían las señales a través de un satélite hacia una antena receptora ubicado en la cercanía del usuario y el modelo bidireccional el cual transmite individualmente la información a través de paquetes IP, mediante la fibra óptica esos son emitidos a través del mismo medio de transmisión trabajando a una longitud de onda de 1550 nm a través de la técnica WDM, obteniendo una red convergente.

2.9.2. Voz sobre IP (VoIP)

Los paquetes IP llevan las señales de voz con características especiales y difíciles de incorporar usando servicios telefónicos tradicionales encapsulando la voz en paquetes para ser transportados sobre las redes IP eliminando la dependencia de circuitos conmutados, reduciendo los costos de recargo a la planilla permitiendo saber si los demás usuarios están en línea para determinar su disponibilidad, VoIP funciona mediante el Protocolo de Internet (IP) , posee la capacidad de enviar imágenes y videos de forma simultánea con el abonado con el que se tenga conexión en ese momento (Va a depender del servicio implementado) a más de utilizar las direcciones de correo electrónico como un identificador para establecer la comunicación.

Con Voz sobre IP se puede realizar llamadas telefónicas desde cualquier lugar que posee una conexión a banda ancha pudiendo ser administrados por cualquier proveedor donde exista una conexión lo que permite al usuario viajar con sus dispositivos VoIP, existen tantos teléfonos fijos los cuales poseen una entrada RJ-45 y los teléfonos Wi-Fi los cuales se conectan y realizan llamadas VoIP a través de un punto inalámbrico. (Soto & Díaz, 2009, p. 1-4)

2.9.3. Internet

Sistema de redes informáticas de telecomunicaciones que está interconectado a nivel mundial y ofrece una gran variedad de servicios. (Cruz, 2019, p. 10-25)) cuya característica es su elevado ancho de banda.

2.9.4. Calidad de servicio en IPTV (QoS)

Se le denomina Calidad del Servicio (QoS) al conjunto de mecanismos y técnicas que se efectúan con el objetivo de garantizar los requerimientos de transmisión necesarios para cada tipo de servicio, una de las soluciones es la técnica denominada Servicios Diferenciados (DiffServ) la cual permite que enrutadores y conmutadores de las redes se comporten de manera distinta en función a cada tipo de servicio que circula por la red (Voz, Datos y Video) (García, 2009, p. 51-53) los parámetros de conexión que generalmente se definen para determinar una calidad de servicio son:

- ✓ **Ancho de Banda.** _ Se expresa en bits por segundo y se refiere a la cantidad de ancho de banda que necesita la aplicación para un óptimo funcionamiento.
- ✓ **Perdida de Paquetes.** _ Ocurre en el momento en el que al receptor le es imposible recibir paquetes ya sea por el arribo del paquete en un tiempo mayor al requerido por el servicio o por sobrepasar la capacidad de algún buffer en momentos de congestión, se mide en porcentaje.
- ✓ **Latencia.** _ Tiempo en el que el paquete atraviesa desde su origen a su destino definido como la suma de todos estos retardos temporales dentro de una red, una de las principales causas de estos retardos son las congestiones de las redes.
- ✓ **Jitter.** _ El jitter es un efecto de las redes de datos no orientadas a conexión y basadas en conmutación de paquetes. (García, 2009, p. 51-53) Definiéndose como la variación del tiempo de un paquete causados por la pérdida de sincronización, diferentes rutas seguidas por los paquetes para llegar a su destino o por la congestión de una red afectando principalmente a las comunicaciones en tiempo real ya que precisan una llegada ordenada de los paquetes.

Tabla 4-2: Resumen de Requerimientos de QoS para los servicios Triple Play

TIPO DE TRÁFICO	ANCHO DE BANDA	PÉRDIDA DE PAQUETES (MA)	LATENCIA (MAX)	JITTER (MA)
VoIP	10 a 106 Kbps	1%	150 ms	30 ms
Video	0,05 a 10 Mbps	2%	5000 ms	insensible
Datos	variable	sensible (0%)	insensible	insensible

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.10. Parámetros de transmisión

Se especifican los parámetros más utilizados que permiten comprobar la calidad del enlace durante la transmisión.

2.10.1. BER (Bit Error Ratio)

Se define como la cantidad de bits transmitidos en un intervalo de tiempo vs los bits erróneos, siendo una medida que permite evaluar la calidad de la información que se recibe en el receptor frente a la que fue transmitida. Según la norma ITU-T G.984.2 la calidad para este parámetro debe ser menos a 10^{-10} es decir que se permitirá que un bit sea erróneo de los 1000 millones de bits que fueron transmitidos, si se aumenta el BER la calidad de la señal se reducirá hasta el punto en el que no sea posible descifrar el mensaje que fue transmitido por el emisor. (Yungán, 2019, p. 4-77)

2.10.2. Factor Q

El factor Q permite obtener una estimación del comportamiento del sistema es una función que depende de la media y la varianza de las intensidades de corriente en el receptor las cuales se representan como 1 y los 0 lógicos. (Carmona & Montes, 2009, p. 4-69) Durante la transmisión para las señales, es muy importante utilizar este parámetro porque varios factores como los efectos no lineales, la dispersión y el ruido pueden causar distorsión de la señal que de acuerdo con la ITU-T G.984.2 el valor establecido de calidad es de 6 o mayor a este.

2.10.3. Codificación NRZ (No Return to Zero)

Codificación sin retorno a cero de dos niveles usada para transmitir datos y señales de control del estado del enlace por el medio (Carmona & Montes, 2009, p. 4-69) con el cual se transmiten bits por cada ciclo de reloj, cada nivel de voltaje alto es equivalente a un 1 binario y un nivel bajo a un 0 binario con los cuales se representa la amplitud de la señal digital transportada con respecto al ciclo de reloj siendo son muy sencillos de implementar y con un eficiente uso del ancho de banda.



Figura 20-2. Codificación NRZ

Fuente: (Carmona & Montes,2009, p. 4-69)

2.10.4. Diagrama de ojo

Representación gráfica esto le permite observar la superposición de muchas combinaciones posibles de unos y ceros durante un período de tiempo, con el cual se pueden analizar las formas de las ondas con el cual si la amplitud tiene una buena separación y un jitter un valor bajo se observará un diagrama similar a un ojo abierto, se establece que el enlace posee una excelente tolerancia al ruido y al jitter cuando la apertura del ojo es muy marcada, indicando una adecuada sensibilidad en el receptor caso contrario cuando esta es menor puede ser debido al efecto del ruido y al efecto de error de temporalización lo que provoca que el diagrama se vaya cerrando. (Yungán, 2019, p. 4-77)

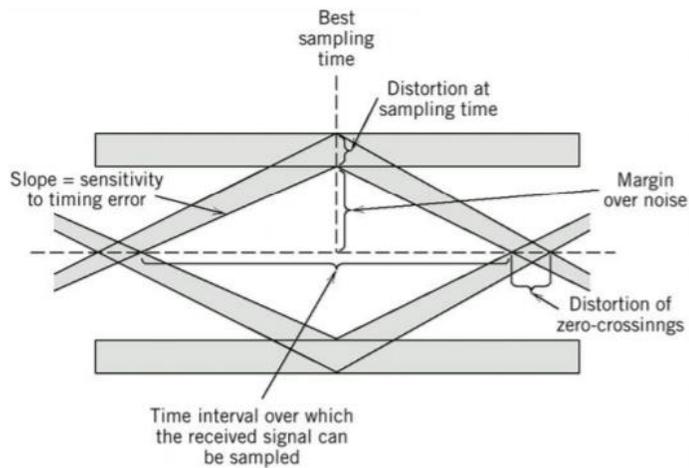


Figura 21-2. Diagrama del Ojo

Fuente: (Carmona & Montes,2009, p. 4-69)

2.10.5. OSNR Relación señal a ruido

Se define como la relación de potencia óptica por canal antes del receptor y la potencia de ruido siendo una medida mucho más sencilla que el factor Q lo que lo convierte en otro indicador de la calidad del enlace sin embargo la relación entre estos dos indicadores no es directa, al depender de las características del receptor, así como de las formas de los pulsos ópticos (Carmona & Montes,2009, p. 4-69)

2.11. Norma ITU-T G.984.x

La norma ITU-T G.984.x (x= 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7) se define como una extensa recomendación que proporciona un amplio criterio con el objetivo de optimizar la relación calidad-precio porque el factor pasivo proyecta un diseño ideal para evitar trabajos posteriores a la construcción. proporcionando las bases adecuadas para el diseño y certificación de las topologías GPON. (Quisnancela & Espinosa, 2016, p. 16-30) Recomendaciones con el fin de proporcionar al usuario una regulación de la estructura de la red y proporciona varias especificaciones de dispositivo para admitir el estándar GPON obteniendo una unificación de las prestaciones y una correcta compatibilidad de equipos, recomendaciones que fueron aprobadas por la UIT (International Telecommunication Union) especialmente el grupo (UIT-T) (Vélez, 2015, p. 34-40).

Serie G.984.x GPON:

- **G.984.1:** Características generales de una red GPON.
- **G.984.2:** Especificaciones de la capa dependiente de los medios físicos.
- **G.984.3:** Transmisión.
- **G.984.4:** Especificaciones de la interfaz de control y gestión de la terminación de red óptica.
- **G.984.5:** Ampliación de bandas.
- **G.984.6 / 7:** GPON de largo alcance

2.11.1. Recomendación ITU-T G.984.1

Se define como una introducción a la tecnología GPON en la que basándose en las necesidades de los servicios que requiere la red óptica describe sus características generales las cuales se citan a continuación. (ITU-T G.984.1, 2012)

- **Alcance:** Posee un alcance lógico de 60 Km, aunque en la práctica se establece un alcance máximo de 10 Km a 20 Km.
- **Servicios:** Soporta los servicios Triple Play, es decir que son capaces de brindar las redes de acceso FTTx adicionalmente UNI (User-Network Interface) y SIN (Service Node Interface)
- **Velocidades Binarias:** La velocidad utilizada en la red GPON es de 1.24 Gbps y 2.48 Gbps.
- **Nivel de división:** Posee la capacidad de dividir la señal en 1:32, 1:64 y 1:128

- **Seguridad:** Se utilizan técnicas de encriptación por la naturaleza de multidifusión de PON, para asegurar la confidencialidad de la información.
- **Retardo Máximo de Transferencia de la Señal:** En la tecnología GPON el retardo máximo de transferencia es de 1,5 ms
- **Protección:** Aseguran la confiabilidad de la red de acceso.

2.11.2. Recomendación ITU-T G.984.2

La recomendación ITU-T G.984.2 otorga una descripción de la especificación de gestión de la capa de dependencia de medios físicos (PMD), soportando tasas de datos elevadas a grandes distancias a altas tasas de división debido a la optimización de la PMD, centrada específicamente en los servicios de soporte de la red con requisitos de anchura de banda para servicios que usan velocidades de Gbps, la red de acceso óptico debe tener una versión actualizada proporcionada por el operador de red de flexibilidades que satisfagan las necesidades futuras de los clientes. (ITU-T G.984.2, 2019)

La recomendación ITU-T G.984.2 Enmienda 1 “Nuevo apéndice III – Prácticas idóneas utilizadas en la industria para redes ópticas pasivas con capacidad de 2,488Gbit/s en sentido descendente y 1,244Gbit/s en sentido ascendente”, determina el uso de las normas del estándar GPON a las velocidades ya mencionadas, por ejemplo el incluir en la OLT el FEC (Algoritmo de Corrección de Errores) en sentido descendente, además de considerar la degradación de la señal posee diferentes valores dependiendo del modo en el que se trabaje.(Vélez, 2015, p. 34-40) En dicha recomendación se establecen tablas para el cálculo de balance de potencia con la finalidad de aumentar la capacidad operativa de la red GPON, el rango de longitud de onda para su funcionamiento en sentido descendente en sistemas de fibra será de 1480 a 1500 nm y en descendente de 1260 a 1360 nm.

Tabla 5-2: Niveles de Potencia óptica en GPON

Característica	Unidad	Monofibra
OLT		
Minima potencia media inyectada	dBm	+1,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Minima sencibilidad	dBm	-28
Minima Sobrecarga	dBm	-8
Degradacion óptica en sentido descendente	dB	0,5
ONU		
Minima potencia media inyectada	dBm	+0,5
Máxima potencia media inyectada	dBm	+5
Minima sencibilidad	dBm	-27
Minima Sobrecarga	dBm	-8
Degradacion óptica en sentido descendente	dB	0,5

Fuente : (Vélez, 2015, p. 34-40),

En la tabla 6-2 se presentan las atenuaciones establecidas por el estándar respecto a la longitud de onda.

Tabla 6-2: Niveles de Atenuación en GPON

Característica	Unidad	Monofibra
Mínima atenuación a 1490 nm	dB	13
Mínima atenuación a 1310 nm	dB	13
Máxima atenuación a 1490 nm	dB	28
Máxima atenuación a 1310 nm	dB	28

Fuente : (Vélez, 2015, p. 34-40),

Tanto para particulares como para empresas posee un ancho de banda de servicio que soporta velocidades de línea nominal en sentido ascendente de 155,20 Mbps, 622,080 Mbps, 1.244, 15 Gbps y 2.488,32 Gbps y en sentido descendente de 1. 1244,16 Gbps y 2.488, 32 Gbps.

Tabla 7-2: Parámetros de capa dependientes del medio físico de la ODN

CARACTERÍSTICAS	UNIDADES	ESPECIFICACIÓN
Rango de atenuación	dB	Clase A: 5-20 Clase B: 10-25 Clase C: 15-30
Tipo de fibra	//	[ITU-T G.652]
Pérdida de trayectoria óptica diferencial	dB	15
Penalización máxima de la trayectoria óptica	dB	1
Alcance lógico máximo	km	60
Alcance lógico diferencial máximo	km	20
Distancia máxima de la fibra para enviar / recibir (S / R) y recibir / enviar (R / S)	km	10 ó 20
Máximo de subdivisiones de la señal admitidas	//	Restringido por pérdida de ruta PON con divisores pasivos (división de 16, 32 o 64 vías)
Transmisión bidireccional	//	WDM de 1 fibra o 2 fibras
Longitud de onda de mantenimiento	nm	Por definir

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Entre los rangos de atenuación del estándar GPON se tiene a más de las ya mencionadas la clase GPON B+ con una atenuación de 13-28 dB y la clase GPON C+ con 17-32 dB según los Amendment 1 (2006) y el Amendment 2 (2008) de la recomendación G.984.2 respectivamente.

2.11.3. ITU-T G.984.3

Esta recomendación detalla la capa de convergencia de transmisión GPON (GTC) describiendo la funcionalidad OAM y la activación de la OLT (tramas de los formatos, métodos de control de acceso, el ranging, seguridad en redes GPON, etc.), incluyendo la técnica TDMA en dirección ascendente, FEC para corrección de errores y técnicas para activar el usuario final (Yungán, 2019, p. 4-77) Junto con la serie G.984 de Recomendaciones ITU-T, describen un único sistema de transmisión de acceso (ITU-T G.984.3, 2014) con una implementación de seguridad AES.

2.11.4. ITU-T G.984.4

Esta norma especifica la (OMCI) de la ONT para redes GPON, trabaja con una base de información de gestión (MIB), cubre el canal de gestión y control de la ONT (ITU-T G.984.4, 2008), a más de especificar la MBI (Management Information Base) la cual tiene como objetivo el de encargarse de las averías, óptimo funcionamiento de la ONT y la gestión de configuración, considerando lo siguiente: (Vélez, 2015, p. 34-40),

- Capa de adaptación GEM
- Servicios de emulación de circuitos

- Tipo de multiplexación WDM
- Servicios de Ethernet y de voz.
- Capas de adaptación en el estándar ATM.

2.11.5. ITU-T G.984.5

Para maximizar el valor de las redes ODN, ésta norma establece un rango de longitudes de onda para señales de servicio adicionales que trabajan, mediante la técnica WDM (ITU-T G.984.5, 2014). A continuación, se pueden observar los rangos de longitud de onda dados en esta recomendación.

Tabla 8-2: Longitudes de onda en uso y reserva de GPON

Columna1	Columna2	Columna3	Columna4	Columna5
Característica	Notación	Unidad	Valor Nominal	Ejemplo de aplicación
Banda de 1300 nm				Canal ascendente de GPON
Banda de longitud de onda regular				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1260	ONUs basadas en láseres Fabry-Perot
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1360	
Banda de longitud de onda reducida				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1290	ONUs basadas en láseres DFB
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1330	
Banda de longitud de onda estrecha				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1300	ONUs basadas en láseres de selección de longitud de onda
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1320	
Banda mejorada (opción 1-1)				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1415	Para redes NGA, para fibras ópticas especificadas en ITU-T G.652A&B
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1450	
Banda mejorada (opción 1-2)				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1400	Para redes NGA, para fibras ópticas con picos de agua
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1450	
Banda básica				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1480	Canal descendente de GPON
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1500	
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1530	Para redes NGA, en sistemas ópticos de monitoreo
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1480-1625	
Banda mejorada (opción 3)				
Límite Inferior	$\lambda 1$	nm	1550	Para el servicio de distribución de video
Límite Superior	$\lambda 2$	nm	1560	

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.11.6. ITU-T G.984.6 e ITU-T G.984.7

Describen los parámetros de la arquitectura como de la interfaz en el estándar GPON con sistemas de mayor alcance a través del uso de un dispositivo de extensión del alcance de la capa física (ITU-T, G.984.6, 2008). muy similar a un amplificador óptico en la red ODN con su alcance máximo limitado por el estándar ITU-T G.984.2 con un presupuesto de potencia que admite pérdidas de 27.5 dB (Vélez, 2015, p. 34-40),

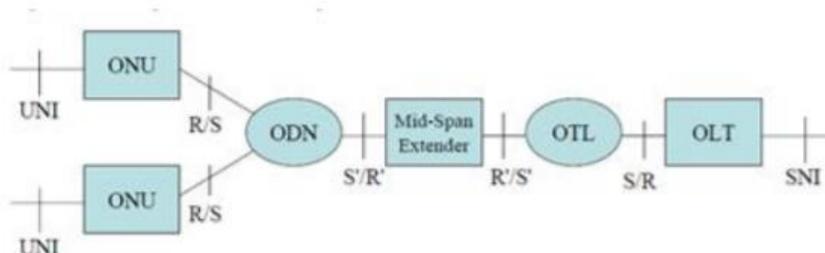


Figura 22-2. Arquitectura requerida para la extensión del alcance

Fuente: (ITU-T 2014)

2.12. Elementos de una Red GPON.

Tabla 9-2: Elementos principales de una red GPON

ELEMENTO	DEFINICIÓN
OLT (Terminal de Línea Óptica)	Elemento activo de la red, punto central de donde inicia el despliegue de la fibra óptica hacia los abonados, considerado como el cerebro de la red el cual es el que brinda el servicio a los abonados, maneja la autenticación, seguridad y distribución de ancho de banda siendo el enrutador de la red cuya finalidad es la de ofrecer todos los servicios que el usuario final demanda.
ONT (Terminal de Red Óptica)	Elemento activo encargado de ofrecer las interfaces al usuario ubicado en las instalaciones de este, estos equipos van a depender de la arquitectura de red que se vaya a implementar (FTTH, FTTB, entre otras), diseñada para brindar servicios como: VoIP, IPTB, Datos. Permite el uso de cable UTP o par trenzado, realiza la conversión de luz a corriente para que los datos puedan ser interpretados por los usuarios.
SPLITTER	Encargado de dividir la señal óptica en N salidas, siendo estas de menor potencia, pero con el mismo

	<p>contenido óptico de datos, posee diferentes capacidades de división: 1x2, 1x4, 1x8, 1x16, 1x32, 1x64. En una red con tecnología PON es recomendable el empleo de solo dos niveles de splitteo por la atenuación que estos causan a la señal.</p>
ROSETA ÓPTICA	<p>Elemento pasivo final, compuesta de dos acopladores que interconectan al pachcord y la red de acometida hacia la ONT.</p>
CONECTORES	<p>Encargados de conectar las líneas de fibra a una fuente de luz, elemento o a un receptor/transmisor ya que recolectan y dirigen la luz siendo fácilmente acoplados y desacoplados, estos van a depender del tipo de aplicación que se les vaya a dar o al dispositivo que conforme la red, en las redes de fibra óptica va a depender del pulido que estos posean entre estos tenemos los:</p> <ul style="list-style-type: none"> • PC (Physical Contact) • UPC (Ultra Physical Contact) • APC (Angled Physical Contact)
NAP (Network Access Point)	<p>Dispositivo encargado de la protección de la fibra óptica en donde en su interior se realiza el splitteo de los hilos de fibra óptica, este proceso es conocido popularmente como sangrado de la fibra el cual posee una base que permite su instalación en los postes, pozos o muros, siendo la puerta de comunicación entre la ODN y los usuarios finales, estos puertos hacia la red de distribución son puertos SC/APC.</p>
ARMARIOS (FDH)	<p>Ubicados en puntos estratégicos de los distritos en los cuales el enlace entre la red feeder y la de distribución se establecen por medio de los splitters 1xn, en el cual se da el primer nivel de splitteo.</p>

PATCH CORD	Conecta un dispositivo electrónico con otro los cuales conectan la OLT o equipo activo y la ODF en su porción interna, lo que permite una administración de puertos del equipo activo son de tipo simplex o dúplex.
PIGTAIL	A diferencia del patch cord este posee un solo conector al extremo ya sea hembra o macho para la interconexión con el equipo central, mientras que al otro extremo posee un hilo de fibra el cuál se empalmará con la fibra óptica proveniente de la red.
ODF (Distribuidor de Fibra Óptica)	Gabinete metálico en el cual se distribuyen los hilos de forma organizada para que estos puedan ser habilitados a fin de conectar físicamente hacia las interfaces de los equipos de transmisión, esta distribución organizada de los hilos y fusiones se da a cabo en la unidad organizadora (MDU)

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

2.13. Análisis del Software de Simulación.

A continuación, se muestran algunos de los simuladores de redes de fibra óptica más eficientes y convenientes:

2.13.1. *OptiSystem.*

Programa de simulación que le otorga al usuario la capacidad de simular, planificar y probar un diseño de fibra óptica con una capacidad de aproximación a los resultados reales muy cercana a la realidad, posee una interfaz similar a Matlab, las principales herramientas de análisis permiten visualizar en sus diagramas son: (Optiware, 2021)

- ❖ Diagramas del Ojo.
- ❖ Analizador de la Tasa de Error (BER)
- ❖ Analizador del Espectro Óptico.
- ❖ Factor de Calidad (Q-Factor)
- ❖ Diagramas de Constelación.

A más de poseer una capacidad de simulación para la mezcla de varias longitudes de onda, en modulación cruzada en fase y modulación auto fase, por citar las más destacadas.



Figura 23-2. Interfaz del Software OptiSystem

Fuente: (Optiware, 2021)

2.13.2. *OpNet Modeler.*

Uno de los simuladores más avanzados en el campo de las redes de telecomunicaciones, su característica más relevante es el simulador orientado a objetos, que brinda a los usuarios una excelente capacidad para interpretar y generar escenarios el cual dispone de una gran variedad de librerías lo que le otorga la capacidad de simular una gran variedad de redes donde intervengan un gran amplio número de protocolos y variables específicas que el usuario pueda modificar y estudiar, (Romero, 2013, p. 21-23) evalúa las redes bajo condiciones de simulación como: Pérdidas de paquetes, caídas del enlace, flujo de variables de tráfico, etc. Permitiendo una comunicación de tres niveles de manera jerárquica: Modelo de Red, Modelo de Nodo y Modelo de Proceso, las principales características son: (EcuRed, 2021)

- Posee una interfaz sencilla e intuitiva
- Posee una gran cantidad de librerías de modelados lo que facilita al usuario para el diseño y estudio de las redes
- Escalabilidad y flexibilidad de la red.
- Capacidad de acceso al código fuente.

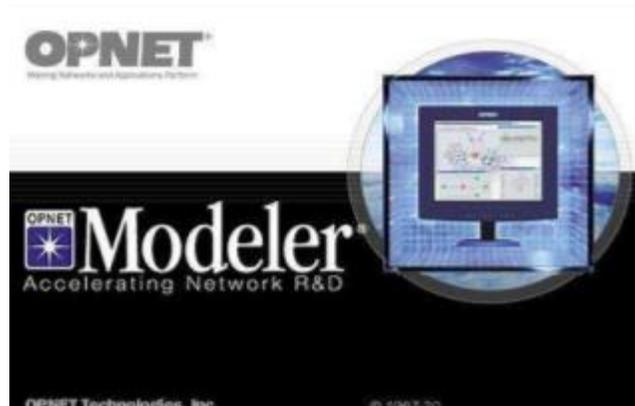


Figura 24-2. Interfaz del Software OpNet Modeler

Fuente: (Cruz, 2019, p. 10-25)

2.13.3. *Omnet ++ (Red de pruebas Objetiva Modular en C++)*

El programa posee dos interfaces de ejecución, la interfaz gráfica y la de programación en el cual se pueden ejecutar simulaciones compiladas que se requieran la herramienta gráfica, siendo un entorno de simulación de eventos discretos, orientado a objetos y modular el cual proporciona una arquitectura de componentes (programadas en C++) para los modelos, luego ensamblados en componentes y modelos más grandes que utilizan un lenguaje de alto nivel. (Torres,2015, p. 28-31). Al momento de compilar una simulación crea un ejecutable "standalone" e incluye un compilador Oxygen a más de facilitar la programación para el usuario, así como la reutilización del código. Su comunicación se basa mediante pasos de mensajes constituidos por módulos de clasificación jerárquica que son:

- Modelado del tráfico en una red de telecomunicaciones
- Para sistemas de software complejos, evalúe los aspectos de desempeño.
- Para eventos discretos, modele cualquier sistema.



Figura 25-2. Interfaz del Software OMNet++

Fuente: (Cruz, 2019, p. 10-25)

Al presentar las características de los tres tipos de software se ha seleccionado OptiSystem debido a que este es un simulador de alto nivel basado en sistemas basados en modelos realistas de la tecnología PON el cual posee la capacidad de brindar diferentes herramientas de análisis para la determinación de un correcto funcionamiento de la red simulada el cual tiene un potente entorno de simulación y definiciones jerárquicas de componentes y sistemas permitiendo diseñar redes de acceso FTTH, anillos WDM, OCDMA, etc. Permitiendo la creación de prototipos de muy bajo costo con análisis de rendimiento del sistema, lo que lo convierte en un software innovador y de fornida arquitectura con una interfaz muy similar a Simulink de Matlab permitiéndole simular tanto sistemas digitales como analógicos y enlaces ópticos de redes como GPON, BPON y EPON ofreciendo una óptima integración con otros componentes de la misma línea, los cuales proporcionan más elementos extras para un análisis profundo a más de poseer herramientas de análisis de resultados como:

- Factor de calidad (Q)
- Analizador de espectros
- Analizador de diagrama del ojo
- Analizador de la probabilidad de error de bit (BER)

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO.

Este capítulo presenta la metodología utilizada para diseñar redes ópticas. para brindar el servicio de Triple Play a 520 usuarios, que comprende el diseño lógico, en donde se detalla la topología de la red, el ancho de banda, el sector de referencia en el que se va a simular la red, la ubicación de los equipos dentro del área de estudio y el diseño físico de las redes de feeder, distribución y distribución mediante el software de simulación.

3.1. Metodología del diseño.

Al determinar los conceptos básicos de la tecnología de fibra óptica para brindar un servicio *Triple Play* se procede al siguiente paso sobre los requerimientos y análisis del diseño respecto a la capacidad, eficiencia y distancia de la red, trabajando con una investigación no experimental ya que no se manipulan variables independientes, es decir no se realizan experimentos ya que se busca la innovación mediante el uso de tecnología ya existente.

3.2. Enfoque

Al partir de algo no medible que posteriormente pasó a algo medible se realizó un enfoque cualitativo-cuantitativo, es decir que los hechos al final terminaron por aportar conclusiones.

3.3. Método de Investigación.

- ✓ **Método inductivo**, utilizado al determinar la problemática del proyecto mediante el estudio de hechos, fenómenos o relativos, en este trabajo se crean casos relacionados con el acceso a la información mediante enlaces de Internet, el diagnóstico de la situación actual y la presentación de sugerencias.
- ✓ **Método deductivo**, útil para la comprensión de los principios de funcionamiento, estándares que rigen el uso y funcionamiento de la tecnología, conceptos; necesarios para realizar los diseños de la red GPON.
- ✓ **Método analítico**, permitió analizar extensivamente las ventajas del uso de un sistema Triple Play, diseño que entre otros son objeto de este estudio y facilitan la investigación, identificación de causas y la explicación e impacto de eventos o fenómenos relacionados con el tema de estudio.
- ✓ **Síntesis**, Utilizado para la reconstrucción de ideas con relación al problema de tal manera que facilite su comprensión y establecimiento de la propuesta.

3.4. Técnicas

Son todas las herramientas y procedimientos que se utilizan para generar, recopilar, analizar y presentar información útil, confiable y objetiva.

- ✓ **Observación:** mediante esta técnica se regularizan los puntos específicos en los que se les va a asignar los distintos equipos a usar en la red, mediante la recopilación de datos de forma visual en el sector de estudio demandando un diseño que se adapte a las necesidades y proyecciones futuras de la red GPON para dar servicio Triple Play.
- ✓ **Encuesta:** Recopila información de los sujetos a prueba de la zona de estudio para determinar el alcance de la red y su proyección mediante la aplicación de un cuestionario enfocado a cubrir las necesidades de los usuarios.

Para el diseño de la red se deben tener presente algunos criterios técnicos los cuales se encuentran divididos en dos partes: el diseño lógico y el diseño físico que se detallan a continuación.

3.5. Diseño Lógico.

- Sector de Estudio.
- Determinación de la Topología de la Red.
- Determinación del Ancho de Banda.
- Determinación del tipo de fibra a utilizar.
- Ubicación de equipos.

3.5.1. Sector de Estudio.

La parroquia Sucúa, pertenece al grupo de las 4 parroquias pertenecientes al cantón Sucúa, ubicada en la zona 6 correspondiente a la provincia de Morona Santiago perteneciente al cantón Sucúa con código de distrito 14D03 correspondiente al circuito 14D03C02_a_b, ubicado en la latitud -2.45866° y longitud -78.17171° con un total de 16917 habitantes, cifra estimada a una proyección al año 2021 tomando en consideración como línea base el número de habitantes del último censo realizado en el 2010, (INEC, 2010) y 3978 viviendas según el último Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial (PDOT) realizado en el cantón. Para este proyecto se toma como posibles clientes por el número de hogares, más no por el número de habitantes ya que el servicio es contratado por hogar más no por habitante. A continuación, se muestra en la figura 1-3 el área de estudio para la red de acceso GPON, delimitada por un relleno de color amarillo, la siguiente figura fue tomada del software ArGis el cual es muy útil ya que se requiere tener una delimitación del área de interés con sus respectivos puntos georreferenciados.

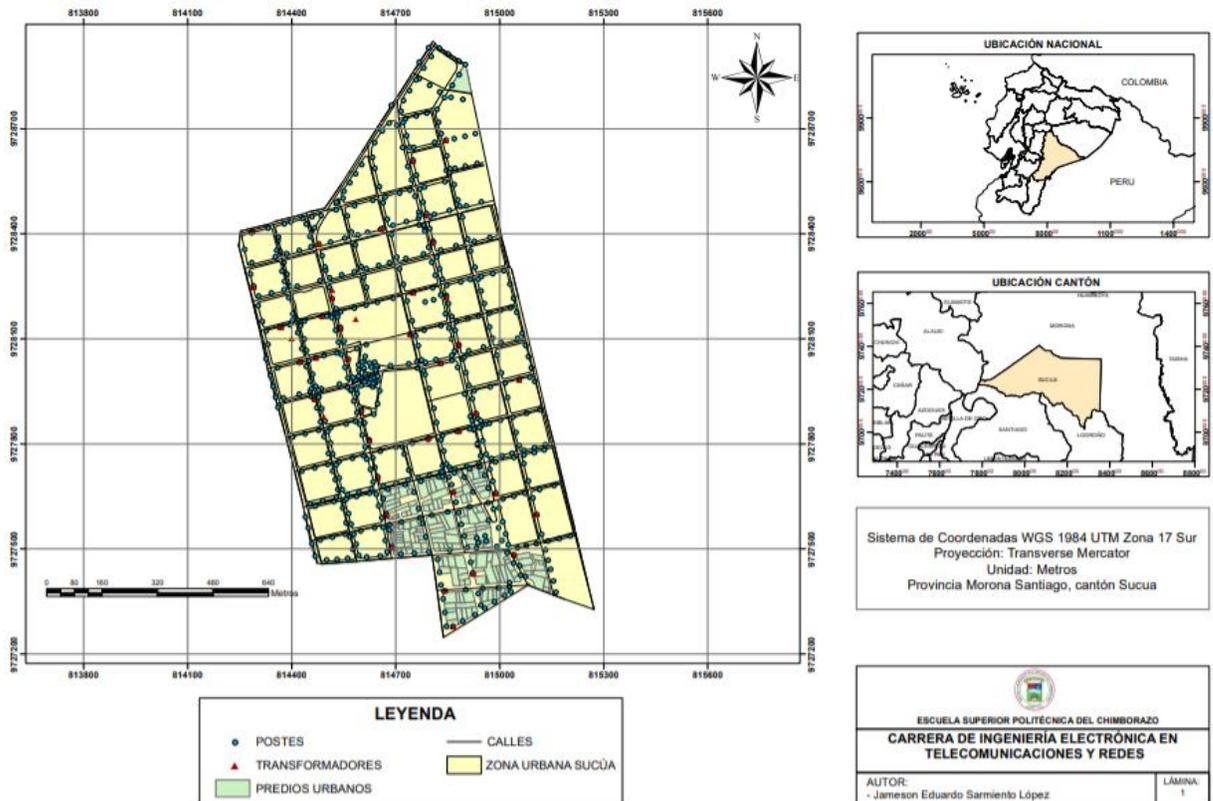


Figura 1-3. Área de Estudio
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

3.5.1.1. División en Distritos

Para propósitos de diseño, se procedió dividir en tres distritos el sector de estudio como se constata en el ANEXO A.

3.5.1.2 Población

Del recorrido realizado por la parroquia se tomó como muestra de estudio la zona urbana de Sucúa de la cual se obtiene una proyección de 520 potenciales usuarios distribuidos de forma dispersa a lo largo de la zona central urbana de la parroquia de los cuales se les distribuyó en tres distritos como se puede constatar a continuación en la tabla 1-3.

Tabla 1-3: Número de viviendas por zona

NÚMERO DE ZONA	NÚMERO DE VIVIENDAS.
Distrito 1	173
Distrito 2	172
Distrito 3	175
Total	520

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

3.5.1.2. Muestra

El número de viviendas en el área de estudio se utilizó como referencia para establecer la muestra de la zona urbana de la parroquia Sucúa, y se obtendrá a través de la muestra aleatoria simple otorgándonos un muestreo puramente estadístico a través de la siguiente fórmula.

$$n = \frac{N}{(\varepsilon^2 \times (N-1)) + 1} \quad (8)$$

Donde:

- **N** = Representa el tamaño de la población
- **ε** = Error muestral deseado, 95% de confiabilidad
- **n** = Tamaño de muestra

Los valores que se utilizan en este caso son:

N= 520 viviendas

ε = 0.05 lo que corresponde el margen de error, además es el más usado.

Al aplicar la ecuación 8 se establece que el número de encuestas a aplicar en el área de estudio son:

$$n = \frac{520}{(0.05^2 \times (520 - 1)) + 1}$$

$$n = 226.3329706$$

$$n = 227 \text{ encuestas.}$$

3.5.1.3. Diseño de la Muestra.

Las preguntas que se aplicaron a la población en la encuesta se muestran en el ANEXO B, la cual consta de 5 preguntas, cada una de estas tiene opciones de respuesta de opción múltiple y de fácil comprensión para una mejor interpretación por parte del encuestado e informantes, para lo cual se obtuvo un tiempo promedio de 10 minutos por cada persona encuestada, dicha encuesta pretende cumplir con los siguientes aspectos.

- Determinar el grado de satisfacción de los usuarios con el servicio prestado por parte del proveedor de servicio de internet (ISP) actual.
- Delimitar la demanda potencial de los nuevos servicios que se presten.
- Estimar el ancho de banda requerido para ofertar un servicio de calidad.

3.5.1.4. Resultado y Análisis de la Encuesta

A continuación, se da a conocer los resultados de las encuestas realizadas a los sujetos de estudio con el objetivo de realizar su respectivo análisis para encontrar la mejor forma de alcanzar los objetivos propuestos, los mismos que están enfocados a través de simulación determinar la calidad de servicio que brinda la tecnología de fibra óptica mediante una red convergente. Todas las preguntas aplicadas están relacionadas a determinar el grado de satisfacción por parte de los usuarios finales que tienen contratado o que podrían ser posibles clientes de los servicios *Triple Play*, incluyendo parámetros como costo, calidad del servicio, problemas, mejoras en el servicio con el fin de resolver los problemas existentes en la zona de estudio, cada pregunta tiene una explicación correspondiente, además de una tabla que contiene los valores obtenidos de las encuestas junto a un diagrama de pastel que muestra de una mejor manera cada respuesta obtenida fundamentadas en una muestra de 227 personas.

- **Pregunta 1:** ¿Actualmente usted tiene contratado los servicios de Telefonía, Internet y Televisión, por un mismo medio de transmisión?

Tabla 2-3: Habitantes que tienen contratado el servicio Triple Play

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Si	22	9.69 %
No	205	90.31 %
Total	227	100 %

Fuente: Investigación de Campo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Para una mejor interpretación de los datos en los diagramas de Pastel se redondearán los resultados a su inmediato superior o inferior ya que los sujetos de muestra son personas en todas las preguntas.

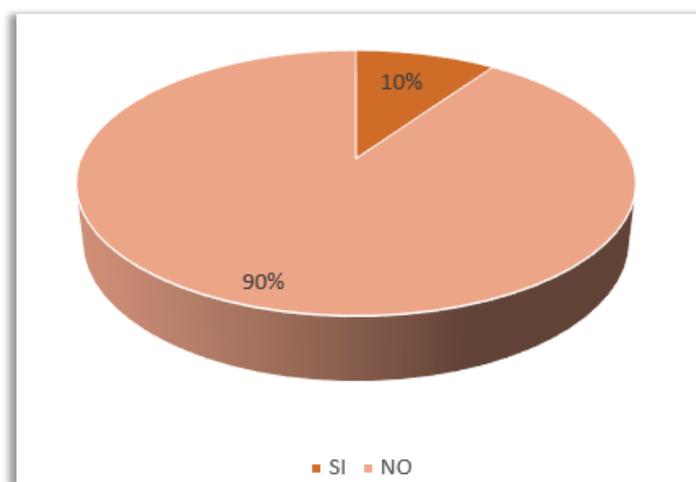


Gráfico 1-3. Porcentaje de habitantes que tienen contratado el servicio Triple Play
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Interpretación.

En el gráfico 1-3 se indica que el 10 % de los habitantes encuestados contestaron que tienen contratado los tres servicios por un mismo medio de transmisión y el 90 % de los mismos no, lo que concluye que la zona de estudio es propicia para difundir una nueva tecnología y brindar el servicio *Triple Play*.

- **Pregunta 2:** ¿Usted está conforme con los servicios que tiene en su hogar, a través de la red actual?

Tabla 3-3: Conformidad de los usuarios con los servicios actuales.

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Si	31	13.66 %
No	194	85.46 %
No Aplica	2	0.88 %
Total	227	100 %

Fuente: Investigación de Campo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

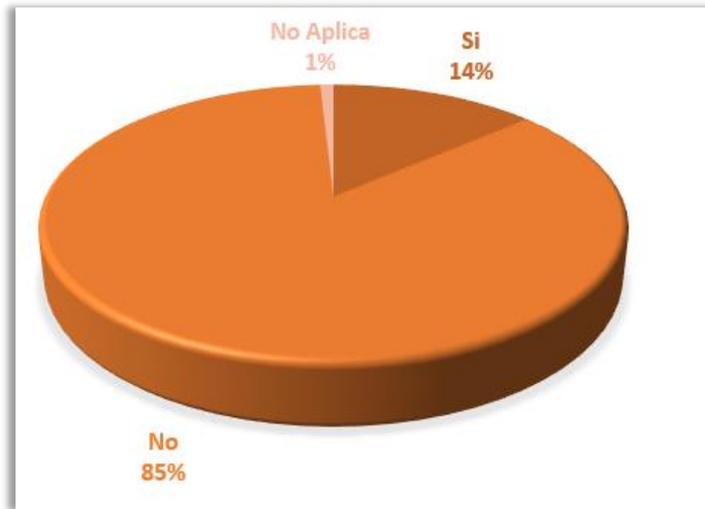


Gráfico 2-3. Porcentaje de conformidad de los usuarios con los servicios actuales.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Interpretación.

En el gráfico 2-3 expresa que de los 227 encuestados solo 31 de los usuarios lo que se interpreta como el 14 % está conforme con el servicio prestado por los ISP en la actualidad con un 1 % de los sujetos de muestra que prefirieron no dar una respuesta concreta lo que nos con lleva a un 85 % de los sujetos que no están conformes con el servicio prestado, por lo que se puede concluir que la mayoría han tenido algún tipo de problema con la red actual.

- **Pregunta 3:** ¿Cuál de las siguientes opciones, considera usted que es el mayor problema en sus servicios?

Tabla 4-3: Inconvenientes de la Red

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Velocidad	153	67.40 %
Disponibilidad	73	32.16 %
Seguridad	1	0.44 %
No Aplica	0	0 %
Total	227	100 %

Fuente: Investigación de Campo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

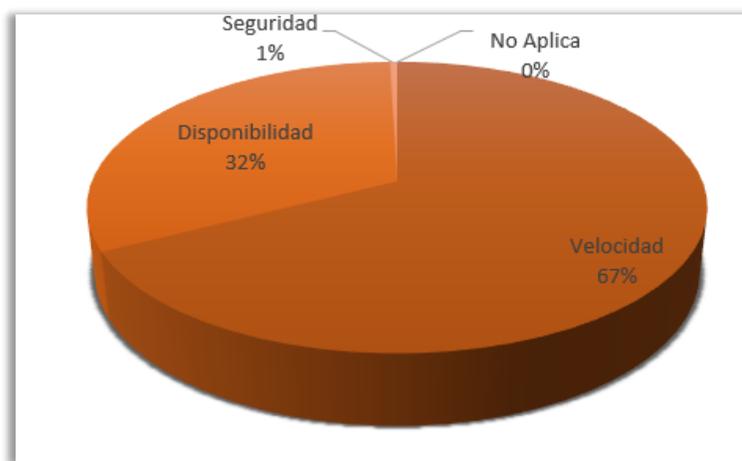


Gráfico 3-3. Porcentaje de inconvenientes de la Red.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Interpretación.

Al ser el 67 % de los usuarios que recalcaron que poseen inconvenientes de velocidad y el 32 % de disponibilidad del servicio, se concluye que estos son los parámetros los cuales cumplen un rol importante para determinar la calidad del servicio en la zona de estudio, por lo que se podría dar solución a estos problemas con una nueva red que cumpla con las expectativas de los usuarios.

- **Pregunta 4:** ¿Le gustaría contratar el servicio *Triple Play* (Internet, Telefonía, TV) a través de una nueva tecnología de fibra óptica, si tuviera la oportunidad de hacerlo? (se refiere a realizar un solo contrato y pago por los tres servicios, por un mismo medio de transmisión)

Tabla 5-3: Usuarios que están de acuerdo en cambiarse de tecnología.

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Si	219	96.48 %
No	1	0.44 %
No está seguro	7	3.08 %
Total	227	100 %

Fuente: Investigación de Campo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

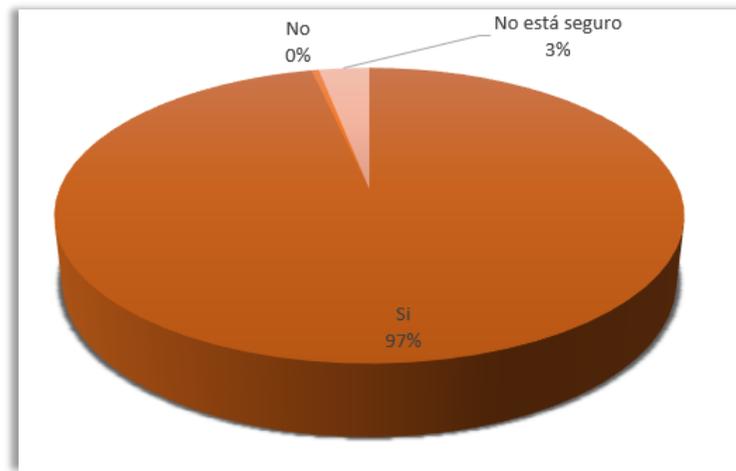


Gráfico 4-3. Porcentaje de usuarios que están de acuerdo en cambiarse de tecnología.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Interpretación.

De acuerdo con los datos obtenidos en el gráfico 4-3 es muy evidente que los usuarios están dispuestos a cambiarse de tecnología con el fin de tener las prestaciones que esta brinda tal como la de poder tener un solo pago por los tres servicios con un 97 % y un 3 % los cuales no están seguros ya que no conocen la tecnología, pero estarían abiertos a nuevas formas de obtención de servicio siempre y cuando estas presenten mejoras.

Pregunta 5: ¿Usted estaría de acuerdo en pagar una cantidad mayor a 45 dólares americanos por obtener el servicio Triple Play?

Tabla 6-3: Usuarios que están de acuerdo en cancelar una cantidad mayor de dinero que la que cancelan en la actualidad.

Detalle	Cantidad	Porcentaje
Si	180	79.30 %
No	47	20.70 %
Total	227	100 %

Fuente: Investigación de Campo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

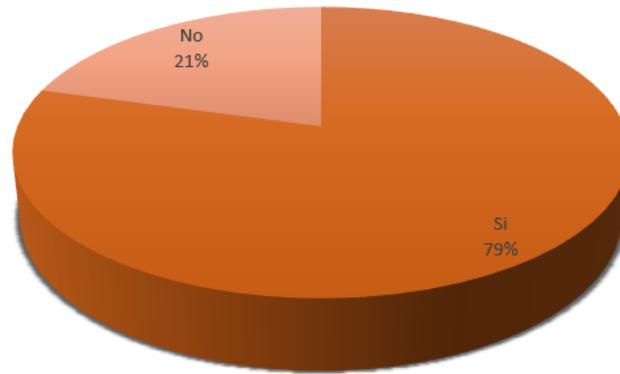


Gráfico 5-3. Porcentaje de usuarios que están de acuerdo cancelar una cantidad mayor de dinero que la que cancelan en la actualidad.

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Interpretación.

De acuerdo al gráfico 5-3 se muestra que el 79 % de las personas están de acuerdo en pagar una cantidad mayor de dinero con la finalidad de obtener mejores prestaciones en su servicio debido a que los servicios que tienen contratados en la actualidad en su gran mayoría son independientes y a pesar de los constantes inconvenientes en especial de disponibilidad y velocidad poseen valores exagerados con respecto a la calidad del servicio que obtienen, por lo tanto se concluye que el servicio Triple Play tendría una rotunda aceptación en la población de estudio.

- **Análisis.**

En base a las 227 encuestas al recopilar los datos a los sujetos de muestra se puede constatar que el 90 % que corresponde a 205 individuos mencionaron que estos no poseen los servicios de Internet, Telefonía y Televisión a través de un mismo medio de transmisión por lo tanto el pago de sus facturas son independientes, además de que el 85 % de la población de la zona de estudio recalco cierta inconformidad con los servicios que poseen en la red actual razones por las cuales el 67 % establecieron que el mayor problema del servicio es la velocidad del internet a más de presentar también el inconveniente que no es menor en si ya que de igual forma presenta mucha inconformidad por parte de los usuarios es el de la disponibilidad del servicio con un 32 %, datos que expresan la inconformidad por pagar elevados costos por el servicio a pesar de no tener una calidad eficiente en el servicio lo que se ve enmarcado ya que 219 de las 227 personas lo que representa un rotundo 97 % está dispuesta a cambiarse de tecnología para mejorar sus servicios además de la comodidad de pagar sus tres facturas en una sola por lo que afirman que están dispuestos a pagar una cantidad mayor de dinero que el que cancelan en la actualidad por un buen servicio.

Luego de haber hecho el estudio de los servicios disponibles en la zona urbana de estudio en el cantón Sucúa se concluye que es factible que los usuarios deseen contratar el servicio *Triple Play*. En base a las preguntas realizadas por la encuesta y los resultados obtenidos se determina que el mercado potencial es del 87.89 % esto en base al interés que presentan los moradores y a la capacidad de adquisición que poseen, es decir que de los 520 hogares de la zona de estudio 457 están interesados en el servicio *Triple Play*

3.5.1.5. Demanda del Sector.

Al observar el área de estudio se constata que la mayoría de posibles clientes en el sector son residenciales, constatándose un crecimiento vertical y terrenos baldíos de las residencias lo que aumentarían más usuarios, para determinar el cálculo de la demanda del sector se toman en cuenta los valores adquiridos a través de la contabilización de casas, dato ya adquirido en la sección anterior, considerando una proyección para 10 años y con un crecimiento del 2.605807 % según datos adquiridos por el INEC del año 2010.

$$Df = D_o \times (1 + i)^n \quad (9)$$

Donde:

- Df = Demanda Final del Sector
- D_o = Demanda Inicial del Sector
- i = Índice de Crecimiento anual
- n = Tiempo de Proyección Estimado

Los valores que se utilizan en este caso son:

$$D_o = 457$$

$$i = 2.605807$$

$$n = 10 \text{ años}$$

$$Df = 457 \times (1 + 0.02605807)^{10}$$

$$Df = 591.06549$$

$$Df = 592$$

Lo que nos conlleva a diseñar una red GPON para abastecer a 592 clientes residenciales, esta cifra aplica a la demanda tanto actual como futura por un periodo de tiempo de 10 años.

3.5.2. Determinación de la Topología de Red

Para el estudio de este proyecto se adoptó la topología de red tipo árbol, esto debido a que es la más usada en las redes de acceso FTTH por las grandes prestaciones que esta presenta, tales como: flexibilidad, eficiencia y bajos costo, por citar las más sobresalientes, en la Figura 2-3 se muestra el tipo de topología mencionada.

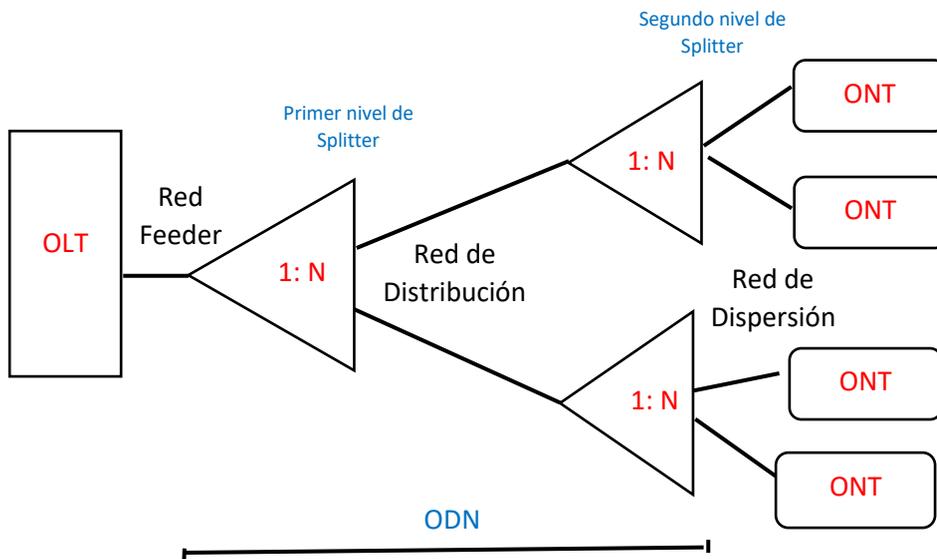


Figura 2-3. Topología Tipo Árbol.

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Como se puede evidenciar en la figura 2-3, la red GPON inicia en la OLT en donde sale nuestra red feeder hacia el primer nivel de splitteo, iniciando la red de distribución desde el primer hasta el segundo nivel de splitteo para finalmente conectarse con la red de dispersión construyendo así la red ODN para que finalmente a través de la red de dispersión se pueda llegar a la ONT del abonado.

En la figura 3-3 muestra a la zona urbana de la parroquia delimitada del resto de la ciudad, la imagen fue obtenida de los planos de ArGis del mapa completo de Sucúa, a partir del cual se procede a sectorizar en distritos con el fin de administrar de forma óptima los recursos tecnológicos durante el diseño y distribución. En el ANEXO C, se encuentra el plano completo de la parroquia Sucúa, en el software ArGis 10.3.

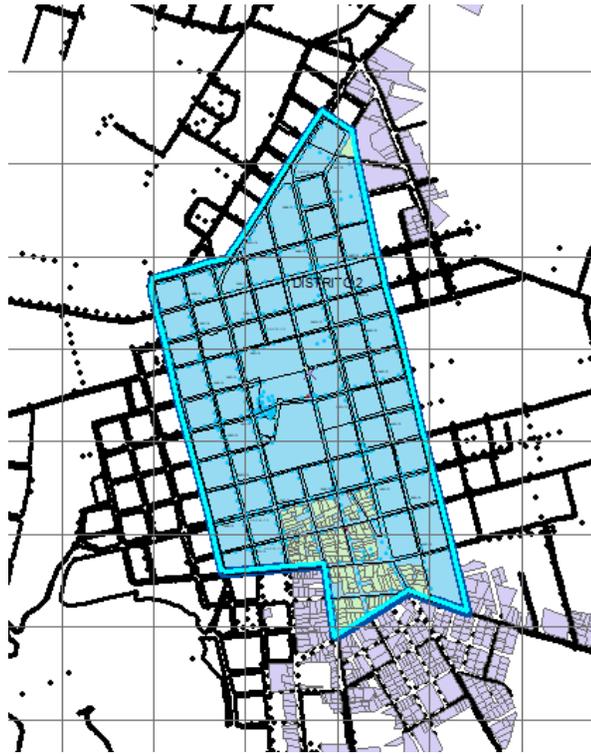


Figura 3-3. Localización en ArGis de la parroquia Sucúa
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Para el envío de la información a través de la red GPON se utiliza una multiplexación por división de onda (WDM), esto establece que el canal de enlace ascendente opera a una longitud de onda diferente a la del canal descendente. La topología de árbol es la más apropiada.

3.5.3. Capacidad por Servicio.

La capacidad va a depender del tipo de servicio y de los requerimientos de los usuarios que según el estándar ITU G.711, recomienda que para el uso de telefonía fija en los dos sentidos el canal debe tener 64 Kbps, mientras que para televisión por cable o digital, el sistema utilizado en Ecuador es el ISDB-T (Radiodifusión Digital de Servicios Integrados) el cual usa como algoritmo de compresión de MPEG4, por tanto la capacidad mínima para brindar servicios de HDTV o SDTV es de 2 y 9 Mbps respectivamente, (Mayorga, 2021, p. 2-31) para el servicio de internet no se establece una cifra estandarizada que imponga o recomiende un ancho de banda óptimo, esto ya que cada proveedor decide qué plan va a ofertar al cliente según sus necesidades o requerimientos, al realizar una relación de 1:32 aumenta nuestro ancho de banda a costo de mayores gastos de inversión por lo que se impone una capacidad de ancho de banda igual o mayor a 20 Mbps, esto va a depender del proveedor de servicio.

Tabla 7-3: Capacidad Óptima de Servicios-Hogar

Servicios		Capacidad óptima
Telefonía	Digital	64 Kbps-0.064 Mbps
Datos	Internet	20 Mbps
	Video Conferencia	2 Mbps
Televisión	HDTV	9 Mbps
	SDTV	2 Mbps
Total		33.064 Mbps

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

El servicio para el sector comercial se incrementa en internet a 50 Mbps por lo que se determina una capacidad óptima para el área comercial de 63.064 Mbps, el resto de los servicios como el de telefonía y televisión se mantienen, que al analizar la tabla 6-3 se concluye que la capacidad mínima necesaria para un correcto servicio por cada vivienda es de 33.064 Mbps y de 63.064 Mbps para el sector corporativo.

3.5.4. Ancho de Banda

Para determinar el ancho de banda que se requiere se utiliza la siguiente fórmula.

$$AB = AB (GPON) \times NIVEL DE SPLITTER \quad (9)$$

Para los canales de *Downstream* en las redes GPON es de 2.488 Gbps y para los de *Upstream* son de 1.244 Gbps, estos valores serán los que se utilicen en la fórmula anterior adicionando los niveles de splitter que en nuestro caso al ser una red que por cada hilo de fibra se distribuye a 32 usuarios se usará un nivel de splitter en el primer nivel de 1:2 en todos los distritos, posteriormente se presentará el segundo nivel de splitter con una relación de 1:16, teniendo una forma de relación de 1:32, que según la tabla 6-3 la capacidad requerida para el sector residencial y corporativo es de 33.064 Mbps y 63.064 Mbps respectivamente, por lo que es de vital importancia determinar si la relación de división causada por los splitters otorgan un canal de comunicación a cada usuarios con un ancho de banda adecuado para el uso de sus servicios.

Teniendo en cuenta que para el primer nivel de splitter se tiene una relación de 1:2, el ancho de banda será el siguiente

$$AB_{Ds} = \left(\frac{2.488 \text{ Gbps}}{2}\right) = 1.244 \text{ Gbps}$$

$$AB_{Us} = \left(\frac{1.244 \text{ Gbps}}{2}\right) = 622 \text{ Mbps}$$

Y para el segundo nivel de splitter se cuenta con una relación de 1:16 por lo que el ancho de banda teórico que se obtendrá será de:

$$AB_{Ds} = \left(\frac{1.244 \text{ Gbps}}{16}\right) = 77.75 \text{ Mbps}$$

$$AB_{Us} = \left(\frac{622 \text{ Mbps}}{16}\right) = 38.875 \text{ Mbps}$$

Se eligió una relación de 1:32, es decir por cada puerto de la OLT se podrá dar servicio a 32 usuarios, esto cubre las necesidades de la parroquia y también deja una reserva para el crecimiento de la misma indicando de manera general la capacidad máxima que podría llegar a solicitar un usuario de servicio triple play con una capacidad a usar de 77.75 Mbps en bajada y 38.875 Mbps de subida, garantizando que para futuras aplicaciones y requerimientos de ancho de banda por parte de los abonados, la red GPON posee la capacidad de brindar un correcto funcionamiento para todos los usuarios.

Una vez determinada la cantidad de splitters que se van a utilizar en cada distrito con sus respectivas relaciones de splitteo se realiza en diagrama lógico de la red, en la figura 4-3, se observa dicho diagrama.

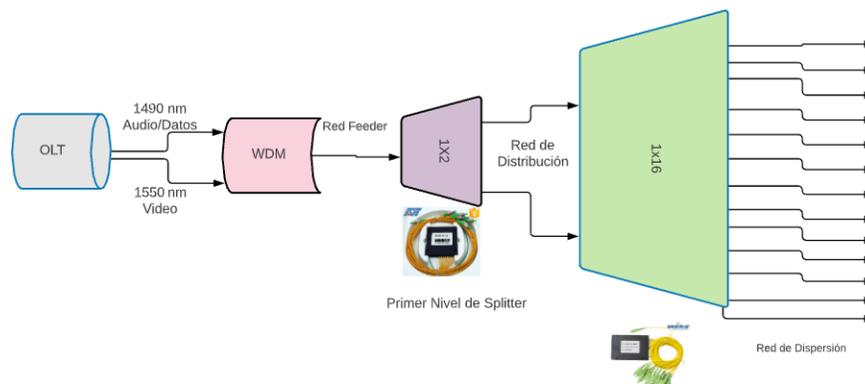


Figura 4-3. Diagrama lógico de la red GPON
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.5.5. Determinación del cableado y tipo de fibra

Para nuestro proyecto se ha determinado el uso de la fibra óptica monomodo G.652, esto tanto para la red feeder como para la de distribución, esto debido a que opera en un mayor rango de longitud de onda, siendo óptima para las longitudes de 1310 y 1550 nm ya que como lo menciona el estándar ITU-T, las fibras se diferencian de otras por su funcionalidad, es decir unas trabajan en diferentes longitudes de onda, ventanas de operación, atenuación, tasas de transmisión y tipo de propagación, en la siguiente tabla se incluyen algunos de los estándares de las fibras ópticas.

Tabla 8-3: Estándar de la Fibra Óptica

Estándar	Diámetro del Núcleo y Revestimiento	Tipo de Propagación	Longitud de Onda de TX	Atenuación
ITU-T G.651	50/245 μm	Multimodo	850/1310 nm	0.3 dB/Km
ITU-T G.652	8 a 10/125 μm	Monomodo	1310/1550 nm	0.5 dB/Km
ITU-T G.653	7.8 a 8.5/125 μm	Monomodo	1550 nm	0.35 dB/Km
ITU-T G.654	9.5 a 10.5/125 μm	Monomodo	1550 nm	0.22 dB/Km
ITU-T G.655	8 a 11/125 μm	Monomodo	1550/1625 nm	0.4 dB/Km
ITU-T G.656	7 a 11/125 μm	Monomodo	1550/1625 nm	0.35 dB/Km
ITU-T G.657	8 a 7/125 μm	Monomodo	1310/1550 nm	0.4 dB/Km

Fuente: (Zambrano, 2017, p. 15-17)

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Existen algunas versiones del estándar según la ITU-T G.652 tales como A/B/C o D como se muestra en el ANEXO D, de las cuales la D es la más utilizada por que son fabricadas mediante el proceso de Zero Water Peak (ZWP), lo cual permite tener un menor coeficiente de atenuación alcanzando mayores distancias a longitudes de onda de 1310 nm a 1550 nm otorgándonos un rendimiento óptimo a altas velocidades, lo que no sucede con la versión C que ciertamente se produce en el mismo proceso, pero no puede funcionar a alta velocidad.

Finalmente, para la red de dispersión se utilizará la G.657 la cual posee dos subcategorías que son la A y la B; la A que con respecto a la B posee un menor coeficiente de atenuación con compatibilidad con la G.652 que se eligió para las redes anteriores, cabe mencionar esta posee dos subcategorías como la son la G.957 A1 y la G.957 A2, estas difieren solo en el diámetro de su radio de curvatura, por lo cual se eligió la fibra óptica G.957. A1 ya que posee un radio de curvatura de 10 nm.

3.5.5.1. Tipos de Uniones entre Fibras

Las uniones o empalmes de fibras poseen pérdidas denominadas por fusión que suelen ser frecuentes entre 0.1 – 0.2 dB de atenuación para fibras monomodo según la ITU G.650, la máxima atenuación que se recomienda en cualquier tipo de empalme o fusión no debe ser superior a 0.3 dB.

3.5.6. Ubicación de los Equipos.

En esta sección se especifica el lugar en el cual serán ubicados cada uno de los elementos tales como la OLT, Armarios, Splitters, ONT y mangas.

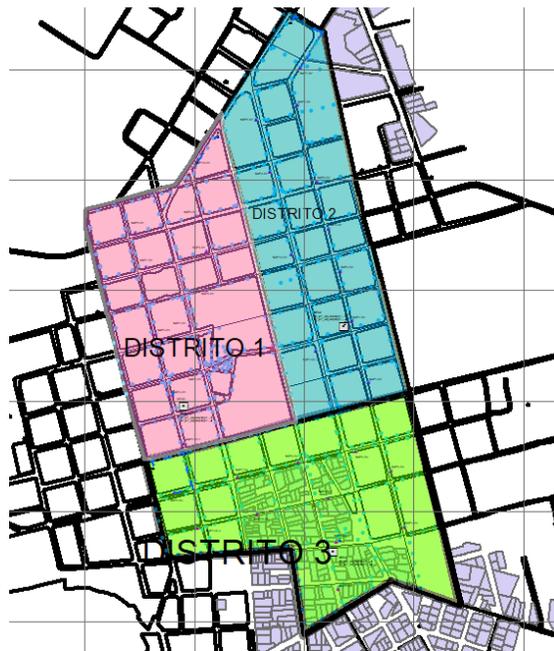


Figura 5-3. Delimitación del área de estudio en ArGis
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.5.6.1. Ubicación de la OLT

El nodo principal o denominado OLT cuya representación es OLT-SCA, se encuentra específicamente ubicado en la latitud -2.4591022° con una longitud de -78.1716364° a una altitud de 829.120061 m, que corresponde a las calles Edmundo Carvajal y 12 de Febrero, en el centro de la parroquia, por lo que al estar situado en esta ubicación permitirá equilibrar la carga de la red en todas las direcciones con respecto a la delimitación de los distritos como se muestra en la figura 6-3 en la cual se muestra el lugar en el que se ubicará la OLT, referenciándolo geográficamente mediante Google Earth, mientras que el la figura 7-3 en el programa ArGis, para lo cual se usan simbologías que diferencian a cada uno de los dispositivos de tal forma que sea entendible para otros individuos que lean en este documento, ver ANEXO E, su ubicación céntrica o intermedia entre los dispositivos más alejados no afecta al presupuesto óptico.



Figura 6-3. Ubicación del Nodo Principal o OLT geográficamente.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

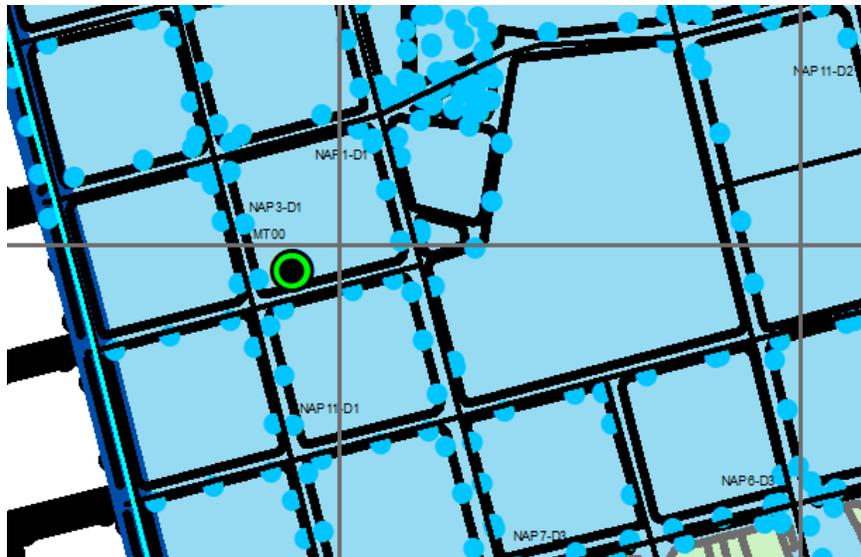


Figura 7-3. Ubicación del Nodo Principal o OLT geográficamente.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.5.7. Diseño Físico-Red de Planta Externa.

Este proyecto tiene como objetivo diseñar una red de acceso utilizando tecnología FTTx. que permita brindar servicio de calidad a 592 usuarios de la zona urbana de la parroquia Sucúa, adicionalmente se consideró la mayor facilidad de instalación, expansión futura de la red y un menor costo, los criterios de diseño de la red se fundamentan en las recomendaciones de los estándares dispuestas por la ITU-T cuyo formato rige a nivel mundial el ámbito de las telecomunicaciones, se trató en lo posible de acercar la fibra al usuario brindando un servicio FTTH dependiendo de sus necesidades requeridas,

para realizar el despliegue de la red se utilizó ArGis 10.3 conformado por la red feeder, distribución y dispersión.

3.5.7.1. Red Feeder.

Denominada también como Red Troncal, es la se comprende desde el puerto de la OLT hasta llegar al primer nivel de splitter para generar las ramificaciones de la señal original como se indica la figura 8-3., para el tendido de esta red se ha tomado la ruta que se encuentre en la zona más central de los distritos, logrando de tal forma una distribución casi uniforme de la cantidad de fibra a utilizar con la finalidad de evitar daños en la planta externa.

Para determinar por qué calles se va a tender la red feeder se toman en cuenta ciertas consideraciones.

- ✓ Escalabilidad para el crecimiento poblacional.
- ✓ Ruta céntrica que cubra el sector.
- ✓ Accesibilidad al desarrollo y distribución de redes en el área de estudio.
- ✓ Evitar calles que tengan curvaturas demasiado abruptas.
- ✓ No se encuentre en zonas de peligro potencial.

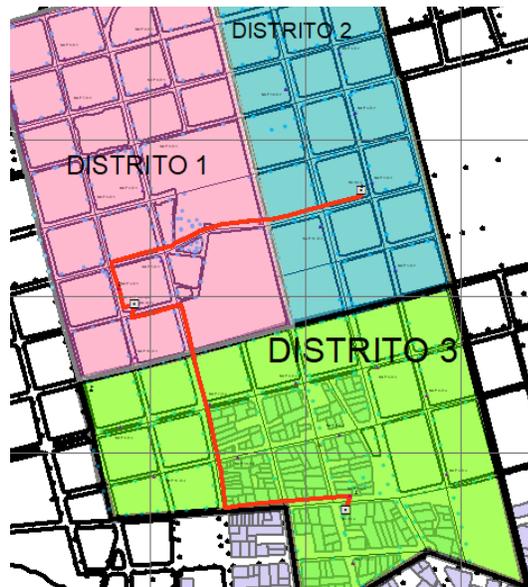


Figura 8-3. Distribución de la Red Feeder a lo largo de la zona de Estudio
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Como se evidencia en la figura la red feeder está ubicada de tal forma que a un futuro permita la expansión hacia las parroquias ubicadas al sur a la parroquia Huambi, al este a la parroquia Asunción y al norte hacia la parroquia de Santa Marianita.

El cable de fibra óptica FT_01 de 96 hilos que es la que se utilizará , aunque para este proyecto se utilizará una relación 1:32 solo se necesitarán 19 hilos de fibra, si desea utilizarlo en otro lugar, se recomienda utilizar un cable con una capacidad mayor a la prevista, cubriendo de tal forma demandas futuras por ejemplo los sectores de Santa Marianita, Belén, Nuevo Israel, etc. partiendo desde la OLT como se muestra en la figura 8-3, si bien es cierto es recomendable enviar este cable por canalización, en la zona de estudio no se cuenta con dichas canalizaciones subterráneas por lo que todo se lo realizará de forma aérea, para este proyecto se utilizarán 19 puertos de la OLT, designando hilos de la red para todos los distritos, a la OLT se le designa una numeración secuencial de acuerdo con el orden de instalación, es decir para identificar una OLT se usará la nomenclatura que se evidencia en la figura 9-3.

Cabe mencionar de forma canalizada posee menor riesgo a que la fibra sufra cortes por accidentes de tránsito, quemaduras en incendios, a más de que Ecuador posee nuevas leyes orientadas a disminuir la contaminación visual de las ciudades por lo que recomienda que todo tipo de tendido de cables de telecomunicaciones y eléctricos se lo realice de forma subterránea o canalizado, determinando un cable con una protección de acero corrugado mínimo de 0.15 mm de espesor para la protección de roedores.

Para asegurarnos que la cantidad de hilos feeder que vamos a utilizar es el correcto para el despliegue de la red en la zona urbana de la parroquia Sucúa se presenta la formula mencionada en la sección 2.6.2 para el cálculo de los hilos feeder.

$$HF = \frac{Df}{S}$$

$$HF = \frac{592}{2}$$

$$HF = 18.5 \text{ hilos}$$

$$\mathbf{HF = 19 hilos}$$

En conclusión, el requerimiento para instalar una red GPON para dar servicio a 592 clientes residenciales, cifra la cual aplica tanto para la demanda actual como la futura en un periodo de 10 años es de 19 hilos.

Como ya se mencionó la red feeder va desde la OLT hasta el primer nivel de splitter, dirigiéndose a las mangas denominadas como MT0x, para ello se realizará un sangrado del cable feeder principal denominado con la misma nomenclatura FT_01_00_00(96) (1...12), en la figura 2-7 se muestra el significado de cada una de sus partes. Se destinan 8 hilos de cable feeder para cada distrito, ya que

con el transcurso del tiempo existe una gran probabilidad de que la red se extienda a los asentamientos poblacionales vecinos..



Figura 9-3. Distribución de la Red Feeder a lo largo de la zona de Estudio
Fuente: (Yungán, 2019, p. 4-77)

Para cada una de las mangas se alojan splitters de primer nivel de 1:2 y se derivan los cables para la distribución de las NAPs aéreas.

- **Distrito I**

Para el distrito 1 está asignado una manga MT01 ubicado en una residencia particular ubicada en las coordenadas -2,4595588 ° de latitud y en -78,1700535° de longitud en las calles Edmundo Carvajal y 12 de Febrero en el mismo lugar de nuestro nodo principal (OLT-SCA), para el cual ingresarán hilos del primer buffer del cable feeder realizando un sangrado, donde se utilizarán 6 hilos y se dejarán dos de reserva. En cada manga se ubican 8 splitters de los cuales 6 se encuentran en funcionamiento y dos de reserva en caso de escalabilidad o mantenimiento, inicialmente como están instalados 96 hilos de fibra su nomenclatura sería , FT_01_00_00(96) (1...24), como se realiza un sangrado de los 24 hilos se extraen 8, es decir , FT_01_00_00(96) (1...8) y se fusionan con la primera derivación , FT_01_01_00(12) (1...8), por lo que 4 hilos van en la MT02 es decir , FT_01_01_00(12) (1...8) y los 4 hilos restantes del primer buffer al distrito 2 , FT_01_01_00(12) (7...12). La Figura 10-3 muestra la ubicación de la manga troncales para el distrito 1.



Figura 10-3. Manga Troncal MT01
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

- **Distrito II**

En la maga MT02 ubicado en las calles Luis Sangurima y 8 de Diciembre con coordenadas: -2,4576159° de latitud y -78,1677863° de longitud al igual que la MT01 su ubicación es dentro de las instalaciones de una casa particular de la zona de estudio, donde ingresarán los del primer y segundo buffer, manga en la cual se ubican 8 splitters de 1:2, de los cuales 6 se encuentran en funcionamiento y 2 para proyecciones futuras o mantenimiento, este nivel de splitters se usa para dar servicios a los establecimientos poblacionales ubicados en la zona Este de la parroquia, como lo son Seipa, Barrio Upano, etc. Como ya se hizo el primer sangrado en el distrito 1, para este lugar se retiran los 8 hilos de los 96 ya teníamos inicialmente en nuestra red, es decir FT_01_00_00 (96)(9..16), y se fusionan con la segunda derivación y primera derivación ya que de la MT01 nos restaron 4 hilos que serán enviados a MT02, es decir FT_01_01_00 (12) (9..12) y a FT_01_02_00 (12) (1..4). La Figura 2-9 muestra la ubicación de la manga troncales para el distrito 2.

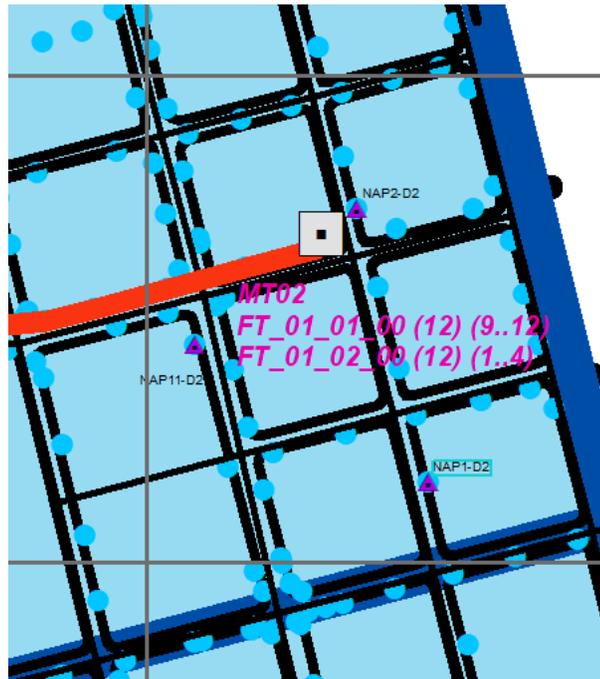


Figura 11-3. Manga Troncal MT02
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

- **Distrito III**

En este distrito se establecerá la manga MT03, donde de igual forma como se mantiene una relación 1:32 se utilizarán los hilos restantes del segundo buffer, MT03 está ubicado en las calles Rosendo Torres y María Troncati, para este distrito se realizó un sangrado del segundo buffer para enviar los 8 hilos restantes al distrito 3, de los cuales 7 van a estar en uso y se dejará al igual que en los escenarios anteriores que por escalabilidad o mantenimiento este se dejará de respaldo, como ya se realizaron dos sangrados, para este se extraen de igual manera 8 hilos de los 96, es decir FT_01_00_00 (96)(17..24) para fusionarse con FT_01_02_00 (12) (4..12). La Figura 12-3 muestra la ubicación de la manga troncales para el distrito 3.

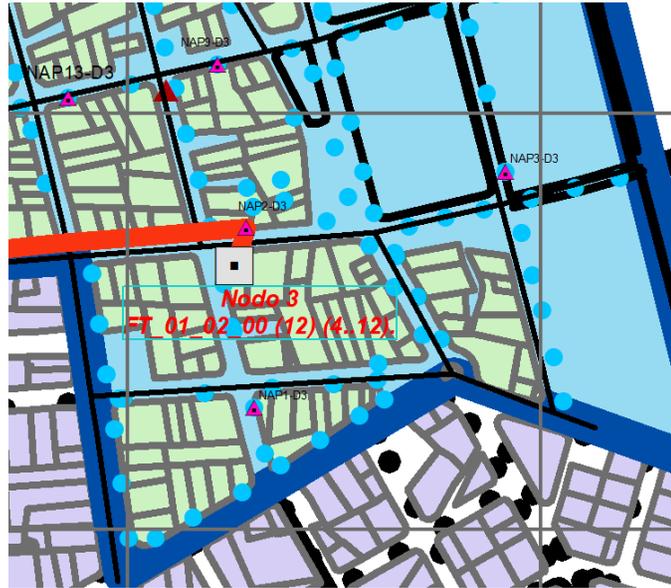


Figura 12-3. Manga Troncal MT03
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

En resumen, a la red feeder se le considera como la columna vertebral de toda nuestra red FTTH, ya que a través de ella pasa todo el tráfico proveniente de todos los usuarios de los diferentes, por lo que ubicar los armarios de distribución de una manera estratégica es muy importante esto con el propósito de que se optimice los recursos y evite la degradación del servicio al cliente.

3.5.8.2 Divisores ópticos primarios (Armarios)

A lo largo de los distritos (I, II, III), se coloca un armario que alberga el primer nivel de splitter por cada distrito, las abreviaturas de estos son MT0x, en el cual x es el número del distrito al que pertenece, en la tabla 8-3 se detalla las ubicaciones de cada uno de estos, la misma que estará compuesta tanto del splitter que posee el armario como de la distancia desde la OLT hasta llegar a la mismas (primer nivel de splitter), el número de zona y distancia hacia la OLT.

Tabla 9-3: Ubicación de los Divisores Ópticos Primarios

Distrito	Divisor óptico primario	Distancia	Splitter primario	Dirección	Coordenadas Geográficas	
					Latitud	Longitud
1	MT01	10 m	1:2	Edmundo Carvajal y 12 de Febrero	-2.4591022°	-78.1716364 °
2	MT02	621.66 m	1:2	Luis Sangurima y 8 de Diciembre	-2,4576159	-78,1677863
3	MT03	774.49 m	1:2	María Troncati y Rosendo Torres	-2,4615147 °	-78,1687921°

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

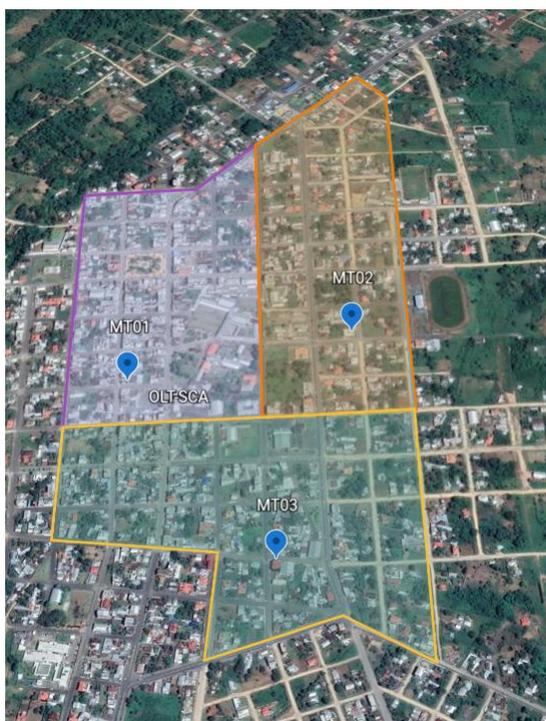


Figura 13-3. Ubicación de los Armarios

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.5.7.2. Divisores Ópticos Secundarios (NAPs)

Las cajas de distribución o también denominadas NAPs, están ubicados en los postes eléctricos en puntos estratégicos del área de estudio, en las cuales en su parte interior se encuentran los splitter de segundo nivel de 1:16, lo que corresponde al final de la ODN, se ubicaron 12 NAPs en los DISTRITOS I y II y 14 en el DISTRITO III logrando brindar servicio a todos los usuarios con sus respectivas reservas , dejando dos hilos de respaldo en los distritos I y II y tres para el distrito III para futuras proyecciones de demanda.

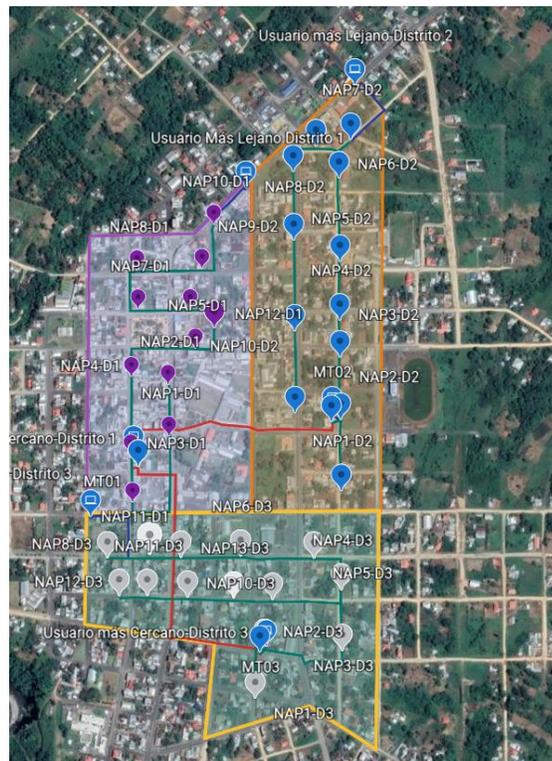


Figura 14-3. Ubicación de las NAPs

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.5.7.3. Red de Distribución.

La red de Distribución inicia desde los puertos del primer nivel de splitter hasta el segundo nivel de splitter ubicado en las cajas de distribución (NAPs), en las cuales se encuentran las relaciones de 1:16, llegando a tener al final por cada hilo de fibra de los buffers 32 usuarios en todos los distritos, en la figura 15-3 se muestra la red de distribución al largo de los tres distritos.

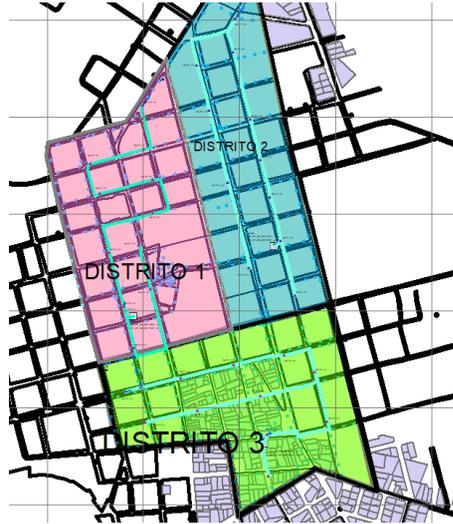


Figura 15-3. Red de distribución del área de estudio.
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Las NAPs adoptan un código que las identifica NAPx-Dz, siendo x el número de NAP y z el número de distrito al que pertenece, de manera ascendente tanto en el número de la NAP como en el distrito que esta se posicione, de igual manera que las mangas, estas tendrán una capacidad máxima de 16 usuarios y se colocan de acuerdo con las áreas de dispersión.

Para construir la red de distribución, se analiza y calcula todos los datos necesarios para usar la siguiente fórmula determinando el número de NAPs a usar en cada distrito.

$$Total\ de\ NAPs = \frac{Número\ de\ usuarios\ del\ distrito}{División\ del\ segundo\ nivel\ de\ splitter} \quad (10)$$

De igual manera para determinar la cantidad de splitter del primer nivel se calcula mediante la ecuación.

$$Total\ de\ Splitters\ 1:8 = \frac{Total\ NAPs\ según\ el\ distrito}{División\ primer\ nivel}$$

Tabla 10-3: NAPs y splitter de primer nivel

Número de Distrito	Cantidad de NAPs	Número de splitters de primer nivel 1:2
Distrito I	12	6
Distrito II	12	6
Distrito III	14	7
Total	38	

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

La capacidad para la red de distribución es de 12,24,48 o 96 hilos por lo que es necesario identificarlos. En la figura 16-3 se observa la nomenclatura con su respectivo significado.

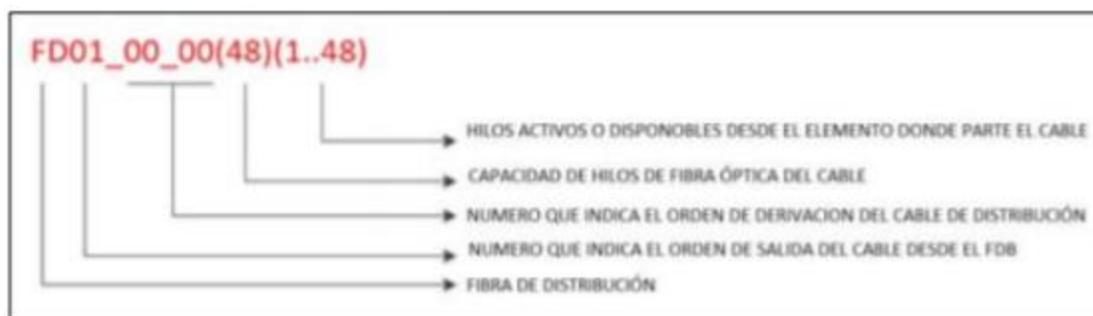


Figura 16-3. Identificador de la red de Distribución

Realizado por: (Galarza & Parra, 2015, p. 76)

A continuación, se detalla la ubicación e estas NAPs en cada distrito.

- **Distrito I**

En la manga MT01 correspondiente al distrito I posee 12 NAPs proyectadas con una nomenclatura de NAP1-D1, NAP2-D1,NAP12-D1, como se indica en la figura 17-3. Para esta al usar 8 hilos de la feeder y cada uno con un splitter de 1:2 en total habrá 16 NAPs distribuidas a lo largo y ancho de lugar, de las cuales en el estudio se utilizarán 12.

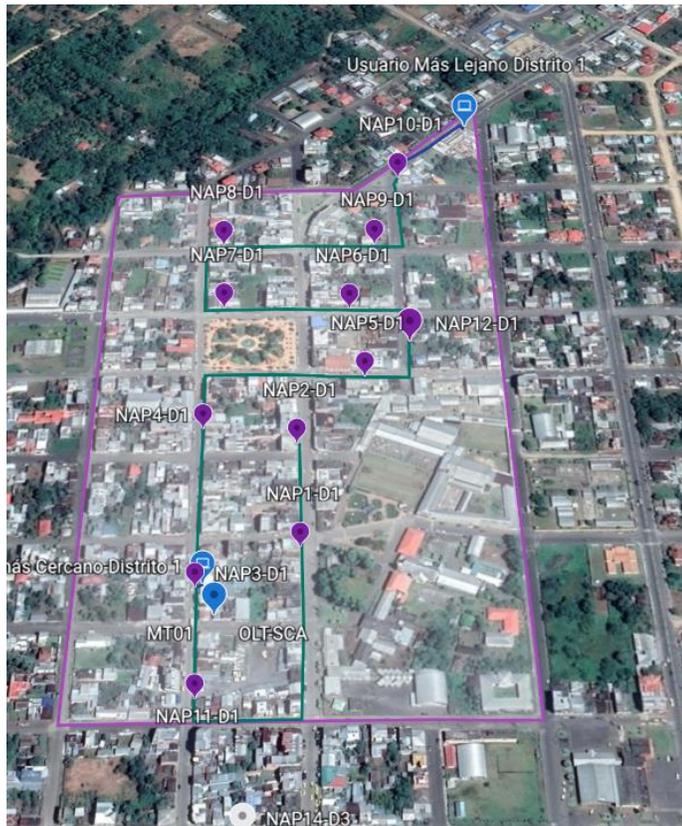


Figura 17-3. NAPs por la Manga MT01
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Según la distribución de las NAPs en la figura anterior, se observa que están enumeradas desde el 1 hasta el 12, como en este distrito se necesita dar servicio a 173 clientes, se colocó la última caja (NAP12-D1) para el crecimiento de la red hacia el norte de la parroquia, dejando 2 hilos de la red feeder orientados a la demanda futura del sector las cuales permanecerán en el armario de distribución, existen varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo, este diseño se realizó con el cable de distribución de fibra óptica de 12 por lo que se necesitó 1 de estos, cuya nomenclatura es:

✓ FD01_00_00(12)(1...12)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a la manga troncal del distrito que en este caso es MT01, la Figura 18-3 muestra las conexiones NAP y los manguitos del fuselaje más cercanos, junto con sus respectivas especificaciones. (ver anexo E)



Figura 18-3. NAPs más cercana a la MT01
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

- **Distrito II**

En la manga troncal MT02 tiene 12 NAPs proyectadas, tomará la misma asignación que la anterior pero ahora con D2 ya que pertenece al distrito 2 en la cual se utilizan 8 hilos de la red feeder lo que daría un total de 16 NAPs pero al igual que en el distrito I, solo se ocuparán 6 de estos dejando así dos hilos orientados a la escalabilidad de los clientes en los armarios de distribución, en este distrito se considera dar servicio a 172 usuarios esto al igual que el anterior si se considera una aceptación del 100% ya que al realizar las encuestas se determinó que de los 520 usuarios solo 457 mostraron interés en el servicio, como son 12 NAPs utilizadas y máximo 16, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo el diseño para este proyecto toma una fibra de 12 hilos por lo que se necesita solo 1, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD02_00_00(12)(1...12)

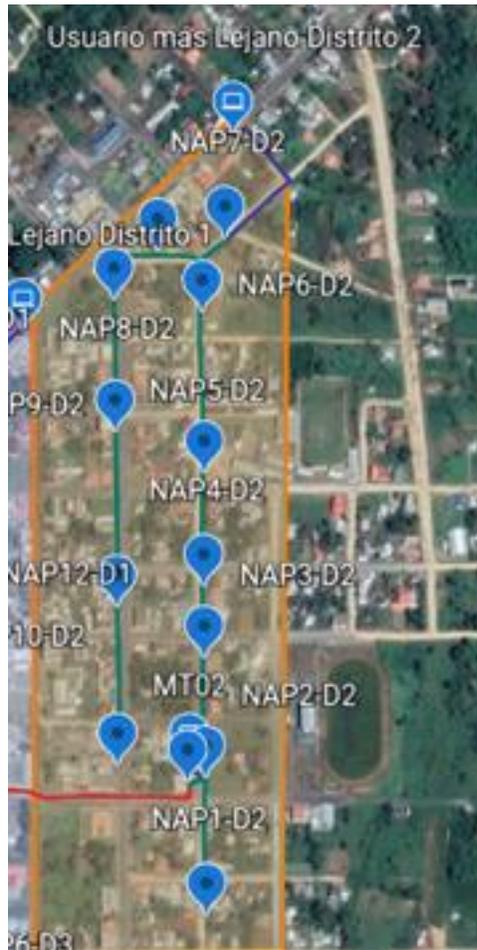


Figura 19-3. NAPs por la Manga MT02
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Para la asignación de los hilos de fibra óptica de la red de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana el primer nivel de splitter del distrito que en este caso es MT02, en la figura 20-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal con sus respectivas especificaciones.

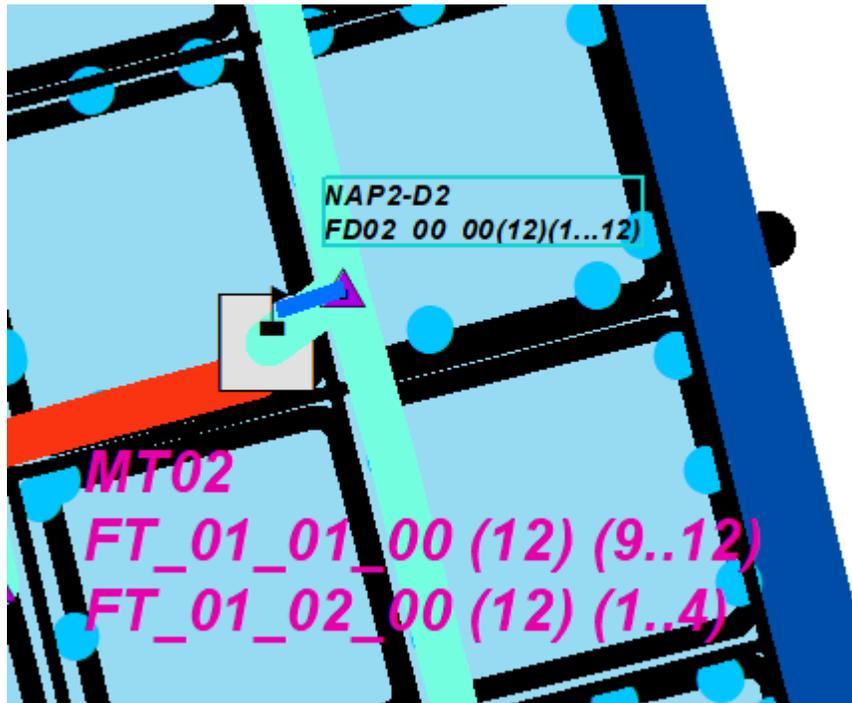


Figura 20-3. NAPs más cercana a la MT02
 Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

- **Distrito III**

En la manga troncal MT03 tiene 11 NAPs proyectadas, tomará la misma asignación que la anterior pero ahora con D3 ya que pertenece al distrito 3.

Para este distrito se usan 8 hilos de la red feeder y cada uno conectados a un splitter de 1:2 por lo cual en total habrá 16 NAPs distribuidas en todo el distrito, identificando a las NAPs en letras alfanuméricas, teniendo un total de 16 NAPs de las cuales 14 están siendo utilizadas, en la figura 21-3 se observa la distribución de las 14 NAPs, cada una con su numeración respectiva.

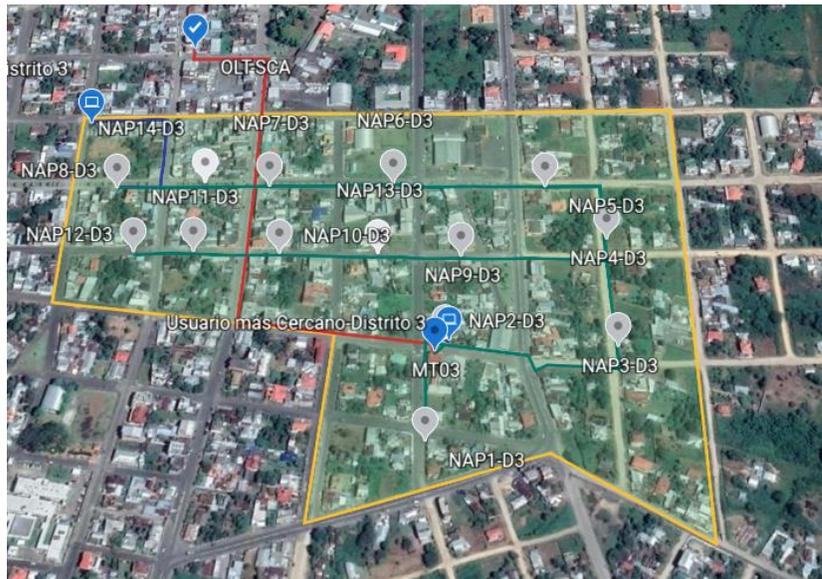


Figura 21-3. NAPs por la Manga MT03

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

En la manga troncal MT03 tiene 14 NAPs proyectadas, tomará la misma asignación que la anterior pero ahora con D3 ya que pertenece al distrito III en la cual se utilizan 8 hilos de la red feeder lo que daría un total de 16 NAPs pero al igual que en el distrito II, solo se ocuparán 7 de estos dejando así dos hilos orientados a la escalabilidad de los clientes en los armarios de distribución, como son 12 NAPs utilizadas y máximo 16, hay varias formas de determinar el tipo de cable de distribución, sin embargo el diseño para este proyecto toma una fibra de 12 hilos por lo que se necesita solo 1, para esta área su nombramiento es:

- ✓ FD03_00_00(12)(1...12)
- ✓ FD04_00_00(12)(1...2)

Para la distribución de los hilos de fibra óptica de distribución, se recomienda empezar por la NAP más cercana a la manga troncal del distrito que en este caso es MT02, en la figura 22-3 muestra la conexión entre la NAP más cercana y la manga troncal con sus respectivas especificaciones. (ver ANEXO E)



Figura 22-3. NAPs más cercana a la MT03
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

3.5.7.4. Red de Dispersión.

Esta red nace del segundo nivel de splitter ubicadas en las cajas de distribución (NAPs) hasta la interconexión con el usuario final a través de la roseta óptica, la cual estará ubicada en las viviendas de cada usuario, cabe recalcar que este proyecto por cada NAP puede abastecer a 16 usuarios como máximo, en la figura 23-3 se muestra un segmento del usuario más lejano de la red proyectada.



Figura 23-3. Red de Dispersión
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Para finalizar con la red GPON, se conecta la roseta óptica con el equipo ONT del cliente para la obtención de los diferentes servicios al que quiera acceder el usuario final

3.5.7.5. Red interna.

Es aquella que otorga un puente de comunicación entre la ODN y el hogar del abonado, es decir entre la roseta óptica y el equipo de terminal óptico conocido coloquialmente como router o modem, cuya ubicación debe ser estratégica para brindar una cobertura adecuada al abonado, en la figura 24-3 se observa el último tramo de red utilizado para el diseño de la red GPON.

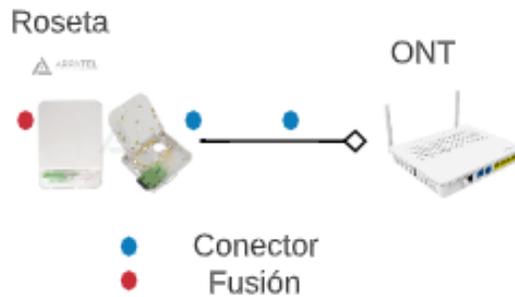


Figura 24-3. Red interna
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

3.6. Presupuesto Óptico.

Para determinar el presupuesto óptico se utilizará el modelo masivo/casas como se muestra en la figura 25-3.

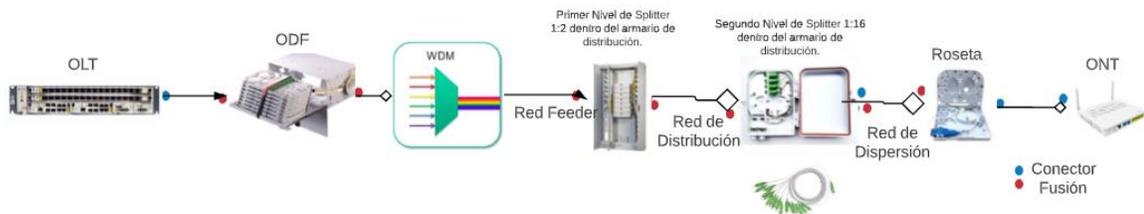


Figura 25-3. Arquitectura de la tecnología GPON
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Los elementos que se consideran para el cálculo del presupuesto óptico son todos aquellos que aportan pérdidas (atenuación) a la red tales como lo son los splitters, fusiones, conectores, adaptadores simples y la fibra óptica ya que está dependiendo de la distancia de tendido y a la longitud de onda que trabaje va a provocar ciertas atenuaciones establecidas en las especificaciones de las fibras por cada kilómetro en nuestro caso en la red feeder como en la de distribución se va a utilizar fibra óptica monomodo G.652 cuyo rango de longitud de onda de operación es de 1310 a 1550 nm con una atenuación de 0.5 dB/Km y en la red de dispersión el estándar ITU-T G.657 que de igual forma posee el mismo rango de operación de longitud de onda pero con una atenuación de 0.4 dB/Km, a más de tener en cuenta las especificaciones de la ODN cuya atenuación máxima es de 28 dB, lo cual hace referencia a los umbrales de trabajo de la OLT y ONT, estos valores de umbral están estandarizados en la ITU-T G.984 y se muestran en el ANEXO F, para una red clase C + que es la que se va a usar en nuestro proyecto, este análisis permite establecer las condiciones físicas y que la red tenga un correcto funcionamiento para o cual se analiza al usuarios más cercano y al más lejano, cuyos valores se insertarán en el cálculos, para ello se usará la siguiente ecuación.

$$\alpha T = \alpha_F + \alpha_C + \alpha_E + \alpha_{nivel1} + \alpha_{nivel2} \quad (11)$$

Donde:

αT : Atenuación total

α_F : Atenuación de la fibra óptica x distancia

α_C : Atenuación por conectores x número de conectores.

α_E : Atenuación de empalme x número de empalmes

α_{nivel1} : Atenuación del primer nivel de splitter

α_{nivel2} : Atenuación del segundo nivel de splitter

3.6.1. Atenuación.

Se define a la atenuación de una señal óptica como la pérdida de la potencia de la señal al desplazarse a través de un medio de transmisión, cuya pérdida es expresada de forma logarítmica como Decibelios por Kilómetro (dB/Km), para determinar la atenuación total de la señal en la ruta se calcula el valor de la potencia del transmisor con sus respectivas atenuaciones al usuario más lejano y al más cercano como se muestra a continuación.

a) **Atenuación de la fibra por unidad de distancia.**

Como se especificó en la sección 2.2.5 el cable de fibra a usarse en el estándar ITU-T G.652 (red feeder y red de distribución) y G.657 (red de dispersión) del cual se tienen valores de atenuación a partir de los cuales se realizarán los cálculos establecidos, para todos los distritos a la distancia que se establezca en la simulación se debe incluir 30 de reserva al usuario más cercano y 90 en los más lejanos

- **Distrito 1**

Usuario más Lejano de la OLT.

Tabla 11-3: Atenuación del usuario más lejano del distrito 1

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	10 m	0.005 dB
Red de Distribución	1284.62 m	0.64231 dB
Red de Dispersión	197.40 m	0.07896 dB
Total	1492.02 m	0.72627 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Usuario más cercano de la OLT

Tabla 12-3: Atenuación del usuario más cercano del distrito 1

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	10 m	0.005 dB
Red de Distribución	59.1 m	0.02955 dB
Red de Dispersión	50 m	0.02 dB
Total	119.1 m	0.05455 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

- **Distrito 2**

Usuario más Lejano de la OLT

Tabla 13-3: Atenuación del usuario más lejano del distrito 2

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	621.66 m	0.31083 dB
Red de Distribución	1550.37	0.77519 dB
Red de Dispersión	197.87	0.079148 dB
Total	2369.9 m	1.16517 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Usuario más cercano de la OLT.

Tabla 14-3: Atenuación del usuario más cercano del distrito 2

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	621.66 m	0.31083 dB
Red de Distribución	26.81 m	0.013405 dB
Red de Dispersión	50 m	0.02 dB
Total	698.47 m	0.34424 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

- **Distrito 3**

Usuario más Lejano de la OLT

Tabla 15-3: Atenuación del usuario más lejano del distrito 3

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	774.49 m	0.38725 dB
Red de Distribución	1087.96 m	0.54398 dB
Red de Dispersión	350.97 m	0.14039 dB
Total	2213.42 m	1.07162 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Usuario más cercano de la OLT.

Tabla 16-3: Atenuación del usuario más cercano del distrito 3

RED	Distancia	Atenuación
Red Feeder	774.49 m	0.38725 dB
Red de Distribución	29 m	0.0145 dB
Red de Dispersión	50 m	0.02 dB
Total	853.49 m	0.42175 dB

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

b) **Atenuación debido a los Conectores**

Para este caso se le considera como una pérdida de conectores a los patchcord, pigtail y adaptadores simples, con una atenuación de 0.3 dB tanto para el pigtail como para el patchcord y de 0.1 dB para los adaptadores simples, en este caso se tiene un total de 2 patchcord, 5 pigtail y 6 adaptadores simples a lo largo de la red desde la OLT hasta mi red de dispersión, por lo tanto:

$$\alpha_C = (\alpha_{PP} \times n) + (\alpha_{CS} \times n) \quad (12)$$

Donde:

α_{PP} = Pérdida de Patchcord y Pigtail (Solo si poseen la misma atenuación)

α_{CS} = Pérdida de Adaptadores Simple

N = Número de Elementos

$$\alpha_C = (0.3 \times 7) + (0.1 \times 6)$$

$$\alpha_C = 2.7 \text{ dB}$$

c) Atenuación debido a Splitters

Por lo expuesto en el CAPÍTULO II, se tomarán en cuenta los siguientes valores de atenuación correspondiente a los splitters usados en el trayecto de la red, considerando que cada splitter de relación 1:2 posee una atenuación de 3.6 dB y el de relación de 1:16 una de 13.5 Db

$$\alpha_{nivel1} + \alpha_{nivel2} = \text{Atenuación Splitter (1:2)} + \text{Atenuación Splitter (1:16)} \quad (13)$$

$$\alpha_{nivel1} + \alpha_{nivel2} = 3.6 + 13.5$$

$$\alpha_{nivel1} + \alpha_{nivel2} = 17.1 \text{ dB}$$

d) Atenuación por Empalmes.

La atenuación introducida por cada empalme es de aproximadamente 0.1 dB considerando que para todos los distritos el número de fusiones, así como los parámetros anteriores van a ser los mismos para todos los distritos.

$$\alpha_E = 6 \times 0.1$$

$$\alpha_E = 0.6 \text{ dB}$$

e) Atenuación Total

Es muy importante considerar un parámetro al momento de hacer el cálculo como es el margen de seguridad el cual permite garantizar el enlace por atenuación en el caso de existir degradaciones de conectores, variaciones en parámetros de transmisión por factores ambientales, envejecimiento de componentes y empalmes de mantenimiento, su valor estimado es de 3 dB para ellos al ya contar con todos los datos aplicamos la fórmula ya mencionada.

$$\alpha T = \alpha_F + \alpha_C + \alpha_E + \alpha_{nivel1} + \alpha_{nivel2}$$

• Distrito 1

Usuario más lejano de la OLT

$$\alpha T = 0.72627 \text{ dB} + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 21.12627 \text{ dB}$$

Usuario más cercano de la OLT.

$$\alpha T = 0.05455 + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 20.45455 \text{ dB}$$

• Distrito 2.

Usuario más lejano de la OLT

$$\alpha T = 1.16517 \text{ dB} + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 21.56517 \text{ dB}$$

Usuario más cercano de la OLT.

$$\alpha T = 0.34424 \text{ dB} + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 20.74424 \text{ dB}$$

• Distrito 3.

Usuario más lejano de la OLT

$$\alpha T = 1.07162 \text{ dB} + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 21.47162 \text{ dB}$$

Usuario más cercano de la OLT.

$$\alpha T = 0.42175 \text{ dB} + 2.7 \text{ dB} + 0.6 \text{ dB} + 17.1 \text{ dB}$$

$$\alpha T = 20.82175 \text{ dB}$$

3.6.2. Cálculo del Balance de Potencias.

Para garantizar un nivel de cero dBm en la entrada del receptor óptico, debe seleccionarse un transmisor óptico comercial con un valor ligeramente superior al valor teórico., si este se excede mucho por el valor será necesario el uso de un atenuador óptico en la entrada del receptor para ajustar su valor, este cálculo permite verificar la potencia con la que se transmite y recibe la información, ya sean mínimas o máximas sean las adecuadas para que los equipos no se saturen de tal forma que la señal pueda ser receptada de forma correcta, para lo cual se debe cumplir con la siguiente inecuación.

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda} \quad (14)$$

Donde:

- P_{RX} = Potencia de sensibilidad de recepción del equipo
- P_{TX} = Potencia máxima del transmisor óptico
- αT = Total de pérdidas
- *Margen de Guarda* = 3dB

Al usarse para la simulación una clase de red GPON C+, la ITU.T G.984.2, establece que la sensibilidad de recepción debe tener un valor de -28 dBm y la potencia de transmisión máxima de 7 dBm, los mismos que serán usados para los cálculos como se indica a continuación.

- **Usuario más Cercano a la OLT.**

➤ Distrito 1

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 23.45455 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -16.45455 \text{ dBm}$$

➤ Distrito 2

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 23.74424 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -16.74424 \text{ dBm}$$

➤ Distrito 3

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 23.82175 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -16.74424 \text{ dBm}$$

Para el cliente más cercano de cada distrito, se cumple la condición del balance óptico ya que la sensibilidad mínima del receptor es de -28 dBm, es decir es mayor el resultado obtenido de la resta de la potencia de transmisión y la atenuación total.

- **Usuario más Lejano a la OLT.**

- Distrito 1

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 24.12627 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -17.12627 \text{ dBm}$$

- Distrito 2

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 24.56517 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -17.56517 \text{ dBm}$$

- Distrito 3

$$P_{RX} \leq P_{TX} - \alpha T - \text{Margen de Guarda}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq 7 \text{ dBm} - 24.47162 \text{ dB}$$

$$-28 \text{ dBm} \leq -17.47162 \text{ dBm}$$

Para los usuarios más lejanos correspondientes a los 3 distritos, se cumple la condición del balance óptico ya que los resultados no excedan a la sensibilidad mínima requerida por el estándar ITU-T G.984.2.

3.6.3. *Material Utilizado en cada Zona.*

En la tabla 16-3 se muestra a detalle la cantidad de equipos utilizados en el presente proyecto (NAPs, splitters, mangas y rosetas) en cada uno de los distritos.

Tabla 17-3: Atenuación del usuario más lejano del distrito 3

Distritos	Mangas	Splitter 1:2	NAPs	Splitter 1: 16	Rosetas
Distrito 1	MT01	6	12	12	192
Distrito 2	MT02	6	12	12	193
Distrito 3	MT03	7	14	14	224
	Total	19	38	38	609

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

3.7. Selección de la OLT.

Para realizar este proceso se realiza un análisis de diferentes modelos de OLT de la marca Huawei y ZTE para determinar la mejor opción de acuerdo con los requerimientos necesarios que se tienen en una red GPON. Como se muestra en la tabla 17-3.

Tabla 18-3: Análisis comparativo entre OLTs

Características	OLT HUAWEI MA5608T	OLT ZTE ZXA10 C320
GPON Board	Clase B+/C+	Clase B+/C+
Método de Encapsulamiento	GEM	GEM
Capacidad de Agregación	1:128	1:128
Servicios	P2P con acceso óptico, Ethernet, ISDN, GPON, POTS.	P2P con acceso óptico, Ethernet, ISDN, GPON, POTS.
Velocidad de Blackplane	3.2 Tbits	5.76 Tbits/s
Costo	Medio	Medio

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Las características de las OLT mencionadas poseen ciertas similitudes, la única diferencia es su capacidad de conmutación, agregación y el precio, por lo que se decidió elegir la OLT marca Huawei MA5608T debido a que esta es una marca mucho más conocida a más de poseer las características adecuadas, precio y sobre todo la capacidad que se requiere proporcionando una potencia de salida que se necesita, además de los puertos que ofrece, adicional posee la capacidad de usar divisores de hasta 1:128 Tbits 512 mil direcciones MAC.

No necesita inversiones adicionales de switches de agregación ya que posee interfaces como GE/10GE para las conexiones a más de poseer la función de actualización de software sin tener pérdida de datos.



Figura 26-3. Huawei MAT5608T
Fuente: (HUITOU, 2021)

3.8. Selección de la ONT

Se realiza una tabla comparativa entre dos ONTs de las marcas Huawei y ZTE con la finalidad de determinar la mejor opción para nuestro proyecto, es el equipo receptor ubicado en el hogar del cliente, este es un elemento activo que deberá contar con las siguientes características para brindar un servicio de calidad.

- Se requiere una puerta de enlace correspondiente para proporcionar servicios de triple play.
- Se debe instalar un transmisor láser DFB para fibra monomodo.
- Debe ser compatible con el estándar ITU-T G.984.x es decir GPON.

Tabla 19-3: Análisis comparativo entre ONTs

Características	HG8245H	ZXHN F623 FTTH
Puertos	2POTS+4GE+1USB+WiFi	1GE + 3FE puertos + 1 puerto de teléfono y WIFI con 2 función inalámbrica de alta ganancia de antenas
Puerto GPON	1 Puerto SC/APC	1 Puerto SC/APC
Tasa de Transmisión	Dowstream: 2.488 Gbps Upstream: 1.244 Gbps	Dowstream: 2.488 Gbps Upstream: 1.244 Gbps
Método de Encapsulamiento	GEM	GEM
Aplicaciones	Usuarios residenciales y de pequeñas empresas	Usuarios residenciales y de pequeñas empresas
Relación de división	1 a 64	1 a 64
Longitud de onda	Downstream = 1490 nm Upstream =1310 nm RF video= 1550nm	Downstream = 1490 nm Upstream =1310 nm RF video= 1550nm
Costo	Bajo	Bajo

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

La ONT que se seleccionó será la misma que del fabricante de la OLT, ya que cuenta con varias interfaces para la transmisión de servicios de telecomunicaciones lo que lo hace óptica para dar servicio *Triple Play* a los usuarios gracias a sus características como su gran capacidad de transmisión de alto rendimiento, ahorro de energía, funcionalidades como el play and plug y un precio muy costeable apoyando a las capacidades de despliegue de redes FTTH siendo muy compatible con nuestra OLT ya que son de la misma marca y posee ventajas en cuanto al precio.



Figura 27-3. HUAWEI HG8245H FTTH

Fuente: (YCICT CO., LIMITED,2021)

3.9. Selección de los distribuidores de fibra óptica (ODF)

Establece la comunicación entre la planta externa en donde se encuentra el resto de la red FTTH con la planta interna en donde está la OLT, para la selección de la ODF se seleccionó de la marca TYCO ya que es la más utilizada en Ecuador, en la figura 28-3 muestra a la ODF mientras que la tabla 19-3 sus especificaciones.



Figura 28-3. ODF TYCO de 96 puertos

Fuente: (GLOBALELECTRIC, 2021)

Tabla 20-3: Características del ODF TYCO

Parámetro	Especificación
Capacidad de puertos	96
Bandeja removible	Si
Tipo de conector/pulido	SC/APC
Compatibilidad	Para diferentes construcciones.

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

3.10. Selección de los Divisores de potencia o power splitters.

Distribuyen el ancho de banda como la potencia del transmisor por cada puerto de manera uniforme, compartiendo un mismo ancho de banda a varios usuarios, la desventaja más recalcada es la degradación de la potencia debido a estas distribuciones de la onda, lo que se traduce a una inserción de pérdidas por lo que no es recomendable realizar más de dos niveles de splitter en una red, en la siguiente tabla se muestran la atenuación que posee cada splitter en base a su relación.

Tabla 21-3: Atenuación de los splitters según su relación.

Nivel de división de potencia	Pérdidas (dB)
1:2	3.6
1:4	7.0
1:8	10.0
1:16	13.5
1:32	16.5
1:64	19.5

Fuente: (Draka, 2009, p. 20)

En nuestro estudio y en general no es recomendable usar splitters con tantos niveles ya que esto perjudica considerablemente el ancho de banda es por eso por lo que para este análisis se utilizaron splitter de 1:32 en las mangas troncales y de 1:16 en las NAPs, para el diseño de la red GPON se usarán splitters de marca Huawei con la finalidad de que exista una relación entre los equipos activos que son de la misma marca, en la figura 29-3 muestra como es un splitter 1:16.

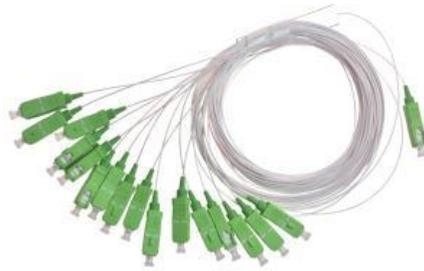


Figura 29-3. Splitter 1:16 Huawei
Fuente: (ALIBABA.COM, 2021)

3.11. Selección del Rack de ODF.

Como se va a utilizar un ODF TYCO es lo recomendable utilizar un Rack de la misma marca que no es más que un armario metálico en donde se almacenan las ODFs, para nuestro proyecto se necesitan 3 de estos Raks ubicados cada uno en cada distrito, son necesarios para tener un mejor control y cuidado de los componentes, en la figura 30-3 se observa como es este armario.



Figura 30-3. Rack de ODFs marca TYCO
Fuente: (GLOBALELECTRIC, 2021)

3.12. Selección de las Mangas Troncales

Resumidamente es una caja en donde se van a almacenar los splitters de primer nivel posterior a realizar el sangrado de la red feeder, estos suelen ser canalizados o aéreos, para el diseño de la red se utiliza splitters de 1:2 por lo que el equipo más adecuado es el GP01-H10JM4 de la marca OptyTECH.

La figura 31-3 muestra al elemento pasivo, mientras que la tabla 21-3 sus características.



Figura 31-3. Manga troncal GP01-H9JM4
Fuente: (OPTYTECH, 2021)

Tabla 22-3: Características de la Manga troncal GP01-H9JM4

Características	Especificaciones
Diseño en línea.	Instalación simple, rentable y reutilizable.
Sellado opcional con clips o a través de un sistema habitual de tornillo.	Adecuada para despliegue de entornos aéreos, subterráneos o enterrados directamente, recomendado para empalmes en línea en redes de planta externa.
Compatibilidad con la mayoría de los cables.	Adecuado para alojar 96 empalmes.
Alta densidad.	Equipada con bandejas de empalme y dispositivos de fijación de cable.

Fuente: (OPTYTECH, 2021)

3.13. Selección del punto de acceso a la red NAP.

Almacena a los splitters de segundo nivel, generalmente instalados en los postes o paredes de las casas, para el diseño se usan splitters de 1:16, por lo que la NAP más adecuada es la a JFOPP - PDB0216 de la marca OptyTECH, en la figura 32-3 se muestra al elemento seguido de una tabla con sus características.

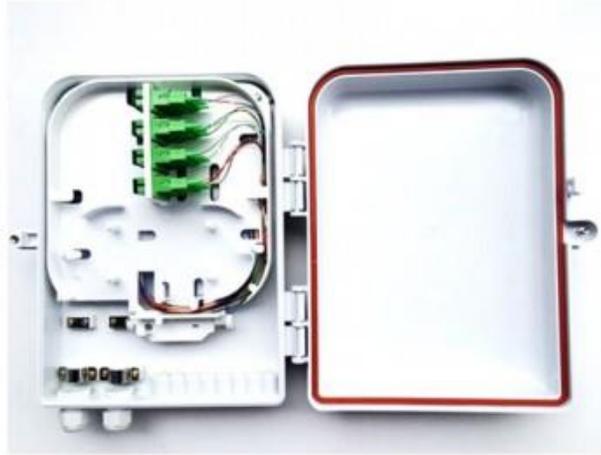


Figura 32-3. NAP con splitter 1:16
Fuente: (OPTYTECH, 2021)

Tabla 23-3: Características de JFOPP - PDB0216

Características
Protección IP65
Alojamiento de splitters de 1:8 y 1:16
Montaje en paredes y postes
Permite sangrado al cable principal
Óptimo para redes FTTH, CATV, LAN.

2 puertos de entrada y 16 puertos de salida por cable DROP.

Muy resistente.

Fuente: (OPTYTECH, 2021)

3.14. Selección de la roseta óptica.

Conecta la fibra proveniente de las NAPs para posteriormente conectarlo con la ONT, la roseta que se selecciona es de la misma marca que la NAP, en la siguiente figura se muestra el modelo de la roseta óptica escogida, la cual es homologada por CNT con un grado de protección IP53 la cual se adapta por fusión o por conectores mecánicos ideal para la instalación en el cliente final FTTH.



Figura 33-3. Roseta óptica

Fuente: (OPTYTECH, 2021)

3.15. Selección del patchcord, adaptador simple y pigtail de la fibra óptica.

Estos me permiten conectar diferentes equipos en las distintas redes, para el diseño se utilizan elementos de la marca OptyTECH, en la siguiente figura se muestra a la izquierda un patchcord de fibra mientras que a la izquierda un pigtail y en el centro un adaptador simple, todos SC/APC.



Figura 34-3. Pachcord, adaptador simple y pigtail de fibra óptica

Fuente: (OPTYTECH, 2021)

CAPÍTULO IV

4. SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN.

En el presente capítulo se analizarán los resultados obtenidos basados en la simulación con los cálculos teóricos realizados en el capítulo anterior con lo cual se establecerá si es factible o no el diseño de red propuesto.

4.1. Simulación.

En esta sección del proyecto se muestra la simulación de la red de acceso GPON en el software OptiSystem 18.0 de la empresa Optiware, con la finalidad de constatar los resultados obtenidos mediante el análisis teórico realizado en el capítulo anterior tal como el presupuesto óptico de pérdidas y la potencia, además de describir cada elemento que se empleó en la red para su correcto funcionamiento detallando el desarrollo de la simulación lo cual se fundamentará con el análisis de los resultados partiendo de las gráficas que nos proporcionan los visualizadores y analizadores que la señal se recibe.

En el ANEXO F se presenta la red propuesta simulada en la cual existen elementos principales como: OLT, Splitters, ONTs, cable de fibra óptica, conectores y fusiones.

4.1.1. Configuración de la OLT

La OLT está compuesta por diferentes subsistemas que contienen a los transmisores ópticos datos de datos/voz y de video operando en las ventanas de 1490 nm y 1550 nm respectivamente, para el tráfico que fluye hacia el usuario (downstream) y el que fluye desde el usuario (Upstream) siendo este el receptor que es el que realizará la conversión de las señales eléctricas a ópticas para ser interpretadas por los usuarios, para la mejor interpretación de los datos se simuló un ambiente de subida y de bajada por separado para cada uno de los distritos, para Upstream se tomó como referencia la longitud de onda de 1310 nm ya que posee la atenuación más alta con respecto a otras longitudes de onda. Para ejecutar dos servicios en la misma fibra, debe realizar multiplexación por división de longitud de onda (WDM). , ya que cada servicio trabaja a una ventana diferente, para lo cual en el simulador se usó un multiplexor ideal.

A continuación, se describirá cada uno de los bloques correspondientes a la OLT ya que cada uno de ellos cumple una función distinta, es así como observando la figura 1-4, para el transmisor de datos que trabaja mediante un código de línea NRZ.

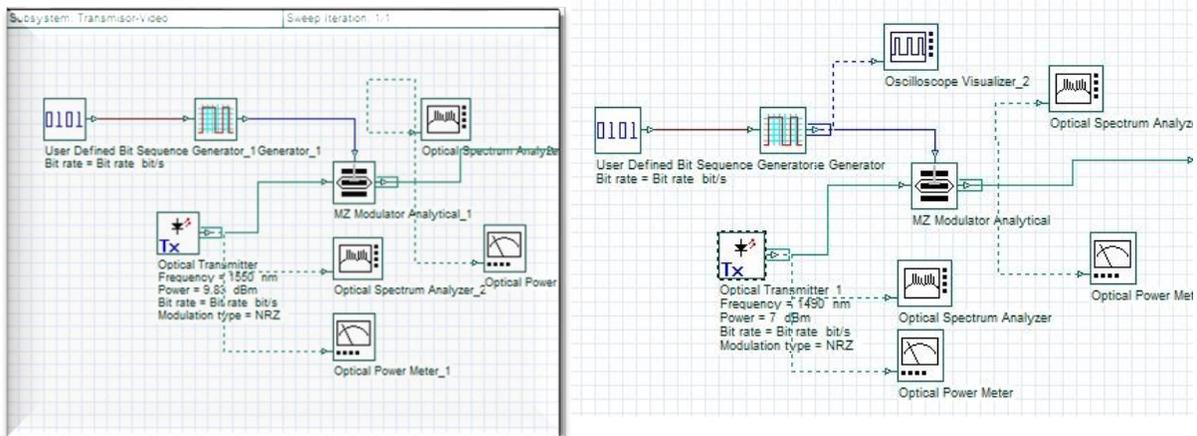


Figura 1-4. Transmisor de Datos/Voz y Video
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Se configuraron parámetros importantes como: Power, longitud de onda, tipo de modulación que en este caso es NRZ (no return to zero) que se encargará de colocar en "0" a la amplitud mínima y un "1" a la amplitud máxima de la señal de información, el resto de los parámetros no se configuran ya que vienen configurados por defecto en el programa.

Los transmisores de video como de datos/voz constan de un modulador externo, el cual cumplirá con la función de realizar una modulación óptica-eléctrica (EOM) en amplitud para lo cual se recurre al elemento Mach Zehnder para cumplir con el funcionamiento del interferómetro, el transmisor de datos/voz y de video poseen la misma configuración a diferencia de sus longitudes de onda que son de 1490 y 1550 nm respectivamente.

Cada uno de los sistemas está conformado por:

- **Generador de secuencia de bits:** permite generar una secuencia de bits que serán modulados y posteriormente enviados a través del medio de comunicación hacia el receptor, la cual es muy similar a cuando un usuario está navegando por internet, viendo servicios de videostreaming o realizando una llamada codificada.
- **Codificador NRZ:** esta toma los bits del generador y los convierte en una señal ya codificada eléctrica de no retorno a cero, que según el estándar G.9842 la tecnología GPON opera con NRZ.
- **CW Laser:** es la fuente óptica del transmisor la cual funciona también como portadora para la modulación óptica posterior, a este elemento es imprescindible modificar su longitud de onda de trabajo y potencia de acuerdo con las especificaciones.

- **Modulador Match-Zehnder:** s este elemento como ya se explicó modula la señal eléctrica proveniente del codificador NRZ con la frecuencia portadora emitida de la fuente.

Como la simulación se lo realiza en downstream, el valor de potencia con el que sale de la OLT es de 7 dBm ya que trabajamos en una red GPON C+ y en el sentido de Upstream con un valor de power de 5dBm como se puede evidenciar en la figura 2-4.

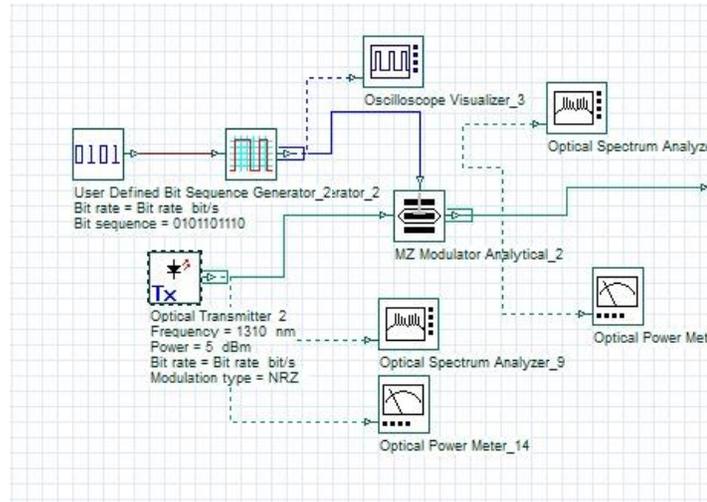


Figura 2-4. Configuración de la OLT-TX Datos/Voz (Upstream)
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

De igual forma en la figura 3-4 se observa el tipo de modulación utilizado en la simulación de la red.

Label: TX Datos-Voz

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input checked="" type="checkbox"/>	Modulation type	NRZ		Normal

Figura 3-4. Tipo de modulación-Tx Datos/Voz
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Todas las configuraciones mencionadas se lo realizan de igual forma para el segundo bloque correspondiente al Tx de video con la única diferencia es que este trabaja a una longitud de onda de 1550 nm.

4.1.2. Configuración de la ODN

La ODN está conformado tanto por la red feeder, distribución y dispersión que consta de dos niveles de splitter y el enlace de fibra óptica a más de los distintos dispositivos utilizados para interconectar la fibra tales como: empalmes, patchcord, pigtail y adaptadores simples; como se muestra en la figura 4-4.

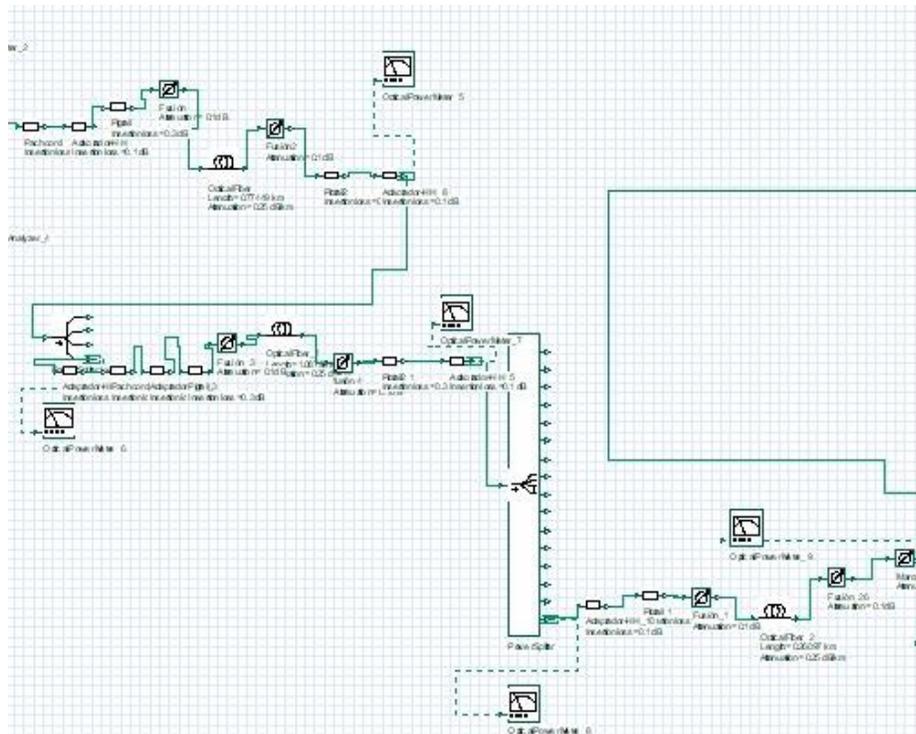


Figura 4-4. Simulación de la ODN

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

En los splitters se deben configurar el número de puertos que se utilizarán, para el caso de nuestra red se usaron dos splitters, en el primer nivel de splitter una relación de 1:2 con una atenuación de 3.6 dB y en el segundo nivel una relación de 1:16 con una atenuación de 13.5 dB para lo cual se va a establecer un margen de guarda de 3dB para posibles aumentos de pérdidas a futuro.

Se determinó la distancia que debe recorrer la fibra óptica en cada una de sus redes tomando como referencia la longitud de onda de 1310 ya está posee la atenuación más alta con respecto a otras longitudes de onda con un valor de 0.5 dB de atenuación, en las siguientes figuras se muestra cada uno de los valores establecidos para las diferentes redes de la ONT, para el caso del distrito 3 que como ya se estableció en el CAPÍTULO III tanto la red feeder como la de distribución usará un cable de fibra óptica G.652 con una atenuación de 0.5 dB/Km y para la red de dispersión la G.657 con una atenuación de 0.4 dB/Km.

Label: FEEDER

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference wa	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Reference wavelength	1310	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	0.77449	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	0.5	dB/km	Normal

Figura 5-4. Fibra Óptica- distancia de la Red Feeder
 Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Label: DISTRIBUCION

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference wa	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Reference wavelength	1310	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	1.08796	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	0.5	dB/km	Normal

Figura 6-4. Fibra Óptica- distancia de la Red de Distribución
 Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Label: Dispers

Disp	Name	Value	Units	Mode
<input type="checkbox"/>	User defined reference wa	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Reference wavelength	1310	nm	Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Length	0.26097	km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation effect	<input checked="" type="checkbox"/>		Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation data type	Constant		Normal
<input checked="" type="checkbox"/>	Attenuation	0.4	dB/km	Normal
<input type="checkbox"/>	Attenuation vs. wavelengt	Attenuation.dat		Normal

Figura 7-4. Fibra Óptica- distancia de la Red de Dispersión.
 Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

4.1.3. Configuración de la ONT

Para la configuración de la ONT se creó dos subsistemas (figura 8-4), uno para la recepción de la señal de datos/voz y el otro para la de video.

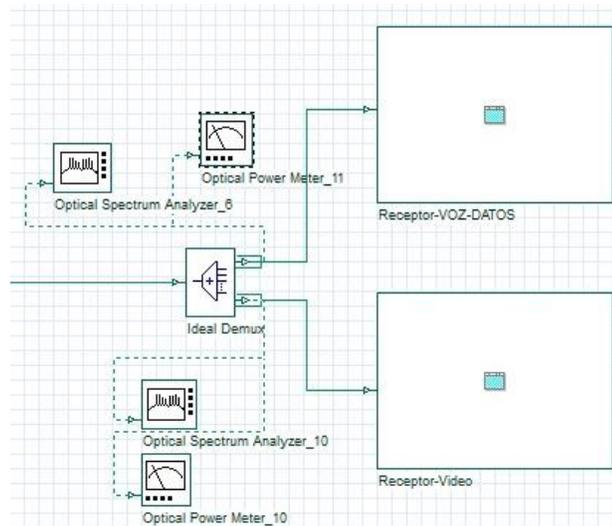


Figura 8-4. Subsistemas de la ONT

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Como se mencionó con anterioridad la simulación en su última red que es la de dispersión cuenta con la ONT la cual es la encargada de interpretar toda aquella información transmitida en forma de luz desde la OLT, la cual para la interpretación decodifica y convierte la señal óptica en una eléctrica y para el caso de las señales digitales IP este envía secuencias de datos Upstream para la transmisión Full Dúplex.

El receptor consta en primer lugar de un demultiplexor para separar la señal da datos/voz con el video para posteriormente pasar por un filtro Butterworth para eliminar las componentes de frecuencia indeseables como el ruido; se utilizó este filtro ya que es lineal y por esta razón no distorsiona la señal y es comúnmente utilizado para aplicaciones de audio y video, obteniendo los datos transmitidos listos para ser interpretados para así visualizar todos los datos recibidos.

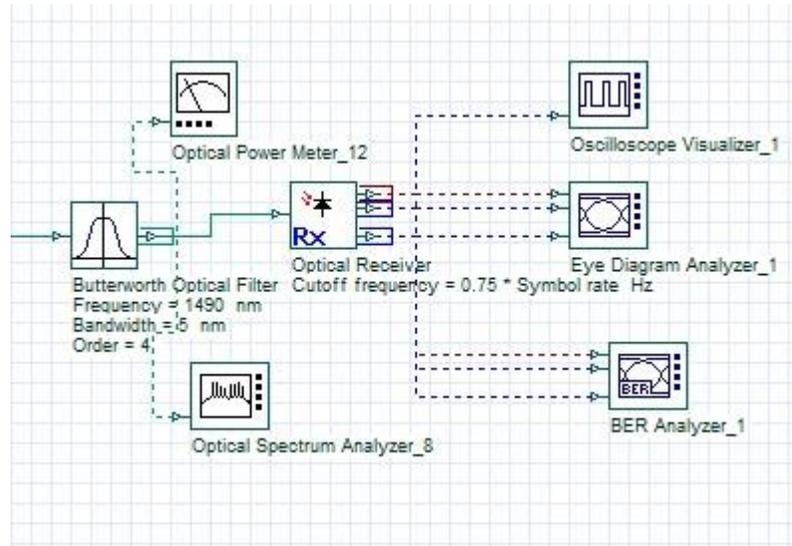


Figura 9-4. Receptor de Video
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Al igual que en el receptor este consta de elementos como un filtro óptico Butterworth, un analizador de probabilidad de error de bit, diagrama del ojo, analizador de espectros y un receptor óptico que se detallan a continuación:

- **Filtro óptico Butterworth:** filtra la señal recibida eliminando los componentes de ruido provocada por los equipos pasivos, este posee la opción de configurar el orden del filtro, mientras mayor sea el orden, la señal se filtrará de mejor manera.
- **Receptor óptico:** posee todos los elementos del receptor, es decir: demodulador óptico, fotodetector y filtro pasa bajas, pudiendo modificar su sensibilidad y frecuencia de trabajo, esto es posible por la versión de OptiSystem que se usó ya que en versiones anteriores estos parámetros no podían ser modificados.

Los demás componentes ya fueron explicados en el capítulo anterior los cuales determinan la calidad de nuestra señal, determinando si el enlace es eficiente o no según los parámetros establecidos por la norma vigente.

Como a través de la misma fibra se transmiten los 3 servicios, es necesario realizar una demultiplexación por división de longitud de onda (DWDM), con la finalidad de separar las señales, esto se lo representará a través de un demultiplexor ideal, para no redundar, los elementos que poseen los sistemas de recepción tanto para video como para audio y datos son similares al receptor de la OLT, con la diferencia de la longitud de trabajo.

Para analizar el comportamiento de la señal en el sistema y determinar su calidad se utilizarán elementos pertenecientes a Visualizer Library como:

- **Optical Power Meter.** _ mide la potencia con la que ingresa la señal al receptor a más de las pérdidas que se suscitaron en el transcurso de la red.
- **Optical Time Domain Visualizer.**_ visualiza el espectro de la señal modulada en el dominio del tiempo
- **BER Analyzer.**_ entrega los resultados para establecer la calidad de un enlace, tales como: diagrama del ojo, factor Q, VER.
- **Optical Spectrum Analyzer.**_ visualiza el espectro de la señal modulada y verifica la frecuencia portadora.

4.2. Evaluación de Resultados.

Los resultados que se presentan corresponden al análisis en la potencia que se muestran en los valores obtenidos a lo largo del recorrido de la fibra óptica desde la OLT hasta nuestro equipo ubicado en el domicilio de nuestro usuario (ONT), de igual forma se analiza el comportamiento de la señal mediante el diagrama del ojo el cual permite visualizar datos específicos sobre la calidad del enlace que según las especificaciones de la normativa ITU-T G.984.2 debe poseer un factor de calidad mayor o igual a 6 y un BER menor o igual a 10^{-10} para datos/audio y de 10^{-12} para video, de la misma forma para el usuario más cercano y más lejano correspondiente a cada uno de los distritos.

4.2.1. Ambiente de Transmisión.

Mediante el uso del analizador de espectros se puede observar la señal generada en la longitud de 1490 nm para la señal de voz y datos como se puede observar en la figura 10-4.

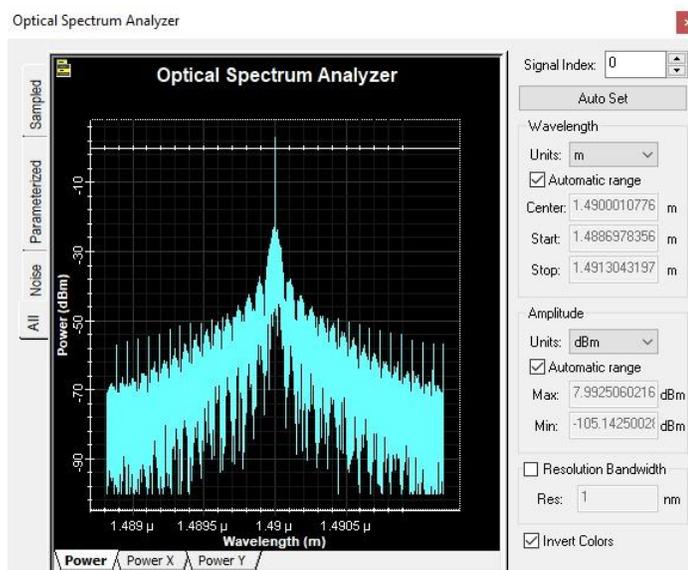


Figura 10-4. Espectro de la señal de datos/voz

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

En la figura 11-4 se observa el espectro correspondiente a la señal de video en la longitud de onda de 1550 nm.

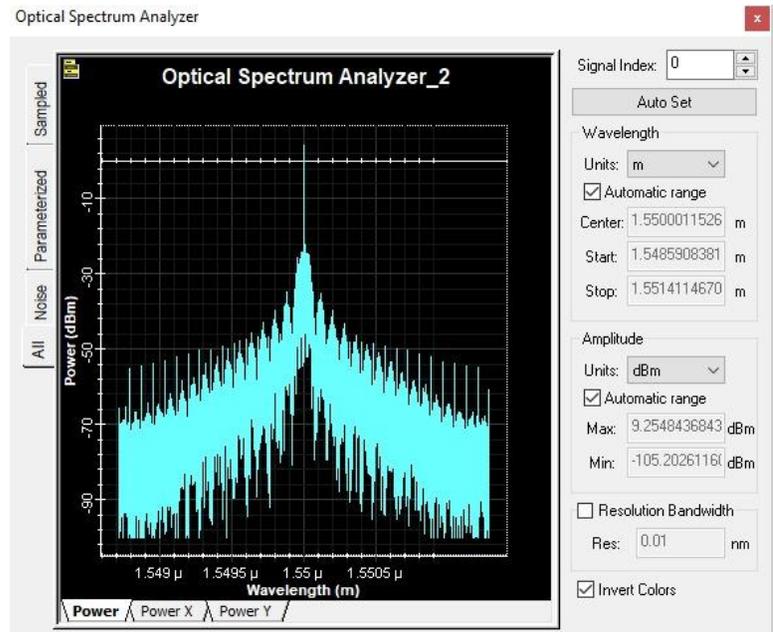


Figura 11-4. Espectro de la señal de video
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Al transmitir dos señales ópticas por la misma fibra a diferentes longitudes de onda se debe realizar una multiplexación por longitud de onda (WDM), para simular este proceso se utilizó un Ideal Mux para así sumarlas y enviarlas por el mismo medio, el espectro de la señal resultante se muestra en la figura 12-4.

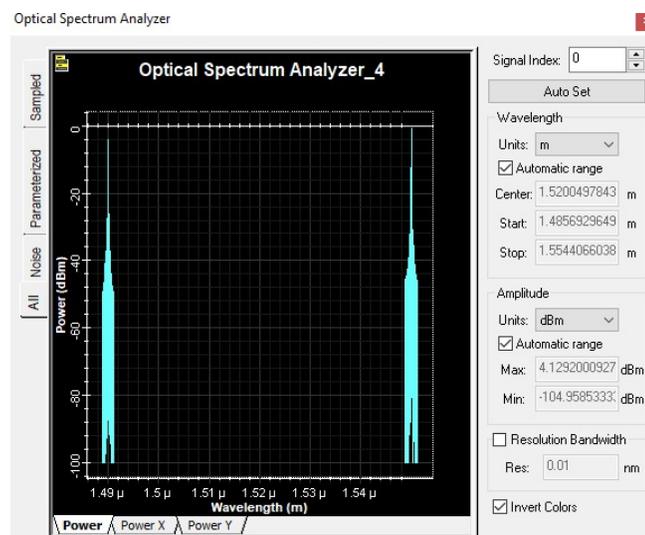


Figura 12-4. Espectro de la señal sumada
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

4.2.2. Ambiente de Recepción.

Los usuarios pertenecientes a nuestra red se encuentran en este ambiente, los cuales constan de diferentes dispositivos tales como BER Analyzer, Oscilloscope Visualizer, Eye Diagram Analyzer con sus respectivos parámetros a analizar.

➤ Factor Q y BER.

El BER es un parámetro de visualización de resultados que permite obtener la relación de bits recibidos con respecto a los bits errados el cual expresa el comportamiento de señal con respecto al factor Q que se refiere a la calidad del enlace que muestra el proceder del sistema a través de varios factores como el ruido, dispersión, efectos lineales y no lineales y atenuación.

Como se mencionó el rango de aceptación de estos dos componentes en la sección 4.2, implica que por cada 10 000 millones de bits transmitidos debe existir un bit errado, en las imágenes subsiguientes se muestran los resultados obtenidos de la señal desde la OLT hasta el usuario o ONT de cada uno de los distritos correspondientes a nuestra zona de estudio, para lo cual se toma como ejemplo de la NAP2-D3 que corresponde a la NAP más cercana del distrito 3 y a la NP8-D3 que corresponde a la más lejana, se eligió el distrito 3 ya que este es el que más alejado está de la OLT por ende sus pérdidas por fibra van a ser mayores.

4.2.2.1. Usuario más lejano.

Para el usuario más lejano perteneciente al Distrito II (MT02_NP11 -D2) , que se encuentra a 2369.9 m de la OLT. En la siguiente figura correspondiente a la 3-13 se puede observar un BER de 3.75362×10^{-76} , el cual cumple con los valores estipulados en la norma ITU-T G.984.2 ya que esta establece que el BER tiene que menor o igual a 10^{-10} , es decir, que se puede esperar 4 bits erróneos por cada 1×10^{-76} bits transmitidos. De igual forma en el mismo usuario se tiene un Factor Q de 18.4299 el mismo que según la especificación de la norma debe ser mayor o igual a 6 por lo que cumple con la condición propuesta, lo que significa una cantidad inferior de dispersión o atenuación con respecto a la potencia transmitida.

Las figuras que se muestran a continuación corresponden al subsistema de datos/voz y video.

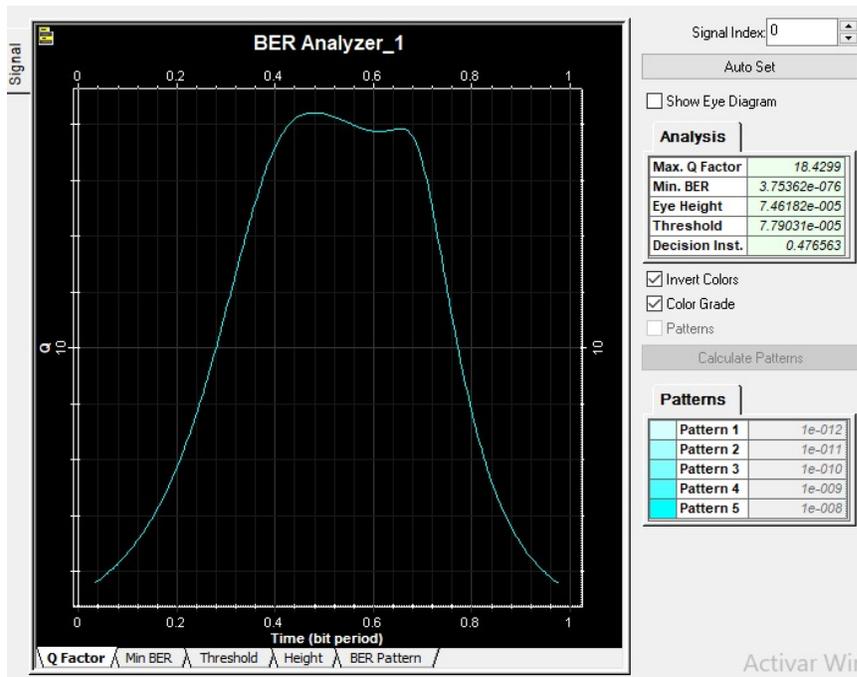


Figura 13-4. Factor Q y BER del receptor de audio/datos del usuario más lejano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

La figura 14-4 muestra los parámetros de calidad de servicio del receptor de video el cual posee con un factor de calidad máximo de 17.0045, mientras que el mínimo BER de 3.64314×10^{-65} , es decir que se puede esperar 4 bits por cada 1×10^{-65} transmitidos.

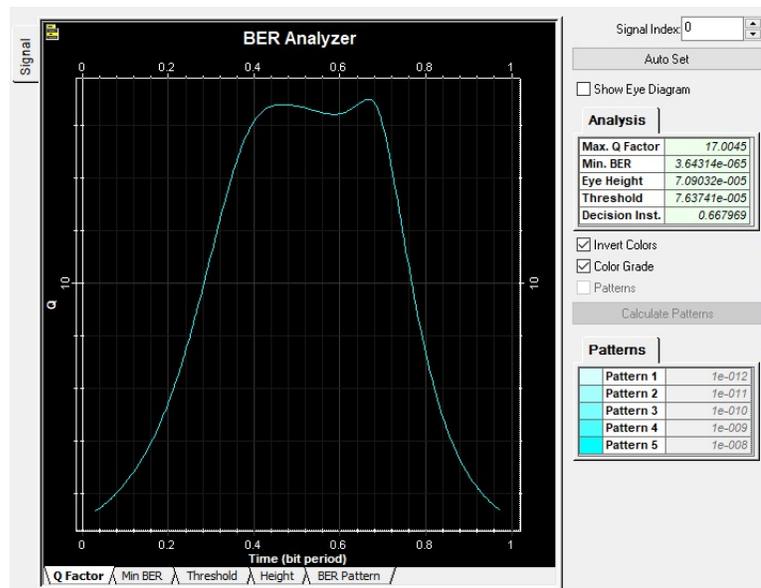


Figura 14-4. Factor Q y BER del receptor de video del usuario más lejano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

A continuación se muestran los resultados obtenidos al diagrama del ojo para el usuario más lejano del distrito 2 para audio/datos lo cual nos permite verificar que el enlace es transmitido de una manera eficiente, combinando el BER, Factor Q, Eye height y el Threshold como se muestra en la figura 15-4 los parámetros obtenidos, en el punto 0.68 bit del factor de calidad se tiene mayor probabilidad de transmisión observándose también una mínima cantidad de ruido existente poseyendo una altura del ojo de $7.46182 \cdot 10^{-5}$, indicando que no hay interferencia, además que el jitter es nulo.

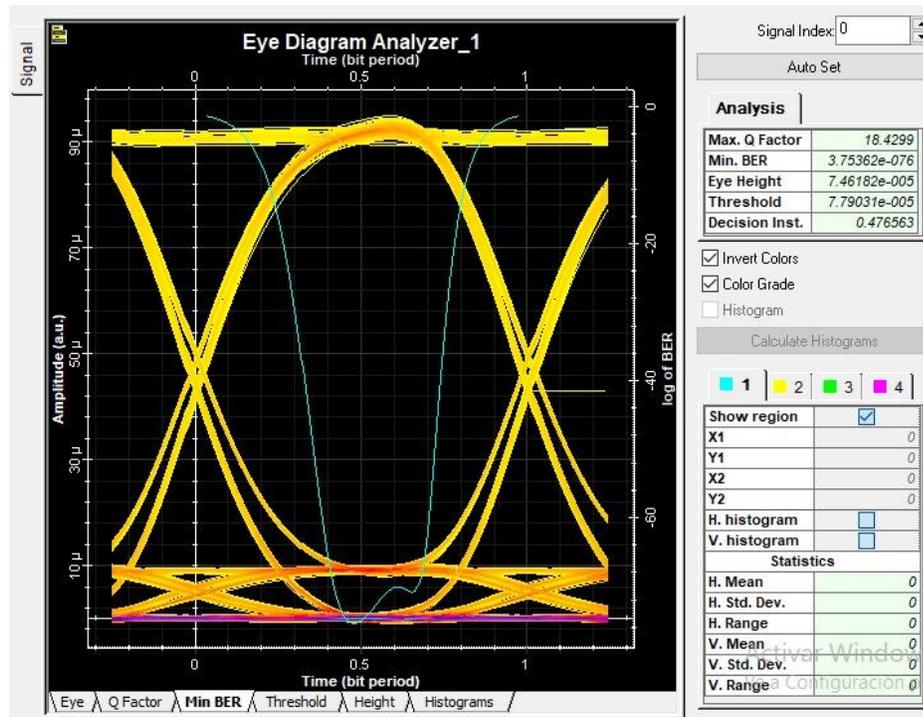


Figura 15-4. Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más lejano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

En la figura 16-4 se observa el diagrama del ojo correspondiente al receptor de video, el cual presenta un factor Q máximo de 17.0045 y un BER mínimo de $3.64314 \cdot 10^{-65}$ con una altura del ojo correspondiente a $7.09032 \cdot 10^{-5}$, indicando que no existe interferencia y que se posee un valor de jitter nulo.

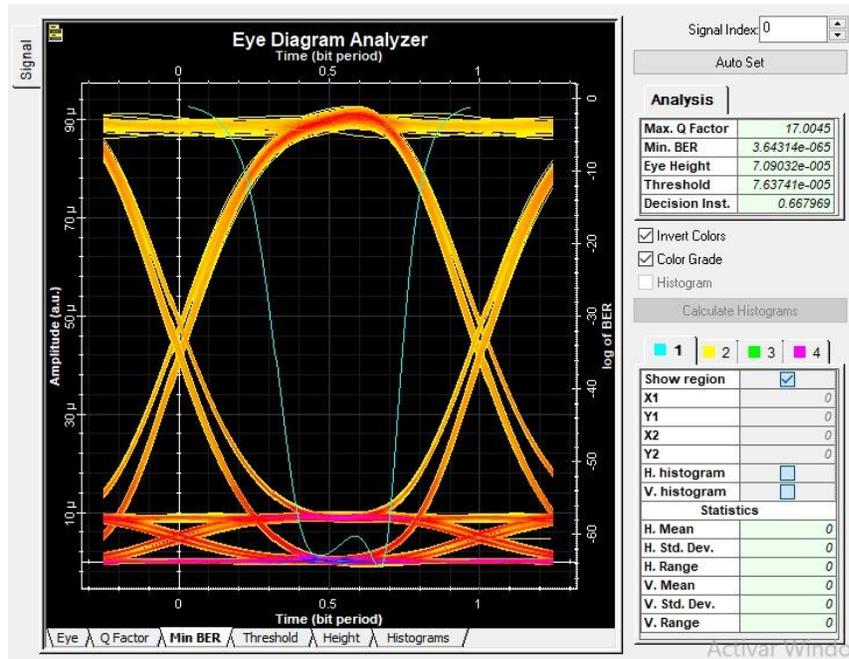


Figura 16-4. Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más lejano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Al analizar la potencia que llega a la ONT es de -17.032 dBm como se puede evidenciar en la figura 17-4 que al compararlo con el valor teórico en la longitud de onda de 1310 que es la que se estableció en la simulación, posee un valor de -17.56517 dBm , se tiene una mínima diferencia de 0.53317 entre los dos valores. Se puede afirmar que su valor está por debajo de la sensibilidad mínima del receptor de -8 dBm, evidentemente esto implica que el enlace óptico es correcto.



Figura 17-4. Potencia que llega a la ONT-Downstream
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

La potencia que llega desde la ONT hasta la OLT (Upstream) es de -17.422 dBm como se establece en la figura 18-4, al poseer el receptor de la OLT una sensibilidad mínima de -28 dBm se evidencia que está por encima de dicha sensibilidad, por lo que garantiza un enlace óptico correcto.



Figura 18-4. Potencia que llega a la OLT-Upstream
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.2.2.2. *Usuario más cercano*

Para el usuario más cercano perteneciente al DISTRITO II (MT03_NAP2-D2), que se encuentra a 698.47 m de la OLT. En la siguiente figura correspondiente a la 20-4 se puede observar los parámetros de calidad del servicio de audio/datos, presentando un BER de 1.02877×10^{-78} , el cual cumple con los valores estipulados en la norma ITU-T G.984.2 ya que esta establece que el BER tiene que menor o igual a 10^{-10} , es decir, que se puede esperar 1 bit erróneos por cada 1×10^{-78} bits transmitidos. De igual forma en el mismo usuario se tiene un Factor Q de 18.7461 el mismo que según la especificación de la norma debe ser mayor o igual a 6 por lo que cumple con la condición propuesta, lo que significa una cantidad inferior de dispersión o atenuación con respecto a la potencia transmitida.

Las figuras que se muestran a continuación corresponden al subsistema de datos/voz y video.

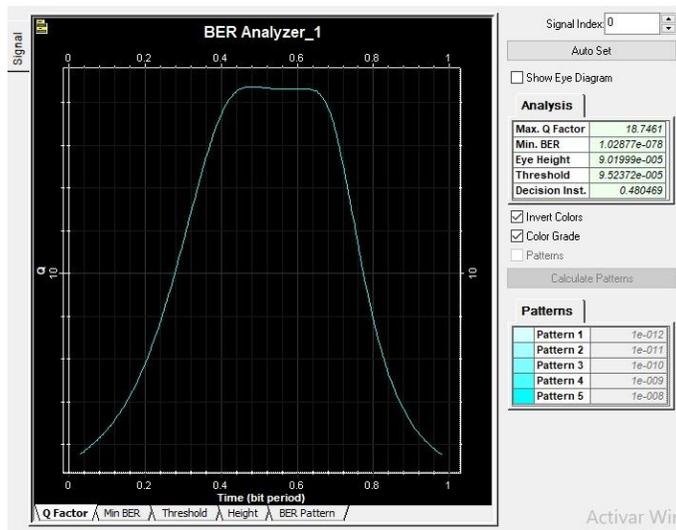


Figura 19-4. Factor Q y BER del receptor de audio/video del usuario más cercano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

La figura 21-4 muestra los parámetros de calidad de servicio del receptor de video el cual posee con un factor de calidad máximo de 17.0113, mientras que el mínimo BER de 3.189×10^{-65} , es decir que se puede esperar 3 bits por cada 1×10^{-65} transmitidos.

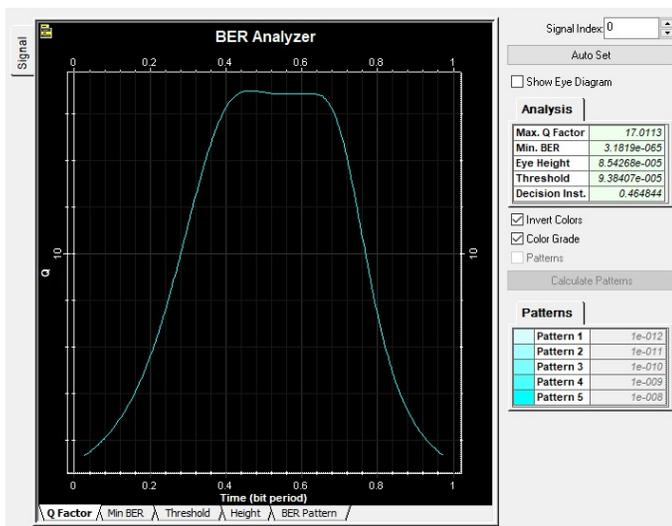


Figura 20-4. Factor Q y BER del receptor de video del usuario más cercano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021.

Por último, se muestra los resultados del Diagrama de ojo del usuario más cercano, como se observa en la figura 22-4, donde el factor de calidad en el punto 0.5 bit tiene mayor probabilidad de transmisión, a más de observar que hay menor presencia de ruido y Jitter debido a que es el usuario más cercano y por ende las pérdidas serán menores.

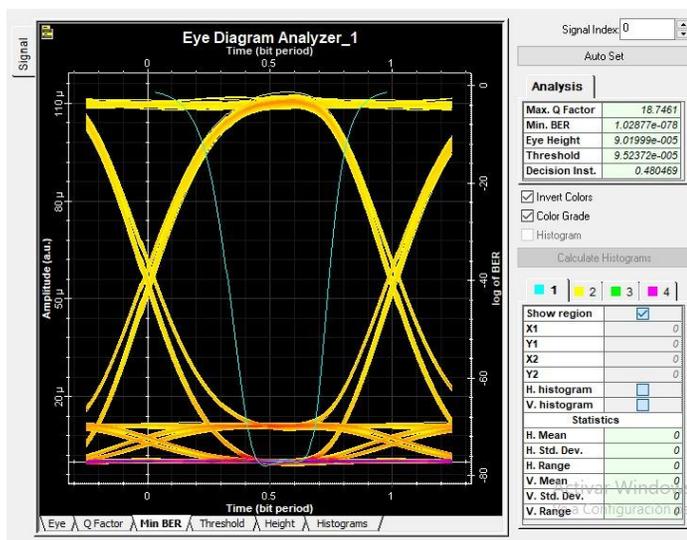


Figura 21-4. Diagrama de ojo del receptor de audio/datos del usuario más cercano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

En la figura 23-4 se observa el diagrama del ojo correspondiente al receptor de video, el cual presenta un factor Q máximo de 17.0113 Y UN BER mínimo de 3.1819×10^{-65} con una altura del ojo correspondiente a 8.54268×10^{-5} , indicando que no existe interferencia y que se posee un valor de jitter nulo.

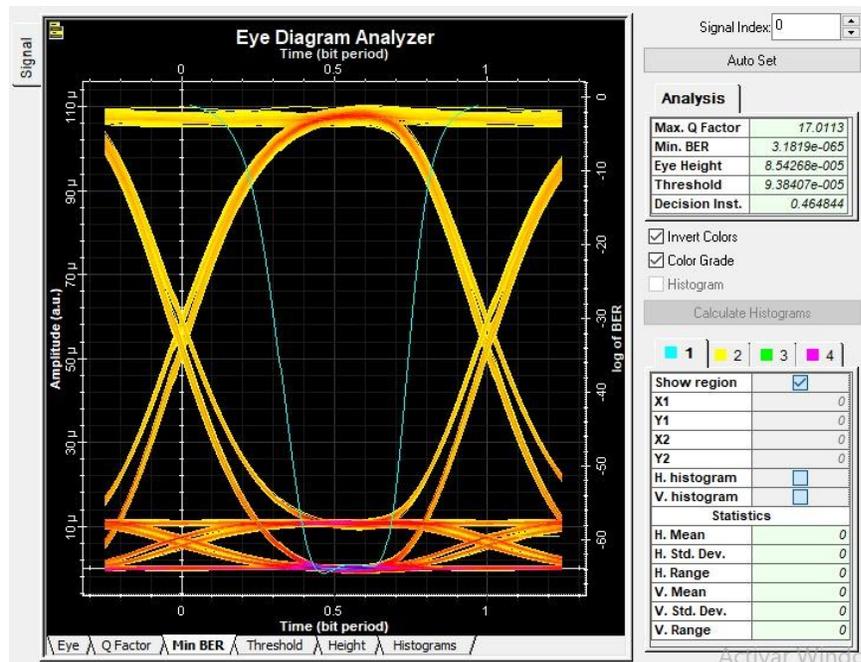


Figura 22-4. Diagrama de ojo del receptor de video del usuario más cercano
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Al analizar la potencia que llega a la ONT es de -16.211 dBm como se puede evidenciar en la figura 24-4 que al compararlo con el valor teórico en la longitud de onda de 1310 que es la que se estableció en la simulación, posee un valor de -16.74424 dBm , se tiene una mínima diferencia de 0.53324 entre los dos valores. Se puede afirmar que su valor está por debajo de la sensibilidad mínima del receptor de -8 dBm, evidentemente esto implica que el enlace óptico es correcto.



Figura 23-4. Potencia que llega a la ONT-Downstream
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

La potencia que llega desde la ONT hasta la OLT (Upstream) es de -16.601 dBm como se establece en la figura 25-4, al poseer el receptor de la OLT una sensibilidad mínima de -28 dBm se evidencia que está por encima de dicha sensibilidad, por lo que garantiza un enlace óptico correcto.

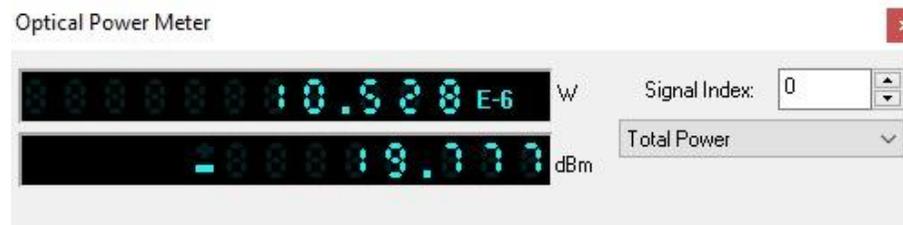
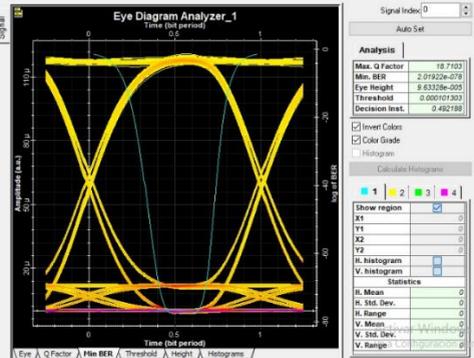
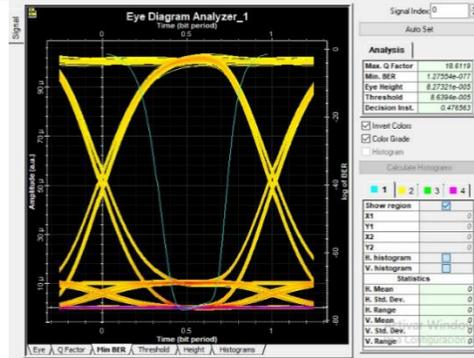
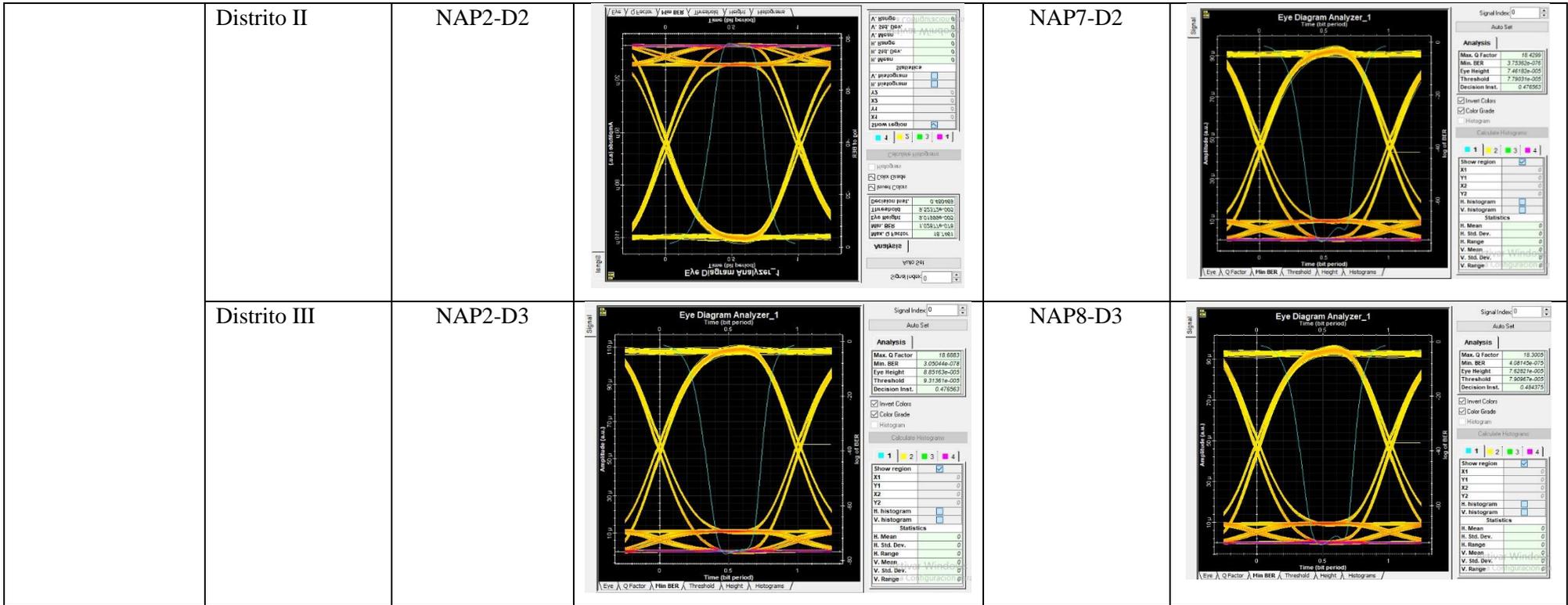


Figura 24-4. Potencia que llega a la OLT-Upstream
Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Para el resto de los distritos cada uno con los usuarios más cercanos y lejanos, los valores hallados del Factor Q, BER y diagrama del ojo son los siguientes.

Tabla 1-4: Diagrama del ojo, factor de calidad y tasa de error binario (BER), de los usuarios más cercanos y lejanos de los distritos para Voz/Datos (1490 nm)

Parámetro	Distrito	NAP	Cercana	NAP	Lejana
Potencia	Distrito I	NAP3-D1	-15.921 dBm	NAP10-D1	-16.593 dBm
	Distrito II	NAP2-D2	-16.211 dBm	NAP11-D2	-17.032 dBm
	Distrito III	NAP2-D3	-16.288 dBm	NAP8-D3	-16.938 dBm
BER	Distrito I	NAP3-D1	2.01922×10^{-78}	NAP10-D1	1.27554×10^{-77}
	Distrito II	NAP2-D2	1.02877×10^{-78}	NAP7-D2	3.75362×10^{-76}
	Distrito III	NAP2-D3	3.05044×10^{-78}	NAP8-D3	4.0815×10^{-75}
Factor Q	Distrito I	NAP3-D1	18.7103	NAP10-D1	18.6119
	Distrito II	NAP2-D2	18.7461	NAP7-D2	18.4299
	Distrito III	NAP2-D3	18.6883	NAP8-D3	18.3005
Diagrama de ojo	Distrito I	NAP3-D1		NAP10-D1	



Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

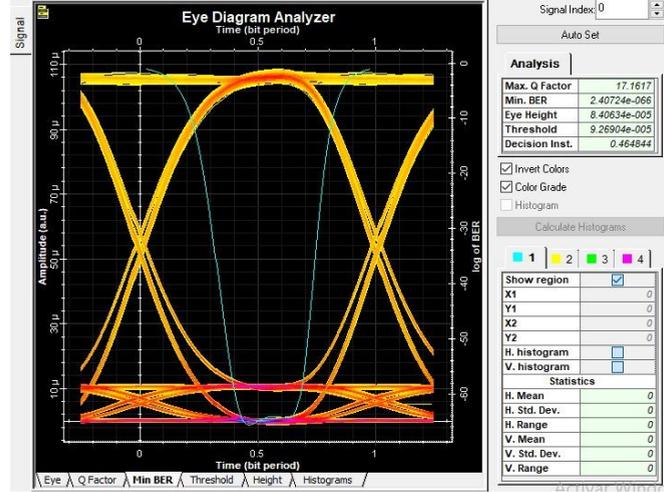
Tabla 2-4: Diagrama del ojo, factor de calidad y tasa de error binario (BER) de los usuarios más cercanos y lejanos de los distritos para video (1550 nm)

Parámetro	Distrito	NAP	Cercana	NAP	Lejana
Potencia	Distrito I	NAP3-D1	-14.583 dBm	NAP10-D1	-15.255 dBm
	Distrito II	NAP2-D2	-14.873 dBm	NAP7-D2	-15.694 dBm
	Distrito III	NAP2-D3	-14.951 dBm	NAP8-D3	-15.601 dBm
BER	Distrito I	NAP3-D1	1.38159×10^{-66}	NAP10-D1	1.36792×10^{-64}
	Distrito II	NAP2-D2	3.1819×10^{-65}	NAP7-D2	3.64314×10^{-65}
	Distrito III	NAP2-D3	2.40724×10^{-66}	NAP8-D3	3.45656×10^{-65}
Factor Q	Distrito I	NAP3-D1	17.1936	NAP10-D1	16.9261
	Distrito II	NAP2-D2	17.0113	NAP7-D2	17.0045
	Distrito III	NAP2-D3	16.1617	NAP8-D3	17.0071

Diagrama de ojo	Distrito I	NAP3-D1		NAP10-D1	
	Distrito II	NAP2-D2		NAP7-D2	

Districto
III

NAP2-
D3



NAP8-
D3



Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3. Inversión.

En esta sección se describirá de manera global los costos estimados de una red de acceso FTTH con tecnología GPON en la zona urbana de la parroquia Sucúa, en los que se incluyen los costes de materiales que se usarán, la mano de obra, y costes de diseño de ingeniería e instalación, sin embargo, teniendo en cuenta que este es un proyecto ficticio se indican los precios referenciales de los equipos necesarios para el desarrollo de la red de nuestro proyecto para cumplir con los requerimientos de los usuarios finales, este análisis económico tiene el objetivo de determinar su viabilidad o no del mismo, para lo cual se analizan los costes que implican la puesta en marcha del presente diseño, para lo cual se va a separar en el presupuesto de acuerdo a cada red y equipos activos, para finalmente al sumar los costos de cada uno y obtener nuestra inversión total.

4.3.1. Costo de los equipos.

Tabla 3-4: Costo de equipos.

Equipos			
Lugar: Parroquia Sucúa			
Equipos	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
OLT Marca HUAWEI Serie MA5608T	1	\$ 2.000.00	\$ 2.000.00
ONT Marca HUAWEI Serie HG8245H GPON Terminal	592	\$ 65.00	\$ 38.480.00
Licencia para OLT	1	\$ 1.500.0	\$ 1.500.00
Máquina Fusionadora de Fibra Óptica	1	\$ 3.000.00	\$ 3.000.00
OTDR (Equipo de Medición de Fibra Óptica)	1	\$ 1.730.00	\$ 1.730.00
Kit de herramientas de prueba de fibra óptica FCST210402, incluye Microscopio de inspección 400x, VFL, OPM, OLS, para	1	\$ 427.79	\$ 427.79

limpiador de un clic, FC, SC, ST			
Equipo medidor de potencia óptico- digital	3	\$ 16.54	\$ 49.62
TOTAL			\$ 47.137.79

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.2. Costo de la Red Feeder

Tabla 4-4: Costo de la red feeder.

Red Feeder				
Lugar: Parroquia Sucúa				
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Fusión de 1 hilo de fibra.	U	38	\$ 10.50	\$ 399.00
Instalación y colocación de manga de 12 hilos	U	3	\$ 60.00	\$ 180.00
Identificador acrílico de fibra óptica canalizado 8cm x 4 cm	U	3	\$ 5.39	\$ 16.17
Instalación y colocación de cable aéreo de 12 F.0 Monomodo G.652.D	m	1407	\$ 2.55	\$ 3.587.00
Instalación y colocación	U	19	\$ 7.50	\$ 142.50

splitter HUAWEI relación 1:2				
Prueba reflectó métrica unidireccional por fibra	U	2	\$ 8.48	\$ 16.96
Patchcord	U	19	\$ 3.50	\$ 66.50
Pigtail	U	36	\$ 1.60	\$ 57.60
Adaptador Simple	U	36	\$ 1.99	\$ 71.64
ODF TYCO 96 puertos	U	1	\$ 1.593.46	\$ 1.593.46
Instalación y Colocación de herrajes de retención para fibra ADSS	U	27	\$ 15.53	\$ 241.19
TOTAL				\$ 6.372.02

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.3. Red de Distribución.

Tabla 5-4: Costo de la red de distribución.

Red Feeder				
Lugar: Parroquia Sucúa				
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Fusión de 1 hilo de fibra.	U	74	\$ 10.50	\$ 777.00
Preparación de punta de cable de fibra óptica y	U	74	\$ 7.45	\$ 551.30

sujeción de cables 6-96 hilos				
Identificador acrílico de fibra óptica canalizado 8cm x 4 cm	U	10	\$ 5.39	\$ 53.9
Instalación y colocación de cable aéreo de 12 F.0 Monomodo G.652.D	m	3522.95	\$ 2.55	\$ 8.983.53
Instalación y Colocación de herrajes de retención para fibra ADSS	U	98	\$ 15.53	\$ 1521.94
Prueba reflectó métrica unidireccional por fibra	U	10	\$ 8.48	\$ 84.80
Instalación y Colocación Splitter HUAWEI (1x16)	U	1	\$ 16.00	\$ 16.00
Patchcord	U	38	\$ 3.50	\$ 133.00
Prueba de potencia de 1 hilo de fibra óptica	U	10	\$ 8.86	\$ 88.60
Pigtail	U	76	\$ 1.60	\$ 121.60

Adaptador Simple	U	114	\$ 1.99	\$ 226.86
Armarios de distribución	U	3	\$ 89.99	\$ 269.97
TOTAL				\$ 12.828.50

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.4. Red de Dispersión.

Tabla 6-4: Costo de la red de dispersión.

Red Feeder				
Lugar: Parroquia Sucúa				
Materiales	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Fusión de 1 hilo de fibra.	U	1184	\$ 10.50	\$ 12.432.00
Preparación de punta de cable de fibra óptica y sujeción de cables 6-96 hilos	U	74	\$ 7.45	\$ 551.30
Identificador acrílico de fibra óptica canalizado 8cm x 4 cm	U	60	\$ 5.39	\$ 323.40
Instalación y colocación de cable aéreo de 2 F.0 Monomodo G.657	m	756.24	\$ 0.80	\$ 597

Pigtail	U	592	\$ 1.60	\$ 947.20
Adaptador Simple	U	592	\$ 1.99	\$ 1178.1
NAPs aéreas	U	38	\$ 34.00	\$ 1.292.00
Rosetas ópticas	U	592	\$ 3.00	\$ 1776.00
Conectores mecánicos	U	600	\$ 11.00	\$ 660.00
Cable UPC Cat 6	UxC	4	\$ 76	\$ 304
TOTAL				\$ 18.285.00

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.5. Costo de Ingeniería.

Tabla 7-4: Costo de Ingeniería

Materiales	Precio Total
Diseño de la red FTTH 4% del costo total	\$ 3178.41.00
Configuración de equipos 2%	\$ 1589.21.00
Mantenimiento de la Red	\$ 6.831.00
TOTAL	\$ 11.598.62

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.6. Costos Adicionales.

Tabla 8-4: Costos adicionales.

Descripción	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Total
Pago de Arriendo de Casas	Mes	3	\$ 75.00	\$ 225.00
Pago de Técnico	Mes	12	\$ 600.00	\$ 7.200.00
Medio de Transporte	U	1	\$ 10.800.00	\$ 10.800.00

Pago de Energía Eléctrica	Mes	12	\$ 20.00.00	\$ 240.00
Pago de Agua Potable.	Mes	12	\$ 8.00	\$ 96.00
Pago de secretaria	Mes	12	\$ 400.00	\$ 4.800.00
Otros	U	1	\$ 200.00	\$ 200.00
Total				\$ 23.561.00

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.3.7. Costo total de la red de acceso

Tabla 9-4: Costo total de la red de acceso

Costo Total de la Red de Acceso	
Costo de equipos activos	\$ 41.980.00
Costo Red Feeder	\$ 6.372.02
Costo Red de Distribución	\$ 12.828.50
Costo Red de Dispersión	\$ 18.285.00
Costo de ingeniería	\$ 11.598.62
Costos Adicionales	\$ 23.651.00
TOTAL	\$ 114.715.14

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

4.4. Payback de la red de acceso.

Para determinar en qué periodo de tiempo se recuperará todo el dinero invertido se presentan los siguientes planes de los servicios tentativos que se podrían ofrecer.

Tabla 10-4: Planes tentativos para ofrecer.

Servicio	Plan		Precio	
	Plan 1	Plan Hogar	Plan 1	Plan Hogar
Telefonía	Minutos Locales a otros Operadores fijos 100	Llamadas ilimitadas a todas las operadoras fijas	\$ 1.12	\$ 13.44

			y móviles dentro del país			
Internet	FAST 25 MEGAS	FAST 50 MEGAS	FAST 70 MEGAS	FAST 25 MEGAS	FAST 50 MEGAS	FAST 70 MEGAS
	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de carga de 10 Mbps. • Velocidad de descarga de 25 Mbps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de carga de 10 Mbps. • Velocidad de descarga de 50 Mbps. 	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad de carga de 10 Mbps. • Velocidad de descarga de 70 Mbps. 	\$ 22.40	\$ 29.12	\$ 56.00
Televisión	SUPER HD	ULTRA HD	SUPER HD	ULTRA HD		
	<ul style="list-style-type: none"> • 41 Canales HD • Canales SD 94 • Canales de Audio 50 • Televisión por Cable 	<ul style="list-style-type: none"> • 79 Canales HD • Canales SD 115 • Canales de Audio 50 • Televisión por Cable 	\$ 25.76	\$ 39.93		

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Suponiendo que los clientes del área de estudio eligen el plan hogar en telefonía, en internet el fast 50 MEGAS y en televisión SUPER HD, considerando a este plan como un plan estándar y accesible para los usuarios, esta suposición se lo realiza con el objetivo de obtener un resultado promedio de flujo de caja, por lo que se tiene un costo de $\$ 13.44 + \$ 29.12 + \$ 25.76 = \$ 68.32$.

Al asumir que este es el plan que todos los 457 usuarios del área de estudio solicitan, por lo tanto para obtener el periodo de tiempo estimado en el que se va a recuperar la inversión se aplica la fórmula de payback (PB):

$$PB = \frac{\text{Inversión Inicial}}{\text{Resultado Promedio del Flujo de Caja}} \quad (13)$$

$$PB = \frac{\$ 114.0715.14}{\$ 31.222.24} = 3.68 \text{ meses}$$

Es decir que en aproximadamente 3 meses; que en base a nuestras encuestas de los 520 sujetos a prueba 457 de estos establecieron que, si optarían por cambiarse a otro servicio, en aproximadamente 3 meses y medio se recuperaría el capital invertido, siendo un proyecto muy factible, el cual contará con una red convergente, de este modo la red de acceso será flexible, viable y escalable con bajos costos de mantenimiento, para la obtención de datos más acordes con la realidad se tomarán en cuenta los tiempos de despliegue de la red y el número de usuarios que se va a ir acogiendo en ese lapso de tiempo.

Se tomará como muestra que nuestra red en cada mes va a tener un despliegue de fibra para 40 usuarios, por lo que:

Tabla 11-4: Número de usuarios de la red GPON al cabo de 1 año.

Mes	Número de Usuarios.
1	40
2	80
3	120
4	160
5	200
6	240
7	280
8	320
9	360
10	400
11	440
12	457

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Para determinar el tiempo en el que recuperará el dinero invertido, se tiene:

Tabla 12-4: Ingresos mensuales.

Mes	Número de usuarios	Costo del Plan	Dinero Obtenido al Mes
1	40	\$ 60.38	\$ 2.415.20
2	80	\$ 60.38	\$ 4.830.40
3	120	\$ 60.38	\$ 7.245.60
4	160	\$ 60.38	\$ 9.960.80
5	200	\$ 60.38	\$ 12.076.00
6	240	\$ 60.38	\$ 14.491.20
7	280	\$ 60.38	\$ 16.906.40
8	320	\$ 60.38	\$ 19.321.60
9	360	\$ 60.38	\$ 21.736.80
10	400	\$ 60.38	\$ 24.152.00
11	440	\$ 60.38	\$ 26.567.20
12	457	\$ 60.38	\$ 27.593.66
TOTAL			\$ 187.296.86

Realizado por: Sarmiento, Jameson, 2021

Teniendo al año, que es el que va a durar nuestra red ser implementada, se obtendrá \$ 187.296.86 con una inversión de \$ **114.715.14** generando una ganancia de \$ 72.581.66, determinando una recuperación de la inversión en 9.473 meses.

Observando que el proyecto es factible y que la inversión se recupera en poco tiempo se decide no cobrar por la instalación de los equipos.

CONCLUSIONES.

- ❖ Se analizó la demanda de los servicios Triple Play en el sector urbano de la parroquia Sucúa, en base a los resultados de las encuestas compuestas de cinco preguntas, se obtiene que en la población encuestada el 90.31 % posee acceso a los servicios tradicionales como voz, audio y video de forma independiente mas no por una red convergente, donde poseen problemas con la red actual de velocidad y disponibilidad , por lo que el 96.48 % están dispuestos a contratar los tres servicios (*Triple Play*) a través de un mismo medio de transmisión a fin de mejorar la calidad del servicio ofrecido y la comodidad en los pagos ya que lo harían a través de un solo proveedor.
- ❖ Las redes GPON al operar con velocidades de 2.5 Gbps de bajada y 1.25 Gbps de subida, otorgan grandes beneficios como una alta disponibilidad de servicios de telecomunicaciones como lo son internet de alta velocidad, TV digital, IPTV, entre otros, lo que permite que los usuarios del proyecto posean una red de acceso flexible, viable, escalable y de calidad.
- ❖ Para el diseño de la red de acceso uno de los aspectos más importantes es la selección de los niveles de splitter y la atenuación total presente en las diferentes redes (feeder, distribución y dispersión), los cuales tienen un efecto importante al calcular el presupuesto óptico de la red, siendo precisamente los splitters los elementos que mayor atenuación poseen, de los cuales va a depender el ancho de banda con el que va a contar la red, al brindar un servicio triple play de utilizó un splitter de 1:2 para el primer nivel y de 1:16 para el segundo nivel logrando de un ancho de banda superior a los 70 Mbps, se obtuvieron valores de atenuación inferiores a los 32 dB que especifica la clase C+ de la norma G.984.2 en el presupuesto de pérdidas teóricos, lo que permite utilizar la completa capacidad de la red FTTH al abarcar más usuarios en un solo puerto de la OLT de una misma zona de cobertura.
- ❖ El cálculo del presupuesto óptico teórico de lo realizó analizando parámetros de potencia de recepción al usuario más lejano y cercano de los distritos dispuestos de la zona urbana de la parroquia Sucúa, del cual al utilizar la misma arquitectura de red FTTH el único parámetro a modificó fue el de las distancias de las redes que conforman la ODN, es decir la cantidad de fibra óptica que se va a utilizar para cada usuario en los tres distritos diferentes, además de las consideraciones, en el balance de potencias el cliente más lejano y cercano del distrito dos, que fue el distrito que registró la mayor distancia de fibra a lo largo de la ODN, se obtuvo una potencia de: -17.56517 dBm y -16.74424 dBm respectivamente , siendo estos resultados mayores a los de la sensibilidad del receptor (-28 dBm) por lo que el enlace es favorable, calculo que fue

determinado a partir de un margen de guarda de 3 dB asegurando que nuestra señal no presente inconvenientes si surge pérdidas en la señal.

- ❖ Para comprobar los resultados se utilizó el software OptiSystem 18.0 en su versión gratuita, con una referenciación geográfica a través del software ArGis 10.3, obteniendo en el usuario más lejano y cercano una potencia de -17.032 dBm y -16.211 dBm respectivamente, existiendo una diferencia de 0.533 dBm, corroborando con lo obtenido de manera teórica. En los parámetros adicionales que determinan la calidad del servicio se obtuvo un mejor factor de calidad de 18.7461 y 16.1617 respectivamente mientras que la probabilidad de que exista un error en la transferencia de bits se encuentra en el rango de 1.02877×10^{-78} a 1.36792×10^{-64} , por lo que se obtuvieron resultados favorables referente a lo definido por el estándar, obteniendo enlaces de calidad, ya que tanto los valores obtenidos en el factor de calidad como en el BER son casi tres veces el valor dispuesto por la recomendación vigente.

- ❖ Al determinar el número de usuarios a través de las encuestas se obtiene la media de los sujetos a prueba que están dispuestos a acceder a un servicio triple play siendo conscientes de que este presentará un pago mayor al que están acostumbrados a pagar a su proveedor de servicio actual de obtuvo la estimación que de los 520 usuarios, 457 de ellos constan como potenciales clientes que al elegir un combo regular por cada cliente se obtendrá mensualmente \$ 68.32, lo que representa una cifra muy adecuada para cubrir el monto de la inversión de \$ 114.715.14 ya que en tan solo 10 meses se recuperará el capital invertido, generando una ganancia de \$ 72.581.66, al año de ser implementada.

RECOMENDACIONES.

- ❖ Es importante tener el conocimiento suficiente de cada tema, revisar los estándares más actualizados que se encuentren en la página oficial de la ITU referentes a la familia G.984.x, ya que el uso de versiones obsoletas puede afectar al diseño de una red óptima, de tal forma que estos no causen cambios significativos o retrasos en el proyecto.
- ❖ Para las encuestas las preguntas deben ser resumidas, estratégicas y de fácil comprensión para cualquier tipo de cliente, ya que estas serán de vital importancia para determinar la viabilidad del proyecto, su demanda y la proyección, con la finalidad de que se garantice las decisiones tomadas en el proyecto.
- ❖ Dimensionar adecuadamente la red con sus respectivos respaldos, ya que cada año la población aumenta, y por ende el número de usuarios, por ende diseñar una red que sea capaz de servir por décadas a los usuarios, sin necesidad de incurrir a gastos extremos para cubrir la demanda que se requiera.
- ❖ Al momento de usar los softwares de georreferenciación de los equipos como ArGis o AutoCad, es muy recomendable solicitar la planimetría más actualizada de los GAP Municipales y la ubicación de cada uno de los postes a la Centro Sur de cada cantón, a fin de evitar contratiempos al momento de diseñar la red.
- ❖ Siempre verificar los manuales técnicos de los materiales y equipos a usar con el fin de verificar los parámetros que afectan a la red como la atenuación, potencia aceptada, etc.
- ❖ Se recomienda usar hasta dos niveles de splitter ya que al usar más aumentarían considerablemente las pérdidas, con relación máxima de 1:32 ya que para dar un servicio triple play se necesitan un ancho de banda considerable.
- ❖ En la simulación se deberá realizar las conexiones de forma precavida ya que estas podrían producir errores en la simulación.
- ❖ Descargarse el programa cuando se vaya a empezar a simular luego de tener ya el diseño de la red y el presupuesto óptico de forma escrita ya que solo se cuenta con 30 días para el diseño y toma de resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ALIBABA.COM. *Conector modificado para requisitos particulares divisor del PLC del mini SC FTTH de la fibra óptica 1X16.* [en línea]. 2021, p. 1. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: https://www.alibaba.com/product-detail/Splitter-Fiber-Optic-1X16-Mini-SC_62489287512.html?spm=a2700.7735675.normal_offer.d_image.6fac1038umGbl3&s=p

ASIMBAYA, NOROÑA Fanny Elizabeth. *Estudio y Diseño de una Red IP sobre la Plataforma ATM para ANDINATEL S.A para la Ciudad de QUITO.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2002, p. 1 [consulta: 29 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/5385/1/T1899.pdf>

BARROSO, RIVAS Servando. *Caracterización Polarimétrica de Fibras Ópticas Monomodo.* [en línea] (Maestría) .Centro de Investigaciones en Óptica, A.C. León, Gto, México. 2013, p. 25 [consulta: 14 mayo 2021]. Disponible en: <https://cio.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1002/467/1/15937.pdf>

BORBOR, CAMACHO José Gregorio. MOLINEROS GONZÁLES, Jorge Rafael & PROAÑO, PEÑA Gabriel Felipe. *Kit de Entrenamiento sobre la Transmisión de Señales a través de Fibra Óptica* [en línea]. (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador: 2007, p 66-66. [consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/128552/D-83878.pdf>

B@UNAM. *Espectro Electromagnético.* Coordinación de Universidad Abierta, Innovación Educativa y Educación a Distancia, [consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: http://uapas1.bunam.unam.mx/ciencias/efecto_doppler/

CAMPOVERDE PACHECO, Juan Carlos & ORDOÑEZ PARRA, María Belén. *Diseño de una red FTTx con Tecnología GPON para la cabecera Totoracocha.* [en línea]. (Tesis de Grado). Universidad de Cuenca , Cuenca, Ecuador: 2015, p. 23-24 [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23107>

CANDO GARZÓN, David Patricio. *Análisis y Simulación de la Capacidad de Escalabilidad de una Red Nacional DWDM para que Opere a 128 Lambdas.* [en línea] (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador 2015, p. [consulta:26 mayo 2021]. Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/9324/AN%c3%81LISIS%20Y%20SIMULACION%c3%93N%20DE%20LA%20CAPACIDAD%20DE%20ESCALABILIDAD%20DE%20UNA%20RED%20NACIONAL%20DWDM%20PARA%20QUE%20OPERE%20A%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CARRION, TORRES Walter Oswaldo & CEVALLOS, CUENCA Diego Fernando. *Estudio y diseño de la red de fibra óptica para el transporte de aplicación triple play en el trayecto Cuenca-Girón- Pasaje* [en línea]. (Trabajo de Grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2011, p. 2-3. [consulta: 2 mayo 2021]. Disponible en:

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1081/12/UPS-CT002149.pdf>

CARMONA, GIRALDO Paula Andrea & MONTES, TORRES Paola Andrea. *Diseño y simulación de una RED ÓPTICA PASIVA (PON) para prestar servicios Triple Play a un conjunto residencial.* [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Católica Popular del Risaralda, Pereira, Colombia. 2009, p.4-69. [Consulta: 11 agosto 2021]. Disponible en:

<https://repositorio.ucp.edu.co/bitstream/10785/1530/1/CDMIST8.pdf>

CARVAJAL, VERA María Fernanda. *Análisis para la Aplicación del Programa Optifiber de Optiware para las Mediciones de los Parámetros de Diseño e los Cables de Fibra óptica.* [en línea] (Tesis de Grado) . Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador. 2014. [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/2895/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-78.pdf>

CARRERA, FLORES Andrea Karina. *Diseño de una red de planta externa FTTH con tecnología GPON para la población de Barreiro Nuevo, de la ciudad de Babahoyo, Provincia de Los Ríos.* [en línea] (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito, Ecuador. 2016, p. 13. [consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en:

<http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13130/CASO%20DE%20ESTUDIO%20KARINA%20CARRERA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CARRERA, SALAZAR Carlos Andrés. *Estudio y Simulación del Efecto No Lineal Auto modulación de Fase.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Politécnica Nacional. , Quito, Ecuador: 2013. p 55-60. [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7210/4/CD-5380.pdf>

CARPIO, VILLAVICENCIO Fabián Guillermo. *Estudio Técnico-Económica para la Implementación de Redes G-PON para la Corporación Nacional de Telecomunicaciones.* [en línea] (Tesis de Grado) . Universidad del Azuay., Cuenca, Ecuador. 2012, p. 4-5 [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/1451/1/09619.PDF>

CASTAÑEDA, ROMERO Paulo Alejandro. *Análisis y Simulación del Fenómeno de Dispersión Cromática en las Fibras ópticas Monomodo ITU-T G.652 e ITU-T G.655.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2018, p. 6. [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19307>

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] (Tesis Doctoral). Universidad Politécnica Nacional. Quito, Ecuador. 2014, p. 9-10. [consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/7343>

CEVALLOS, ROJAS Ramiro Alejandro & MONTALVO, ESPINOSA Richard Ramiro. *Estudio y diseño de una red de última milla, utilizando la tecnología GPON, para el sector del nuevo aeropuerto de Quito* [en línea]. (Tesis de Grado). : Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2010, p. 43 [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/1886>

CHÁVEZ , CHÁVEZ Raquel Maritza. *ESTUDIO Y DISEÑO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED GPON (Gigabit Passive Optical Networks) EN EL SECTOR CENTRO DE RIOBAMBA PARA LA CNT EP-CHIMBORAZO.* [en línea] (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador: 2010, p. 20. [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/827/1/UNACH-EC-IET-2010-0005.pdf>

CONDORI , ARGOLLO Franz Isai & LAGUNA, FARFÁN Diego Eduardo. *ATM (Modelo de Transferencia Asíncrona).* [en línea] (Trabajo de Exposición). Universidad de Aquino Bolivia, Aquino, Bolivia: 2017, p. 1. [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <https://ingetelecom.files.wordpress.com/2007/08/atm-modo-de-transferencia-asc3adncrona.pdf>

CRUZ, NAULA Nataly Estefania. *Diseño de una red FTTx utilizando estándar G.984.x para proveer servicio Triple Play en la zona urbana del cantón Chambo.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019, p. 10-25 [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/11020/1/98T00243.pdf>

DRAKA. Splitter Family For GPON FTTH Network [en línea]. 2009, p. 20. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <https://www.focabex.com/library-n/FIBER-OPTIC-SPLITTERS.pdf>

ECURED, Opnet Modeler Technologies [en línea]. 2021 [Consulta: 22 junio 2021]. Disponible en: https://www.ecured.cu/Opnet_Modeler.

ESPAÑA, BOQUERA María Carmen. *Comunicaciones Ópticas* [en línea]. Ediciones Díaz de Santos, S. A. España. 2005. [consulta: 3 mayo 2021]. ISBN: 84-7978-685-X. Disponible en: <http://www.editdiazdesantos.com/wwwdat/pdf/9788479786854.pdf>

FERNÁNDEZ, CHRISTLÍEB Fátima & TADUL Ligia María. *Fibras ópticas en América Latina* [blog] 1999. [Consulta: 2 agosto 2021]. Disponible en: http://www.quadernsdigitals.net/datos/hemeroteca/r_32/nr_340/a_4365/4365.html

FREIRE, CHINACHI Adriana Katherine. *DISEÑO DEL SERVICIO DE IPTV SOBRE LA INFRAESTRUCTURA GPON DE LA OLT RIOBAMBA CENTRO PARA LA PRESTACION DE SERVICIO DE VIDEO POR SUSCRIPCION DE LA CNT EP CHIMBORAZO.* (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019, p 24-27. [consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13367/1/98T00248.pdf>

GALARZA, SANTANA Limber Darío, & PARRA, ASTUDILLO Andrés Gabriel. Provisión de una Red de Fibra Óptica (GPON) de Audio y Video por Suscripción con fines Educativos y Culturales para la Parroquia ATAHUALPA, Cantón SANTA ELENA, Provincia de SANTA ELENA, Utilizando como HEADEND la Infraestructura de ESPOLTV Ubicada en SAN JOSÉ de ANCÓN [en línea] (Trabajo de titulación). (pregrado) Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2015. p. 70-76. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: https://rraae.cedia.edu.ec/Record/ESPOL_1f8182fe6bea685129c21cc28d2e1a35

GARCIA, TORRES José. *Análisis y Evaluación Comparada de Redes de Acceso GPON y EP2P.* [en línea] (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España: 2009, p. [consulta: 02 junio de 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/7094>

GERÓNIMO, MAYOR Cesar Antonio. *Manual de Comunicaciones por Fibras Ópticas.* En: *ISSUU* [en línea]. 2014, p. 21. [consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: https://issuu.com/cesargeronimo2/docs/libro_de_comunicaciones_opticas

GLOBALELECTRIC. *Gabinete de Fibra Optica 19”* [en línea]. 2021, p. 1. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://globalelectric.com.ec/producto/gabinete-de-fibra-optica19-2-20x0-75x0-80cm-ref-fist-gr2-22110i/>.

GLOBALELECTRIC. *Odf 96 Puertos Sc/Apc, Completo Ref FIST-GPS2L-EAC8.* [en línea]. 2021, p. 1. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://globalelectric.com.ec/producto/odf-96-ptos-sc-apc-completo-ref-fist-gps2l-eac8/>

GONZÁLES, CEDEÑO Nidia Maribel. & BECERRA, ESTUPIÑÁN Sergio Antonio. *Diseño de una ODN para una red óptica de acceso mediante tecnología GPON para servicios triple play en el sector “La Tolita 1 y La Tolita 2” de la ciudad de Esmeraldas.* [en línea]. (tesis) . (Maestría). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016, p. 15-19 [Consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5444/1/98T00098.pdf>

GÓMEZ, BOSSANO María Sol & MOREJÓN, GAIBOR 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] (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2012, p. 28-36 [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/2911/1/98T00026.pdf>

GUAYGUA, QUILLUPANGUI Alfredo Francisco & CAIZA, SUNTAXI Amanda Lorena. *Análisis, Diseño e Implementación de un Centro de Servicios de Tecnologías de la Información y Computación (TIC) en el Sector Selva Alegre- Sangolquí.* [en línea] (Tesis de Grado) . Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2009, p. 23 [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1446/1/CD-2129.pdf>

GUSQUI, ECHEVERRÍA Klever Gonzalo. *ESTUDIO Y DISEÑO DE UN ANILLO DE FIBRA ÓPTICA PARA INTERCONECTAR Y PROTEGER A VARIAS CENTRALES Y REPETIDORA DE LA CNT EP CHIMBORAZO, PARA BRINDAR SERVICIOS DE DATOS DE ALTA VELOCIDAD Y TRIPPLE PLAY.* [en línea] (Tesis de Grado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2017, p. 23-25 [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/4255/1/UNACH-EC-ING-ELEC-TEL-2017-0012.pdf>

GUZMÁN, ANTAMBA Ana Cristina. *Diseño de una Red de Acceso en un Sector Residencial para Proveer Servicios Triple Play Utilizando Tecnología de Red GEPON (Gigabit Ethernet Passive Optical Network) para la Empresa TELCONET S.A.* [en línea] Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Nacional. Quito, Ecuador: 2018, p. 13-47 [consulta: 14 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19380>

HERNÁNDEZ, GARCÍA Juan Carlos. ESTUDILLO, AYALA Julián Moisés. ROJAS, LAGUNA Roberto. MATA CHÁVEZ, RI. MARTÍNEZ, RÍOS A. GUTIÉRREZ JG. TREJO, DURÁN Mónica, VARGAS, RODRÍGUEZ Everardo. ANDRADE, LUCIO JA & ALVARADO, MÉNDEZ E. *Instrumentación y diseño de una fuente de alto voltaje para fabricar rejillas de fibra óptica mediante la técnica de arco eléctrico* [en línea], 2010. Revista Mexicana de Física 56 (003): 255, (México), p. 256. [consulta: 3 mayo 2021]. CC BY-NC 3.0. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/235754545_Instrumentacion_y_diseno_de_una_fuente_de_alto_voltaje_para_fabricar_rejillas_de_fibra_optica_mediante_la_tecnica_de_arco_electrico

HUITOU. HUAWEI OLT 5608. [en línea]. 2021, p. 1. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: https://htolt.com/en/products.php?act=view&id=51&gclid=CjwKCAjw3_KIBhA2EiwAaAAAlip3Ty_AME0hBct1pjSeWWWb6ixqBr8Xr1BbCCntagoojPbkDYfsiuRhoCAfEQAvD_BwE

IIBAY, 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). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016, p.3-17. [Consulta: 11 agosto 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/6429>

ITU-T, G.984.1. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): General characteristics.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2012. [consulta: 03 junio 2021]. (Amendment 1 y 2) Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.1/es>

ITU-T, G.984.2. *Gigabit-capable passive optical networks (GPON): Physical media dependent (PMD) layer specification.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2019. [consulta: 03 junio 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.2-200602-S!Amd1/es>

ITU-T G.984.3. *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Especificación de la capa de convergencia de transmisión* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2014. [consulta: 03 junio 2021]. Disponible en <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.3/es>

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.* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2004, 2008 [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=7345&lang=es>

ITU-T G.984.5. *Redes ópticas pasivas con capacidad de gigabits: Banda de ampliación.* . [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. ,2014. [consulta: 04 junio 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/ITU-T/recommendations/rec.aspx?rec=9185&lang=es>

UIT-TG.984.6. *Redes ópticas pasivas con capacidad de Gigabits: Características generales* [en línea]. SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA, DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS Digital sections and digital line system – Optical line systems for local and access networks. 2008. [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.984.6/es>

KEYMILE. *Ethernet Point-to-Point vs PON.* En: YUMPU.COM. 2008, p. 5 [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.yumpu.com/en/document/read/9485769/white-paper-ethernet-ntp-vs-pon-keymile>

LEIVA, L Ariel. TARIFEÑO, G Marco & OLIVARES, V Ricardo. *Efectos de la Dispersión por Modo de Polarización (PMD) en la Propagación de Pulsos a través de Fibras Ópticas.* [en línea] Ingeniare. Revista Chilena de Ingeniería 2007, 15 (3). Redalyc.org UAEM. 2007, p. 337. [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/ingeniare/v15n3/art14.pdf>

LLUMIQUINGA, GUAYASAMÍN Dany Santiago & MULLO, AIMACAÑA Christian David. *Análisis y Diseño del Sistema Redundante de Fibra Óptica Quito-Guayaquil para la Red Troncal de TELCONET S.A.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2008. , p. [consulta: 14 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/993/1/CD-1295.pdf>

LÓPEZ, PASTOR Eduardo Tommy. *Red GPON (Gigabit-Capable Passive Optical Networks)- Módulo 9.* [en línea] ResearchGate: DOI: 10.13140 / RG.2.1.4525.4241. 2015, p. 15-18. [consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/280086738_FTTH_Course_-_Module_9

LÓPEZ, BONILLA Mauricio. MOSCHIM Edison & RUDGE, BARBOSA Felipe. *Estudio Comparativo de Redes GPON y EPON.* [en línea]. Universidad Tecnológica de Pereira: Scientia et Technica Año XV, No 41. 2009, p. 322-323[consulta: 27 mayo 2021] ISSN 0122-1701 Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4732651>

MACÍAS, BUSTAMANTE Rómulo Leonardo. *DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA RED PON PARA EL HOTEL HILLARY NATURE RESORT & SPA*[en línea].(Examen de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2015, p. 1-3 [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/100187/D-84921.pdf>

MARCHUKOV Yaroslav. *Desarrollo de una Aplicación Gráfica para el Diseño de Infraestructuras FTTH.* [en línea]. (Tesis de Grado). Universidad Politécnica de Valencia- Escuela Politécnica Superior de Gandia, Valencia, España. 2011, p. 7. [consulta: 01 junio 2021].. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/13413/memoria.pdf?sequence=1>

MARORGA, PÉREZ Henry Sebastián. *Diseño y Evaluación de una Red FTTH basado en el Estándar G.987.x para la Parroquia la Merced de la ciudad de Ambato.*(Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2021, p. 2-31.

MINTEL. *Ecuador es pionero en la Fabricación de Fibra Óptica de la región* [blog]. 2016. [Consulta: 2 agosto 2021]. Disponible en: <https://www.telecomunicaciones.gob.ec/ecuadores-pionero-en-la-fabricacion-de-fibra-optica-de-la-region/>.

MORA, LEÓN Mónica Cintia. PEÑAFIEL, TAPIA Francisco Miguel & PEÑAFIEL, TAPIA Luis Miguel. *Estudio y Diseño de un Sistema Triple Play con Criterios de Calidad Total para una Empresa que Brinda Servicios de Televisión por Suscripción.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador. 2008, p. 23. [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/128650/D-83774.pdf>

MORALES, FIGUEROA Amparito Alexandra. *DISEÑO DE LA RED PARA INTERACTIVIDAD EN TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE E IPTV EN EL CAMPUS ESPE SANGOLQUÍ.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Politécnica del Ejercito, Quito, Ecuador. 2010, p. 1-5. [consulta: 01 junio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/2645/1/T-ESPE-029824.pdf>

OPTYTECH. *Caja Terminal de 16 puertos Modelo: JFOPP - PDB0216.* [en línea]. 2021, pp. 1- 5. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-%20equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-cliente/05-%20archivos/DS%20FDB%20Caja%20Terminal-Box-JFOPP-PDB0216.pdf>

OPTYTECH. *Manga de empalme de Fibra Óptica lineal Modelo: GP01-H9JM4.* [en línea]. 2021, pp. 1-2. [Consulta: 15 julio 2021] Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-%20cliente/05-archivos/DS%20Manga%20de%20Empalme%20lineal%20GP01-H9JM4.pdf>.

OPTYTECH. *8. ROSETA OPTICA, 2P, SC.* [en línea]. 2021, pp. 1-2. [Consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <https://www.optytech.com.ec/images/optytech-equipos-accesorios-telecomunicaciones/01-%20cliente/05-archivos/DS%20Manga%20de%20Empalme%20lineal%20GP01-H9JM4.pdf>

OPTIWAVE. *OptiSystem Overview.* [en línea]. 2015. [Consulta: 21 junio 2021]. Disponible en: <https://optiwave.com/optisystem-overview/>.

OROZCO, SANTOS Federico. *Configuraciones de Servicios en Entornos GPON.* [en línea]. (Maestría). Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, España. 2019, p. 15-16 [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/133826/Orozco%20%20Configuraci%C3%B3n%20de%20servicios%20en%20entornos%20GPON.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PANCHI, HERRERA Myriam Fabiola. *Diseño de una Red GPON para la Empresa CINE CABLE TV.* [en línea] (Maestría). Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Quito, Ecuador. 2016, p. 8 . [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/13176/Caso_de_Estudio_Myriam%20Panchi.pdf?sequence=1&isAllowed=y

PEOVA, REINOSO Cristina Raquel & SUÁREZ, PERALTA Adrián Joel. *ANÁLISIS Y DISEÑO DE UNA RED DE DISTRIBUCIÓN EPON PARA TRANSMISIÓN DE TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE INTERACTIVA EN EL SECTOR CÉNTRICO DEL CANTÓN VINCES, PROVINCIA DE LOS RÍOS* [en línea]. (Tesis de Grado) . . Escuela Superior Politécnica del Litoral, Guayaquil, Ecuador 2015,p. 14. [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/95459/D-CD105658.pdf>

PEREDA, A José Martín. *Sistemas de Redes Ópticas de Comunicaciones*. [en línea] Editorial: Madrid, Prentice Hall. España. 2004 [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/228074103_Sistemas_y_Red_Opticas_de_Comunicaciones

PINTO, GARCÍA Ricardo Alfonso & CABEZAS Andrés Felipe. *Sistemas de Comunicaciones Ópticas*. [en línea] (Monografía) . Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá. Colombia: 2014, p. 22-24 . [consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/11995/Com%20opticas%20V.2014-03-28%20PDF.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PRIETO, ZAPARDIEL Jaime. *Diseño de una red de acceso mediante fibra óptica* [en línea]. (Trabajo de Grado). Universidad Politécnica de Madrid. Madrid-España. 2014, p.7 . [consulta: 2 mayo 2021]. Disponible en: http://oa.upm.es/33869/1/PFC_jaime_prieto_zapardiel.pdf

PROANO, LOZADA Lourdes Angelica & JURADO, LOZADA Marco Antonio. *Sistemas de Comunicación por Fibra Óptica y Enlace Inalámbrico para la Corporación Nacional de Electricidad CNEL Regional Santo Domingo* [en línea]. (Tesis de Grado). Universidad Técnica de Ambato. Ambato-Ecuador: 2009, p. 17-23. [consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/106>

QUISHPE PÉREZ Alejandra Soraya. VINUEZA, ESTÉVEZ Nuvia Soraya & JIMÉNEZ, JIMÉNEZ María Soledad. *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 FTTH (FIBER TO THE X)*. En: *Repositorio Digital- EPN*. 2010, p. 2 [Consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/3728>

QUISNANCELA Edison & ESPINOSA Nikolai. *Certificación de Redes GPON, Normativa ITU G.984.x*. [en línea]. Revista ENFOQUE UTE. Quito-Ecuador: Universidad Tecnológica Equinoccial. V.7-N.4, Dic. 2016, pp. 16 – 30 [consulta: junio de 2021]. e-ISSN: 1390-6542 / p-ISSN: 1390-9363 Disponible en: <http://oaji.net/articles/2017/1783-1483464784.pdf>

RADICELLI Ciro D. POMBOZA Margarita del R, SAMANIEGO Nicolay & VILLACRÉS Edison P. *Red óptica pasiva para proveer de Internet a la ciudad de Riobamba- Ecuador*. Revista ESPACIOS. [en línea]. Venezuela: Vol. 40 (N.º 40). 2019, p. 12. [consulta: 27 mayo 2021]. ISSN 0798 1015. Disponible en: <https://www.revistaespacios.com/a19v40n40/a19v40n40p12.pdf>

ROMERO, KANASHIRO Walter Rafael. *Redes Inalámbricas y Simulación de WLAN mediante OPNET.* [en línea] .Universidad Abierta de Catalunya. Catalunya, España. 2013, p. 21-23 [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <http://openaccess.uoc.edu/webapps/o2/bitstream/10609/18261/8/wromeroPFC0113memoria.pdf>

SALVATIERRA, ZAMBRANO Ritler Javier. *Diseño y cuantificación para el despliegue de una red de planta externa mediante la tecnología GPON-FTTH para brindar servicios Triple Play en la ciudadela Huancavilca Norte* [en línea]. (Tesis de Grado) . Universidad Católica de Santiago de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador. 2017, p. [consulta: 27 mayo 2021]. Disponible en: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/7396/1/T-UCSG-POS-MTEL-65.pdf>

SOTO Dario & Díaz Miguel. *Artículo sobre Telefonía VoIP.* [en línea] (Maestría). Maracaibo-Venezuela: Universidad Dr: Rafael Beloso Chacín. 2009, p. 1-4. [consulta: 02 junio 2021]. Disponible en: <https://www.urbe.edu/info-consultas/web-profesor/12697883/articulos/ensayos/TELEFONIA%20VoIP.pdf>

TINOCO, ALVEAR Juan Diego. *Estudio y Diseño de una Red Óptica FTTH para Brindar Servicio de Voz, Video y Datos para la Urbanización los Olivos Ubicada el Sector Toctesol en la Parroquia Borrero de la Ciudad de Azogues.* [en línea].(Tesis de Grado). Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca , Cuenca, Ecuador. 2011, p. 19-28 [consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1076/12/UPS-CT002134.pdf>

TORRES Juan Antonio. *Herramientas de Software de Simulación para Redes de Comunicaciones.* [en línea] (Tesis de Grado). Universidad Nacional de la Plata, La Plata, Argentina. 2015, p. 28-31 [consulta: 15 julio 2021]. Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/48644>

VELASCO, RIVERA Bruno Leandro. *Diseño y Simulación de una Red GPON para Ofrecer el Servicio Triple Play en el Sector de San Antonio de Ibarra para la CNT-EP.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. 2018, p. 31 [consulta: 26 mayo 2021]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19291?mode=full>

VELASCO, J. *Sistema de Comunicación óptica DPSK Utilizando Fibra Óptica* [en línea]. (Tesina de Seminario). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil-Ecuador: 2012, p. 24. [consulta: 3 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/127899/D-83085.pdf>

VÉLEZ, DELGADO Johnny David. *ESTUDIO DE FACTIBILIDAD Y DISEÑO DE UNA RED GPON EN LA CIUDAD DE LOJA PARA LA EMPRESA NECUSOFT CIA LTDA. NETTPLUS.* [en línea] (Tesis de Grado). : Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. 2015, p. 34-40. [consulta: junio de 2021]. Disponible en: <https://dspace.unl.edu.ec/bitstream/123456789/11246/1/V%C3%A9lez%20V%C3%A1squez,%20Cristian%20Gabriel.pdf>

VILLACRÉS, VALVERDE Jimena Cecilia & MURIEL, BONILLA Ana Gabriela. *ESTUDIO Y DISEÑO DE UNAREDDE PLANTA EXTERNA DE FIBRA ÓPTICA GPON PARA PROVEER SERVICIOS DE VOZ, VIDEO Y DATOS APLICADO A LA CIUDAD DE ALAUSÍ PARA LA CNT EMPRESA PÚBLICA RIOBAMBA.* (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2016, p. 17-30 [consulta: 28 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/5462/1/98T00105.pdf>

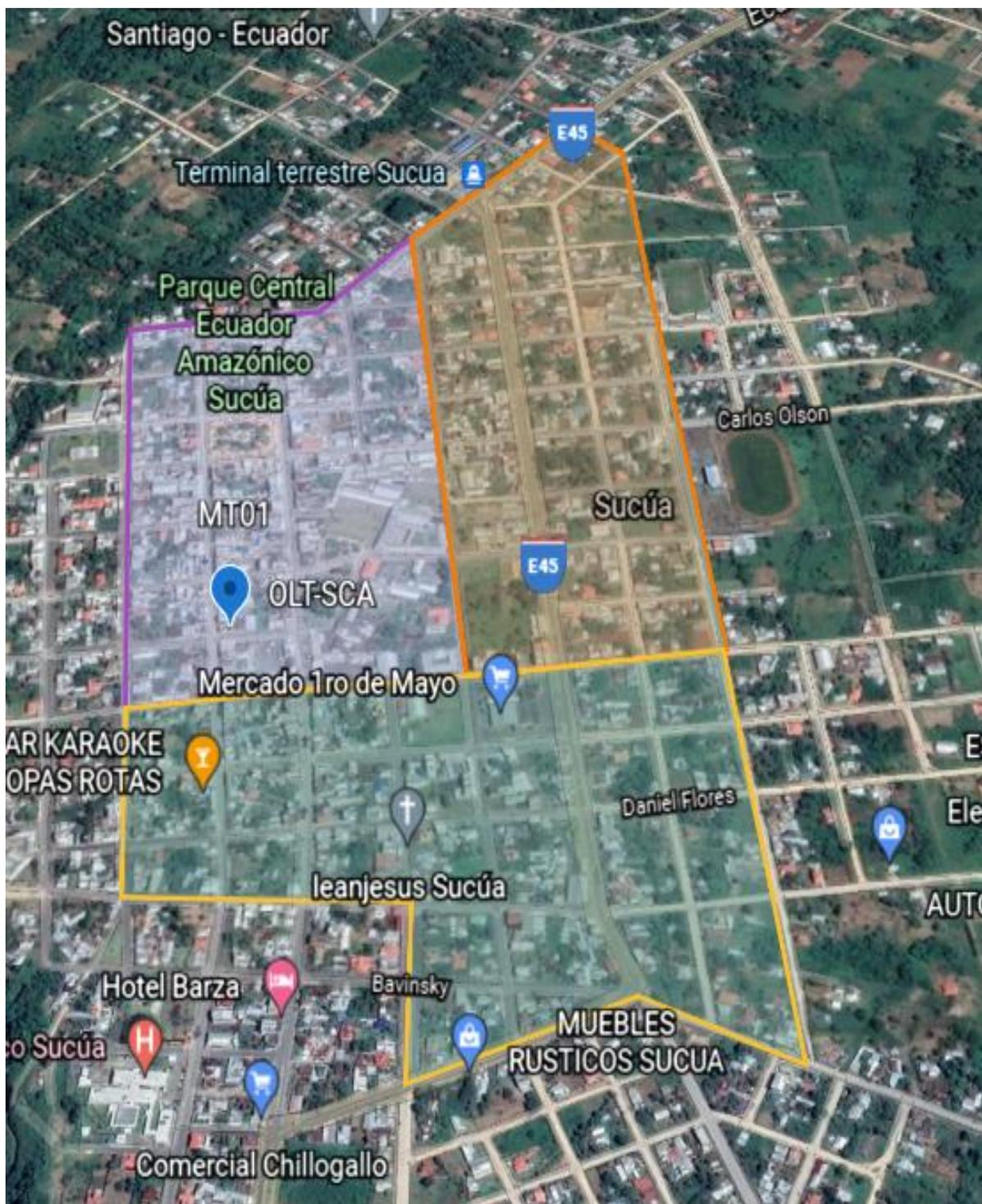
YCICT CO., LIMITED. *HUAWEI HG8245H FTTH.* [en línea]. 2021, p. 1. [Consulta: 18 julio 2021]. Disponible en: <https://www.ycict.net/es/products/huawei-hg8245h-ftth/#:~:text=Huawei%20HG8245H%20FTTH%20es%20una,para%20usuarios%20dom%C3%A9sticos%20y%20SOHO.&text=Utilizando%20la%20tecnolog%C3%ADa%20G%202F%20EPON,para%20usuarios%20dom%C3%A9sticos%20y%20SOHO.>

YUNGÁN, PASTO Sara Alexander. *Evaluación de Parámetros de QoS en la transmisión de voz, video y datos de una red FTTH utilizando el estándar G.984. X.* [en línea] (Tesis de Grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2019, p. 4-77 [consulta: 26 mayo de 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13437/1/98T00252.pdf>

ZAMBRANO, VERA María Belén. *DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UNA REDFTTX Y HFC EN UNA ZONA URBANA UTILIZANDO OPTISYSTEM PARA MEDIR PARÁMETRO DE EFICIENCIA EN LA TRANSMISIÓN.* [en línea] (Propuesta Tecnológica.) Universidad Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador: 2017, p. 15-17. [consulta: 10 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/8438/1/98T00185.pdf>

ANEXOS

Anexo A. División de los tres distritos en la zona de estudio de la parroquia Sucúa.



Anexo B: Encuesta realizada a los habitantes de la parroquia zona urbana de la parroquia Sucúa.



ACREDITADA

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE INFORMÁTICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN TELECOMUNICACIONES Y REDES



**ESCUELA DE INGENIERÍA
ELECTRÓNICA**
TELECOMUNICACIONES Y REDES

ENCUESTA DIRIGIDA A LOS USUARIOS DE LA ZONA URBANA DE LA PARROQUIA DE HUAMBI

Objetivo del instrumento: Evaluar la calidad del servicio prestado por la red actual de fibra óptica, para determinar el nivel de satisfacción de los usuarios del sector Huambi perteneciente al cantón Sucúa.

INSTRUCCIONES: Marque con una X la opción deseada.

1. ¿Actualmente usted tiene contratado los servicios de Telefonía, Internet y Televisión, por un mismo medio de transmisión?

- a) Si
- b) No

2. ¿Usted está conforme con los servicios que tiene en su hogar, a través de la red actual?

- a) Si
- b) No
- c) No Aplica

3. ¿Cuál de las siguientes opciones, considera usted que es el mayor problema en sus servicios?

- a) Velocidad
- b) Disponibilidad
- c) Seguridad
- d) No Aplica

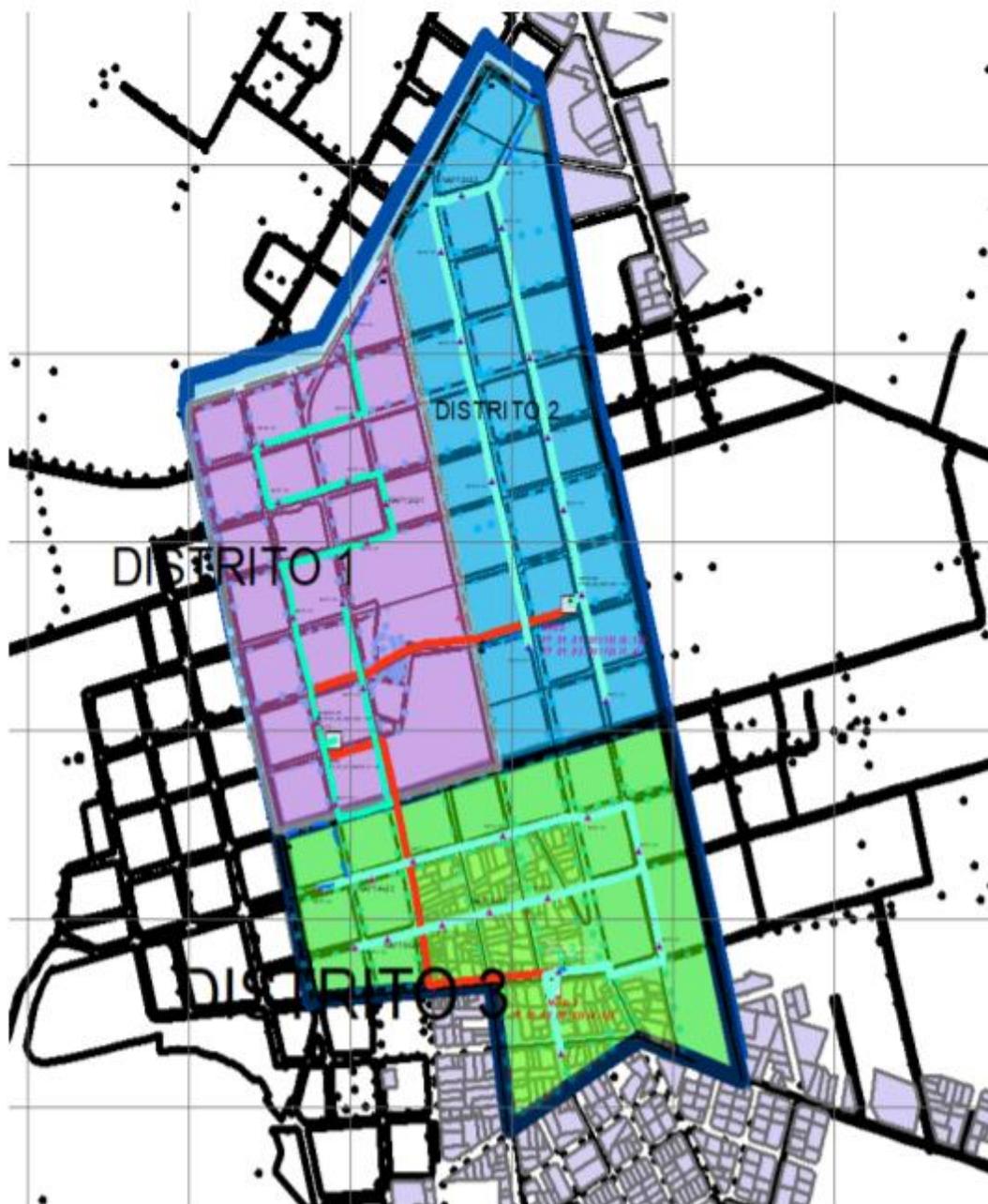
4. ¿Le gustaría contratar el servicio Triple Play (Internet, Telefonía, TV) a través de una nueva tecnología de fibra óptica? (se refiere a realizar un solo contrato y pago por los tres servicios, por un mismo medio de transmisión)

- a) Si
- b) No

5. ¿Usted estaría de acuerdo en pagar una cantidad mayor a 40 dólares americanos , por obtener el servicio Triple Play?

- a) Si
- b) No

Anexo C. Plano completo en ArGis de la parroquia Sucúa.



Anexo D. Tipos de fibras según la ITU-T G.652.

Table 1/G.652 – G.652.A Attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1550 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0min}	1300 nm
	λ_{0max}	1324 nm
	S_{0max}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.5 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD ₀	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$
NOTE – According to 6.2, a maximum PMD ₀ value on uncabled fibre is specified in order to support the primary requirement on cable PMD ₀ .		

Table 2/G.652 – G.652.B attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{0min}	1300 nm
	λ_{0max}	1324 nm
	S_{0max}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum at 1310 nm	0.4 dB/km
	Maximum at 1550 nm	0.35 dB/km
	Maximum at 1625 nm	0.4 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

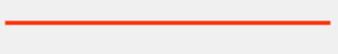
Table 3/G.652 – G.652.C attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	λ_{min}	1300 nm
	λ_{max}	1324 nm
	S_{chrom}	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	(Note 3)
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.5 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Table 4/G.652 – G.652.D attributes

Fibre attributes		
Attribute	Detail	Value
Mode field diameter	Wavelength	1310 nm
	Range of nominal values	8.6-9.5 μm
	Tolerance	$\pm 0.6 \mu\text{m}$
Cladding diameter	Nominal	125.0 μm
	Tolerance	$\pm 1 \mu\text{m}$
Core concentricity error	Maximum	0.6 μm
Cladding noncircularity	Maximum	1.0%
Cable cut-off wavelength	Maximum	1260 nm
Macrobend loss	Radius	30 mm
	Number of turns	100
	Maximum at 1625 nm	0.1 dB
Proof stress	Minimum	0.69 GPa
Chromatic dispersion coefficient	$\lambda_{0\text{min}}$	1300 nm
	$\lambda_{0\text{max}}$	1324 nm
	$S_{0\text{max}}$	0.092 ps/nm ² × km
Cable attributes		
Attribute	Detail	Value
Attenuation coefficient	Maximum from 1310 nm to 1625 nm (Note 2)	0.4 dB/km
	Maximum at 1383 nm ± 3 nm	(Note 3)
	Maximum at 1550 nm	0.3 dB/km
PMD coefficient	M	20 cables
	Q	0.01%
	Maximum PMD _Q	0.20 ps/ $\sqrt{\text{km}}$

Anexo E. Simbología utilizada para el diseño de la red GPON.

SÍMBOLO	DEFINICIÓN
	OLT
	ARMARIOS
	NAP
	CLIENTE
	POSTE
	FEEDER
	RED DE DISTRIBUCIÓN.
	RED DE DISPERSIÓN.

Anexo F. Simulación de la red GPON.

